

DOCTORAT DE 3^e CYCLE

THÈSE

présentée

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR EN HYDROLOGIE

par

Serge PIEYNS

ÉTUDE HYDROLOGIQUE DE BASSINS VERSANTS
DANS LA RÉGION DE OUAGADOUGOU
RÉPUBLIQUE VOLTAÏQUE

T H E S E

présentée
à la FACULTE des SCIENCES
de l'UNIVERSITE de PARIS
pour obtenir le titre de
DOCTEUR 3ème CYCLE
SPECIALITE HYDROLOGIE

par
Serge PIEYNS

Première Thèse

ETUDE HYDROLOGIQUE de BASSINS VERSANTS
dans la REGION de OUAGADOUGOU

République Voltaïque

Soutenue le 22/12/1965 devant la Commission d'Examen

MM. GLANGEAUD Président

CAIRE } Examinateurs
CASTANY }

RODIER Rapporteur

S O M M A I R E

	Page
<u>AVANT-PROPOS</u> -	
<u>INTRODUCTION</u> -	I
<u>PREMIERE PARTIE</u>	
<u>Etude détaillée de la campagne 1962</u>	
<u>et principaux résultats de la campagne 1963</u>	
<u>CHAPITRE I - DONNEES GEOGRAPHIQUES</u> -	2
1.1 - Situation et description (rappel)	2
1.2 - Relief	3
1.3 - Hydrographie	7
1.4 - Géologie	7
1.4.1 - Aperçu géologique sur la HAUTE-VOLTA	7
1.4.2 - Histoire géologique	8
1.4.3 - Tectonique	9
1.4.4 - Types de granites	9
1.4.5 - Géologie des bassins versants de OUAGADOUGOU	10
1.5 - Pédologie	11
1.6 - Végétation et cultures	12
<u>CHAPITRE II - DONNEES CLIMATOLOGIQUES</u> -	13
2.1 - Climatologie générale	13
2.1.1 - Mécanisme de la répartition des saisons en HAUTE-VOLTA	13
2.1.2 - Températures et pluviométries annuelles moyennes	14
2.1.3 - Humidité relative et évaporation annuelles moyennes	14
2.2 - Données climatologiques relatives aux bassins versants de OUAGADOUGOU	18
2.2.1 - Répartition des saisons	18
2.2.2 - Température	18
2.2.3 - Humidité relative	19
2.2.4 - Pressions et vents en 1962	20
2.2.5 - Evaporation	22

	Page
<u>CHAPITRE III - PLUVIOMETRIE -</u>	27
3.1 - Pluviométrie en année moyenne	27
3.1.1 - Modules pluviométriques annuels calculés pour diverses fréquences	27
3.1.2 - Modules pluviométriques annuels des bassins versants de OUAGADOUGOU	28
3.1.3 - Variations du module pluviométrique annuel à OUAGADOUGOU-Ville	29
3.2 - Répartition des précipitations mensuelles	29
3.3 - Pluviométrie 1962	31
3.3.1 - Modules pluviométriques 1962 pour les différents bassins	31
3.3.2 - Répartition mensuelle des précipitations en 1962	32
3.3.3 - Nombre de jours de pluie	34
3.3.4 - Fortes averses en 1962	34
3.4 - Etude des intensités	35
3.5 - Conclusions générales sur la pluviométrie de 1962	37
<u>ETUDE HYDROLOGIQUE -</u>	
<u>CHAPITRE IV - ETUDES des DIFFERENTS BASSINS -</u>	38
4.1 - Bassin versant du MORO-NABA (1)	40
4.1.1 - Etalonnage du déversoir	40
4.1.2 - Débits journaliers - Débits moyens mensuels	40
4.1.3 - Description des averses et des crues	41
4.1.4 - Caractéristiques des crues	44
4.1.5 - Etude du coefficient de ruissellement	46
4.1.6 - Recherche d'un hydrogramme type	47
4.1.7 - Estimation des crues médianes et décennales	48
4.1.8 - Bilan de surface pour les années 1961-1962	51
4.2 - Bassin versant de ZAGTOULI	53
4.3 - Bassin versant de OUAGADOUGOU I	62
4.4 - Bassin versant de OUAGADOUGOU III	78
4.5 - Bassin versant de LOUMBILA	81
4.6 - Bassin versant de DONSE	96
4.7 - Bassin versant de KAMBOENSE	109
4.8 - Bassin versant de BOULBI	119
4.9 - Bassin versant de NABAGALE	130
4.10 - Bassin versant de GOGEN	143
<u>CHAPITRE V - PRINCIPAUX RESULTATS de la CAMPAGNE 1963 -</u>	156
5.1 - Climatologie	156
5.2 - Pluviométrie	157
5.3 - Etude hydrologique	159

(1) Les sous-chapitres 1 à 8 sont développés pour chaque bassin -

DEUXIEME PARTIEConclusions générales sur les trois campagnes

<u>CHAPITRE I - ETUDE COMPARATIVE de la PLUVIOMETRIE des TROIS CAMPAGNES -</u>	160
1.1 - Module pluviométrique annuel	160
1.2 - Répartition mensuelle des précipitations	161
1.3 - Conclusions générales	163
<u>CHAPITRE II - RESULTATS FINAUX de l'ETUDE HYDROLOGIQUE -</u>	165
2.1 - Bassin versant de BAZOULE	166
2.2 - Bassin versant de ZAGTOULI	167
2.3 - Bassin versant du MORO NABA	168
2.4 - Bassin versant de SELOGEN	169
2.5 - Bassin versant de KAMBOENSE	170
2.6 - Bassin versant de BOULBI	171
2.7 - Bassin versant de PABRE	172
2.8 - Bassin versant de DONSE	173
2.9 - Bassin versant de OUAGADOUGOU I	174
2.10 - Bassin versant de OUAGADOUGOU III	175
2.11 - Bassin versant de NABAGALE	177
2.12 - Bassin versant de LOUMBILA	178
<u>CHAPITRE III - ETUDE COMPARATIVE -</u>	182
<u>CONCLUSION -</u>	185
<u>BIBLIOGRAPHIE -</u>	

AVANT PROPOS

Je veux associer ici dans un même hommage tous ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de cette étude.

Plus particulièrement, j'adresse à M. le Professeur L. GLANGEAUD l'expression de ma très vive reconnaissance, tant pour son enseignement en Sorbonne que pour m'avoir accueilli dans son Laboratoire de Géologie Dynamique me permettant ainsi d'obtenir ce sujet de thèse.

J'exprime ma profonde gratitude à M. J. RODIER, Chef du Service Hydrologique de l'ORSTOM, qui m'a confié cette étude et permis de me rendre en HAUTE-VOLTA. Il m'a conseillé et guidé tout au long de mon travail.

Je n'oublie pas non plus mes Professeurs du 3ème cycle de Géodynamique Externe, particulièrement M. G. CASTANY et M. G. REMENIERAS, ni les Ingénieurs de l'ORSTOM et de l'E.D.F. qui m'ont aidé par leurs enseignements ou leurs conseils, parmi eux, M. Y. BRUNET-MORET, M. M. ROCHE, M. P. TOUCHEBEUF de LUSSIGNY.

Je les remercie tous très sincèrement.

INTRODUCTION

"La façon dont l'eau tombe importe plus que la quantité qui tombe".

Cette affirmation schématique prend toute sa valeur lorsque l'on s'intéresse aux pays soumis au régime tropical, régime comportant deux saisons nettement différenciées : la saison sèche et la saison des pluies.

Lorsqu'à ce premier facteur défavorable vient s'ajouter un substratum qui laisse peu d'espoir à l'existence de nappes souterraines importantes pouvant stocker pendant la saison des pluies une part des précipitations et la mettre ainsi à l'abri de l'évaporation, on aboutit à une pénurie d'eau extrêmement grave.

C'est le cas de la République Voltaïque qui doit faire face à ce problème sur la majeure partie d'un territoire recevant, en année moyenne, pratiquement autant d'eau que la FRANCE. Toujours en année moyenne, il pleut même plus sur la capitale voltaïque que sur PARIS : 867 mm contre 602 mm.

Le problème de l'eau se pose tout particulièrement pour OUAGADOUGOU qui, promue au rang de capitale de l'Etat en 1952, avait alors 28 000 habitants et en compte à l'heure actuelle 80 000. Du fait de cette arrivée massive des voltaïques dans leur capitale, la consommation en eau s'accroît très rapidement d'année en année et le système d'alimentation, basé depuis 1949 sur trois retenues successives établies sur un petit cours d'eau à écoulement temporaire, devient insuffisant.

On note, en effet, que, de 1956 à 1960 inclus, le volume pompé annuel est en progression géométrique de raison 1,26 par an. L'inégalité mensuelle de la consommation est à peu près constante, le volume pompé en Mai est pratiquement le double de celui d'Août.

Cet accroissement des besoins en eau nécessitait donc la recherche de nouvelles ressources.

La solution hydrogéologique du problème, déjà rejetée en 1949 quand il s'était agi de faire un premier choix du mode "d'alimentation industrielle" en eau de la ville, ne peut être retenue. S'il est vrai que de nombreux puits existent en liaison avec la nappe d'arènes granitiques, les débits enregistrés sont très faibles. Ils varient selon les puits de 10 m³/jour à 50 m³/jour ; ces faibles débits s'expliquent par le fait que le granite sous-jacent a une granulométrie très fine, ce qui influence la perméabilité des arènes.

Quelques mesures piézométriques ont, d'autre part, montré que l'alimentation de la nappe par infiltration à partir des retenues, si elle existait, était très faible.

D'autre part, ces puits sont peu profonds, ce qui nécessite une protection efficace de la nappe du point de vue bactériologique.

Difficulté de protection et, surtout, insuffisance des débits expliquent que c'est du côté des eaux superficielles que l'on se soit tourné, seule possibilité pour obtenir les 5 000 m³/jour nécessaires. La mise en valeur de nouvelles ressources, c'est-à-dire dans le cas présent la création de nouvelles retenues ou la surélévation de digues déjà existantes, nécessitait la connaissance de trois caractéristiques essentielles qui sont :

- Le volume des apports dans la retenue en année moyenne
- Le volume des apports dans la retenue en année décennale sèche
- La crue décennale.

En 1961, le Ministre des Travaux Publics, de la Construction, de l'Urbanisme et des Transports de HAUTE-VOLTA chargeait l'ORSTOM de la réalisation de cette étude qui devait porter sur trois ans, de 1961 à 1963 inclus.

M. RODIER nous confiait en Août 1963 le dépouillement et l'interprétation des années 1962 et 1963.

L'exécution des mesures et des observations a été assurée par un agent technique de l'ORSTOM, M. HOORELBECKE, sous la direction de l'ingénieur basé à OUAGADOUGOU, M. J.C. KLEIN.

L'étude porte sur 13 bassins couvrant un ensemble de 3 600 km². Le plus petit, celui de BAZOULE, a une superficie de 10 km² ; le plus grand, celui de LOUMBILA, couvre 2 120 km².

Cet ensemble était équipé de la façon suivante :

- 16 pluviographes ORSTOM,
- 31 pluviomètres ORSTOM,
- 10 pluviomètres météo,
- 10 limnigraphes.

Le nombre important de bassins, joint à la grande hétérogénéité spatiale des averses, ainsi que les difficultés de circulation, n'ont pas permis de procéder à un nombre suffisant de jaugeages de hautes eaux pour chaque déversoir. Il a fallu recourir le plus souvent à des formules d'hydraulique plus ou moins bien adaptées à des déversoirs qui ne sont généralement pas de forme classique, ainsi que nous avons pu le constater sur place.

Lorsque nous avons entrepris notre étude, un premier rapport relatif à la campagne 1961 existait. Du fait de retard dans la livraison des appareils, l'hivernage 1961 ne comporte que deux mois complets d'observations : Août et Septembre. Malgré cette lacune, l'année 1961, de par la répartition inhabituelle de ses précipitations avec un maximum en Septembre, ceci grâce à deux averses successives les 2 et 11 Septembre, devait nous apporter de précieux renseignements sur les débits de pointe et les volumes d'apports de fréquence décennale humide de certains bassins.

L'existence de ce rapport nous a conduit à diviser notre thèse en deux grandes parties.

Dans une première partie, nous avons voulu présenter l'étude complète de l'hivernage 1962 et souligner ainsi le processus de recherche adopté pour résoudre, à partir de l'exploitation de nos bassins versants, nos problèmes particuliers.

Cette première partie est donc divisée en cinq chapitres :

- Etude des données géographiques, géologiques et pédologiques relatives aux bassins étudiés et au cadre dans lequel ils se placent.
- Etude climatologique comportant des généralités sur la climatologie de la HAUTE-VOLTA et une étude détaillée pour nos bassins. Une mention particulière est faite à l'évaporation, paramètre très important à connaître pour notre étude.
- Etude pluviométrique à l'échelle de la HAUTE-VOLTA et à l'échelle de nos bassins. Ce chapitre comporte l'étude statistique des modules pluviométriques annuels et des précipitations maximales ponctuelles en 24 heures de diverses fréquences ; cette étude est basée sur les relevés des deux stations de OUAGADOUGOU-Aérodrome et de OUAGADOUGOU-Ville, exploitées depuis une trentaine d'années.
- Etude hydrologique conduite bassin par bassin, présentant et analysant les résultats obtenus au point de vue des apports dans les retenues et les crues, permettant, à la lumière des résultats de 1961, une première estimation des crues médianes et décennales. La construction de l'hydrogramme unitaire n'a pu être réalisée que pour certains bassins de dimensions moyennes et possédant un réseau pluviométrique suffisamment dense. Pour d'autres et, en particulier, pour le bassin de LOUMBILA couvrant $2\ 120\ km^2$ et celui de OUAGADOUGOU I couvrant $285\ km^2$, nous avons employé la méthode de CLARK ou méthode de l'hydrogramme instantané faisant intervenir l'effet de stockage dans le réseau hydrographique du bassin.

Nous avons introduit, à la fin de cette première partie (au chapitre V), un exposé succinct des principaux résultats de la campagne 1963 et un tableau résumant les données hydropluviométriques de la campagne 1963, pour ne pas surcharger inutilement cet ouvrage en reproduisant in extenso notre rapport 1963.

Dans notre seconde partie, nous avons voulu présenter les conclusions de ces trois années d'étude sur les bassins versants de la région de OUAGADOUGOU.

Ces conclusions sont de trois ordres :

- Une étude comparée de la pluviométrie des trois campagnes, nous permettant d'aborder les conclusions hydrologiques.
- Une conclusion hydrologique pour chaque bassin donnant les trois caractéristiques principales recherchées.
- Une comparaison entre tous nos bassins au point de vue de ces caractéristiques et un essai de synthèse faisant appel aux relations entre certains paramètres physiques des bassins, tels que superficie et densité de drainage, et des caractéristiques hydrologiques comme le débit spécifique de pointe de la crue décennale et le coefficient d'écoulement moyen.

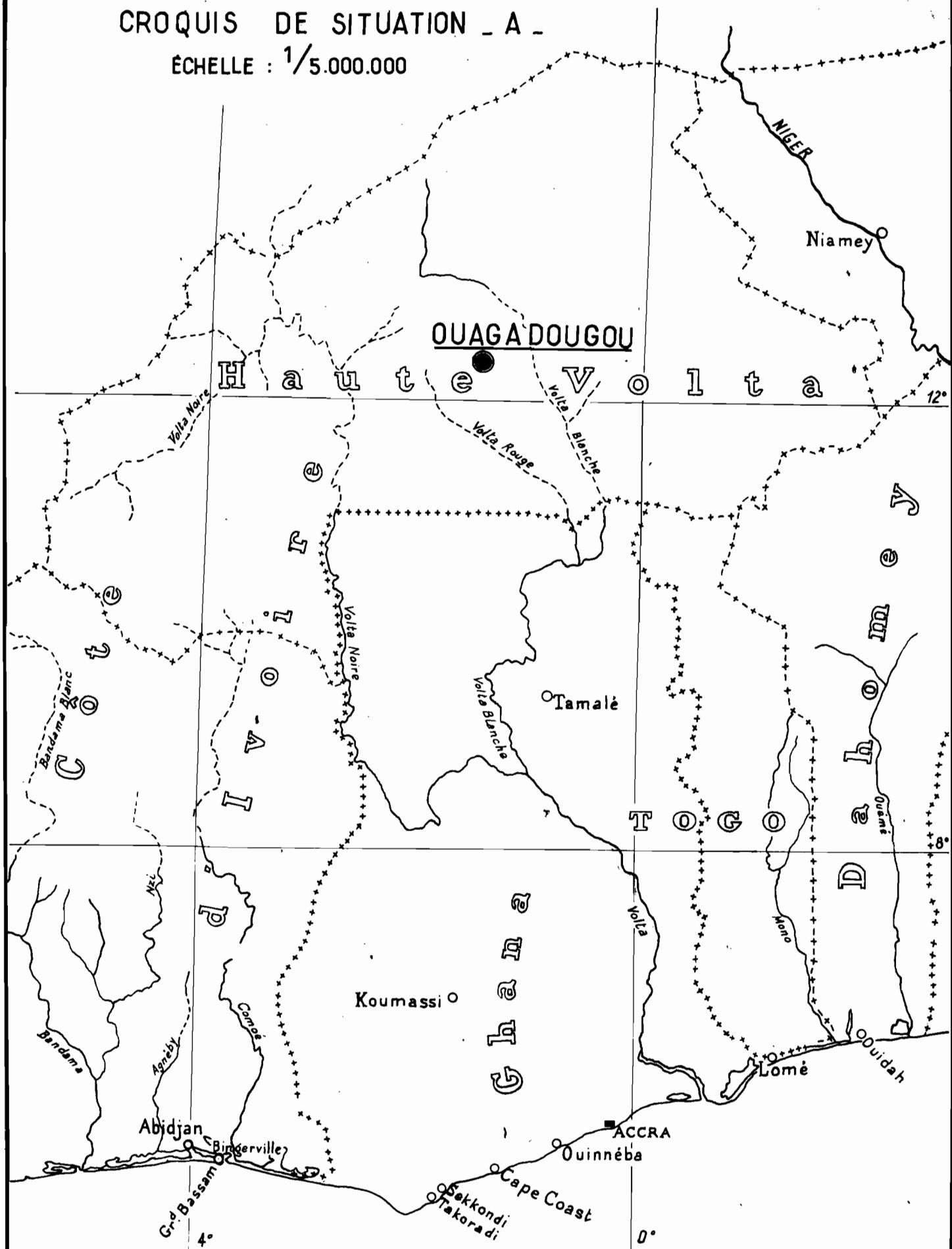
La recherche de telles relations nous a permis de déborder quelque peu le cadre de nos bassins et de souligner l'intérêt des études morphologiques, géologiques et pédologiques, associées de plus en plus étroitement à l'étude purement hydrologique.

PREMIERE PARTIE

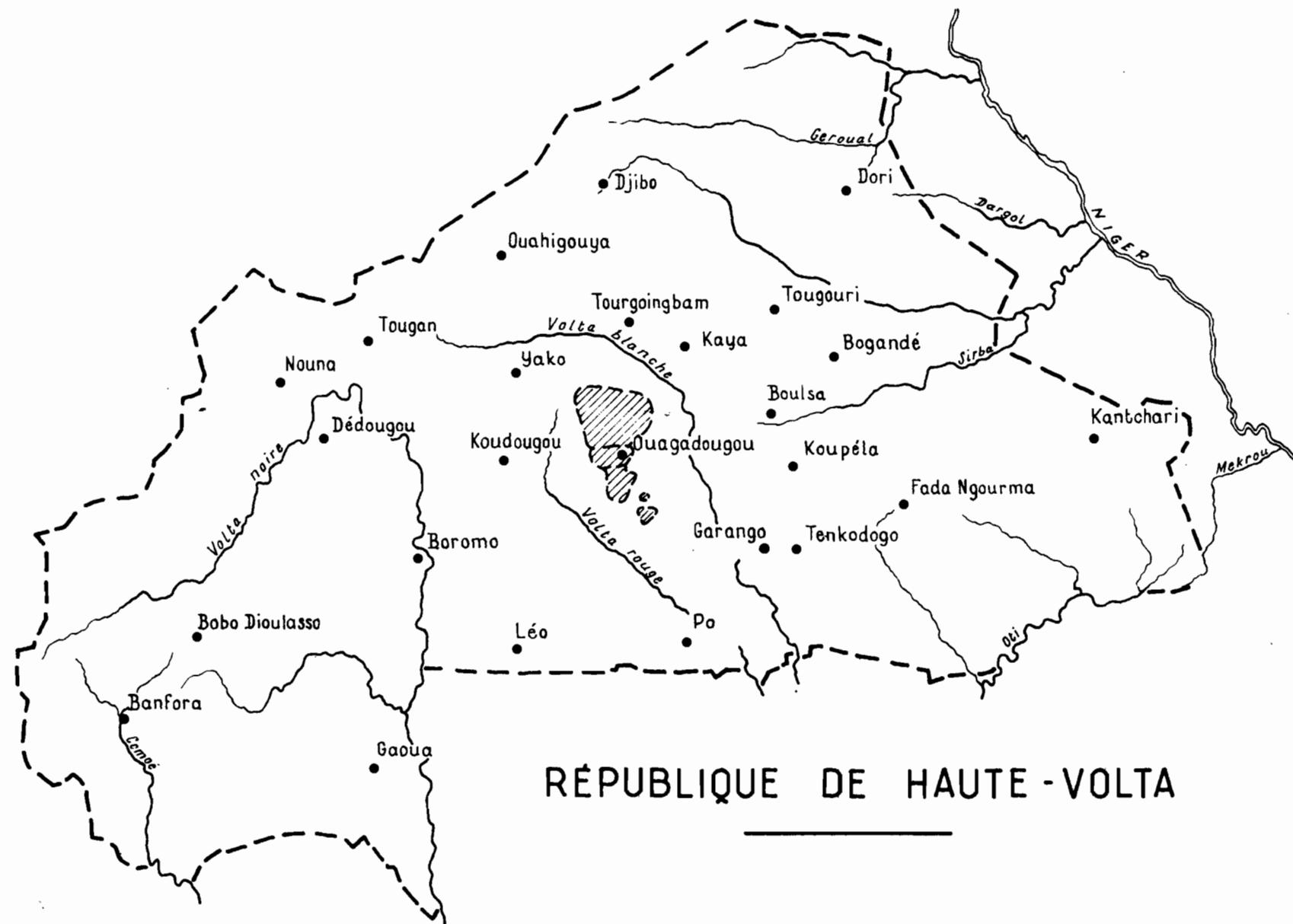
ETUDE DETAILLEE de la CAMPAGNE 1962
et PRINCIPAUX RESULTATS de la CAMPAGNE 1963

CROQUIS DE SITUATION - A -

ÉCHELLE : 1/5.000.000



CROQUIS DE SITUATION - B -



RÉPUBLIQUE DE HAUTE - VOLTA

ORSTO

AO DATE : 11-68

DESSINÉ : *anonyme*

VOL - 61038

DONNÉES GÉOGRAPHIQUES

CHAPITRE I

DONNEES GEOGRAPHIQUES

1.1. - SITUATION et DESCRIPTION -

Les bassins versants de la région de OUAGADOUGOU étudiés par l'ORSTOM s'étendent sur environ 3600 km^2 , entre $11^\circ 50'$ et $12^\circ 50'$ de latitude Nord et $1^\circ 10'$ et 2° de longitude Ouest.

Ces bassins sont du Nord au Sud (graphique 1) :

1 - Le bassin versant de LUMBILA (dit du P K 20) - Superficie : 2120 km^2 .

Il comporte trois bassins secondaires :

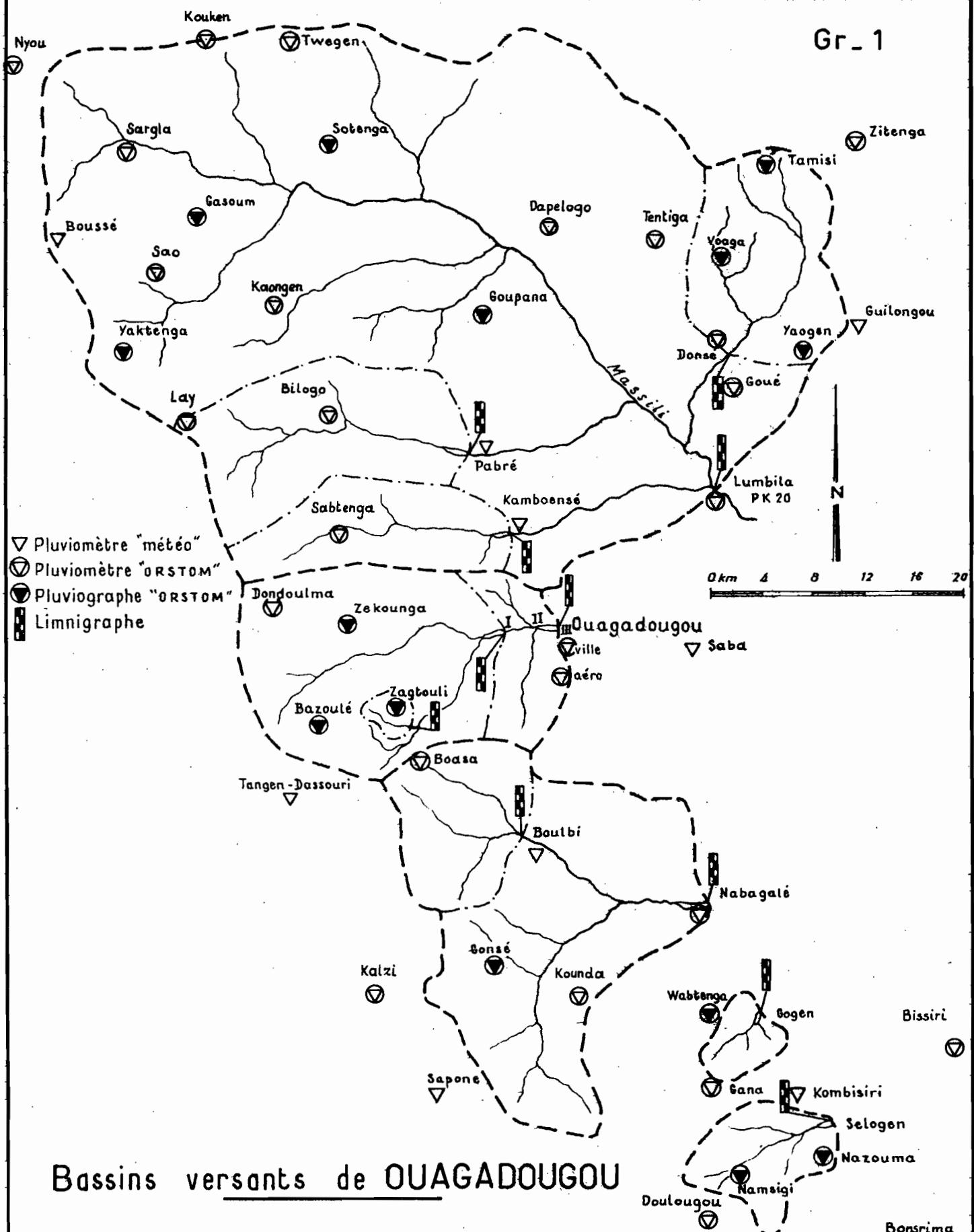
- | | |
|--------------------------|---------------------------------|
| - le bassin de DONSE | - Superficie 175 km^2 |
| - le bassin de PABRE | - Superficie 210 km^2 |
| - le bassin de KAMBOENSE | - Superficie 125 km^2 |

2 - Le bassin versant de OUAGADOUGOU III - Superficie 350 km^2 .

Il comporte trois bassins secondaires :

- | | |
|---|-------------------------------|
| - le bassin de OUAGADOUGOU I - | Superficie 285 km^2 |
| - le bassin de ZAGTOULI inclus dans le bassin de OUAGADOUGOU I | |
| Superficie 11 km^2 | |
| - le bassin du MORO NABA exploité par la Service de l'Hydraulique | |
| Superficie 18 km^2 (graphique 1 bis). | |

Gr. 1



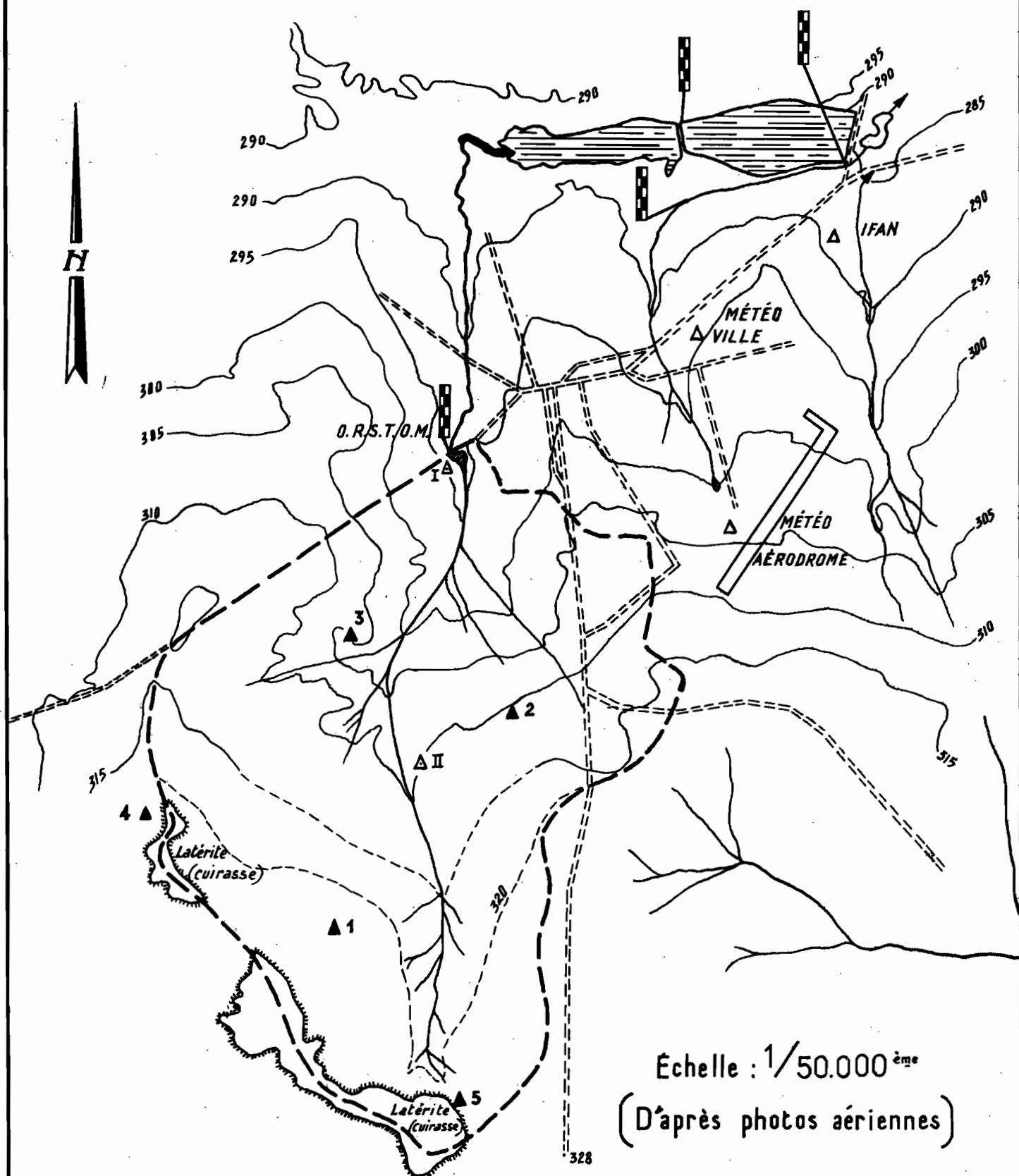
Bassins versants de OUAGADOUGOU

Equipement hydro-pluviométrique - Campagne 1962

Bassin Versant du MORO NABA

$S=18 \text{ km}^2$

Gr. 1 bis



3 - Le bassin versant de NABAGALE - Superficie 470 km^2

Il comporte un bassin secondaire :

- le bassin de BOULBI - Superficie 125 km^2

4 - Au Sud de ces trois bassins principaux, nous trouvons les deux petits bassins versants de :

- GOGÉN	- Superficie 30 km^2
- et de SELOGEN	- Superficie 75 km^2

1.2 - RELIEF -

Les bassins versants de OUAGADOUGOU font partie d'une vaste pénéplaine qui couvre tout le centre et le Nord de la République Voltaïque avec une variation d'altitude absolue qui avoisine 80 mètres.

En ce qui concerne les bassins étudiés, l'altitude varie approximativement entre 360 et 270 mètres.

C'est surtout dans le Sud que l'on remarque quelques changements de pente. Dans le Nord-Est du bassin de LUMBILA, on peut noter la présence de quelques buttes latéritiques qui rompent la monotonie du paysage ; ces buttes ont un profil trapézoïdal classique. Elles ne couvrent d'ailleurs qu'une faible superficie et ne sont guère représentatives de la morphologie de la région. Chaque fois que les points cotés se sont avérés suffisamment nombreux pour esquisser les courbes de niveaux, on a construit la courbe hypsométrique du bassin.

Pour les bassins de LUMBILA, OUAGADOUGOU III et NABAGALE, nous ne disposons que de la carte au 1/200 000^e.

Pour le bassin du MORO NABA, l'étude a été faite à partir d'une esquisse topographique au 1/50 000^e d'après photos aériennes.

Bassin de LUMBILA (Graphique 2) :

:	Altitude en mètres	350	340	330	320	310	300	290	280	270
:	km ²	0	140	440	750	1080	1420	1770	2085	2100
:	Surface									
:	%	0	7	21	36	50	65	82	98	100

La moitié de la superficie du bassin a une altitude supérieure à 310 mètres. La pente générale est douce et régulière sur tout le bassin.

Bassin de OUAGADOUGOU III (Graphique 3) :

:	Altitude en mètres	360	350	340	330	320	310	300	290	280
:	km ²	0	27	61	102	191	220	235	254	390
:	Surface									
:	%	0	7	17	28	53	65	69	73	100

Plus de la moitié de la superficie du bassin (53 %) a une altitude supérieure à 320 mètres. On remarque, d'autre part, une rupture de pente à l'altitude 320 mètres, la pente devenant plus forte et s'adoucissant vers 290 mètres.

Bassin de NABAGALE (Graphique 4) :

:	Altitude en mètres	350	340	330	320	310	300	290	280	270
:	km ²	0	9	61	182	282	325	385	468	474
:	Surface									
:	%	0	2	13	37	60	66	78	97	100

Bassin de LUMBILA

Courbe hypsométrique et courbe des fréquences altimétriques

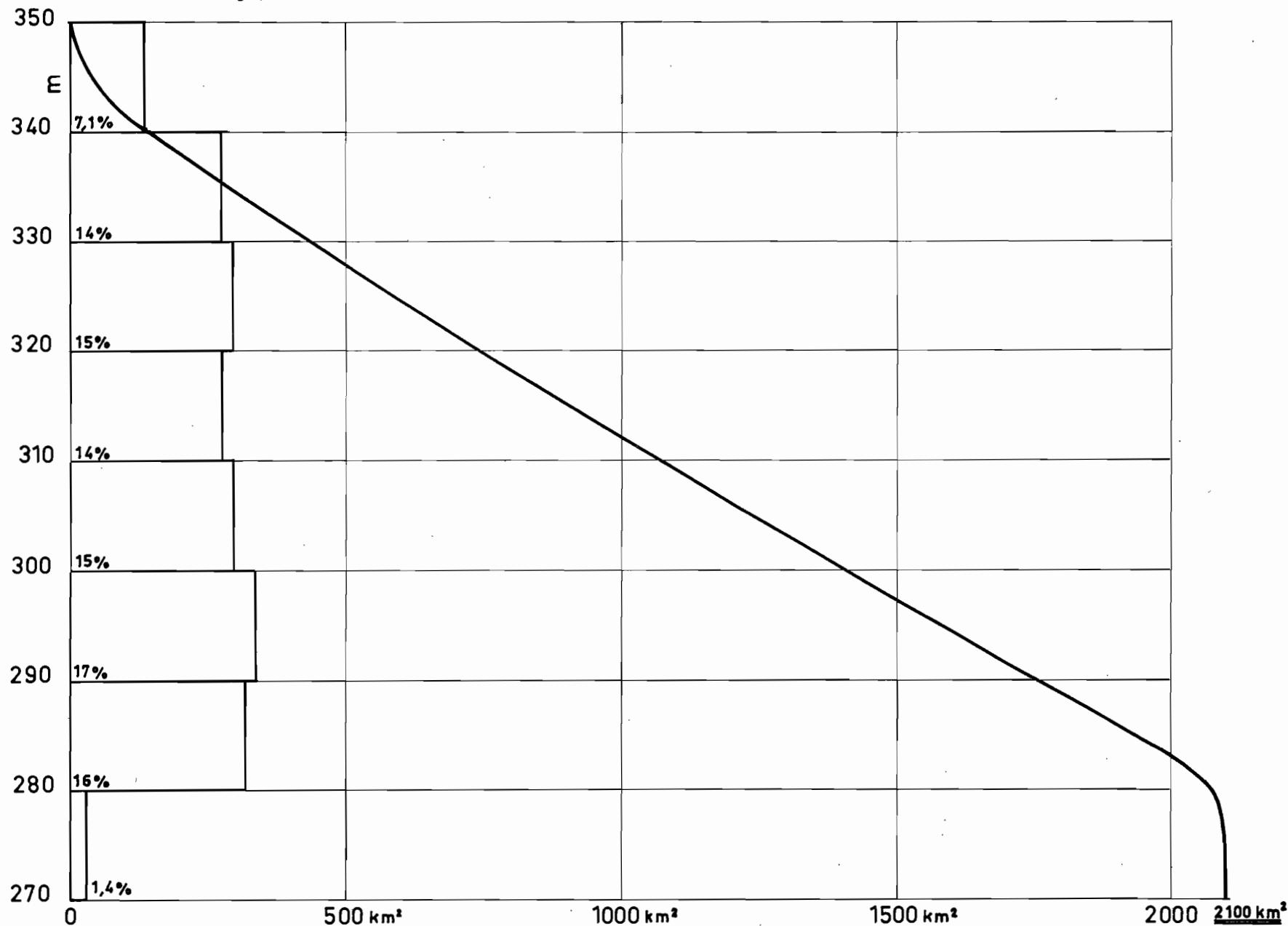
© R.S.T.C.M.

Ao

DATE : x. 68

DESSINÉ : GROUVEL

VOL - 61092



Bassin de OUAGADOUGOU

Courbe hypsométrique et courbe des fréquences altimétriques

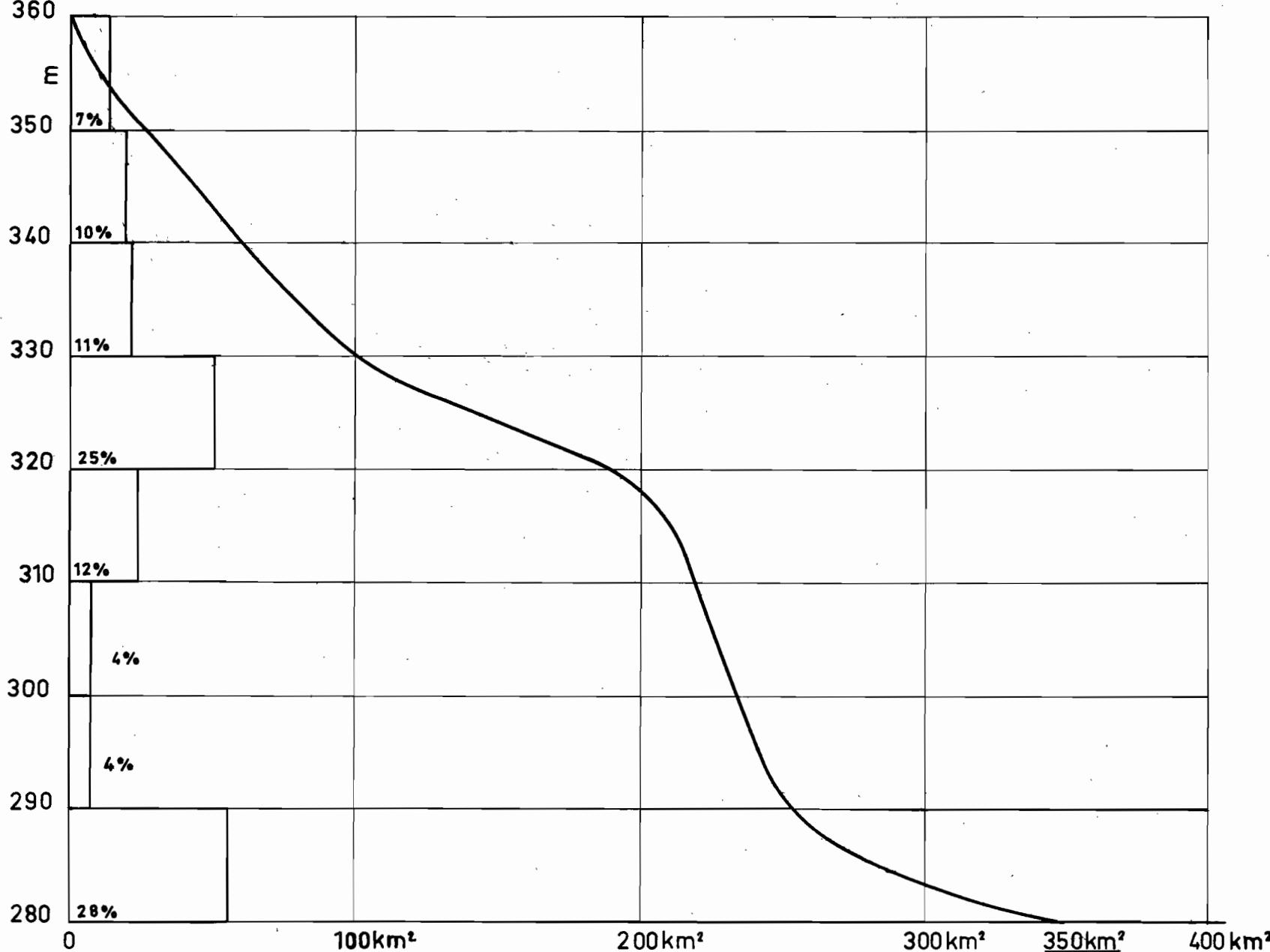
GRAPHE

DATE : x.63

DESSINÉ : a.m.vard

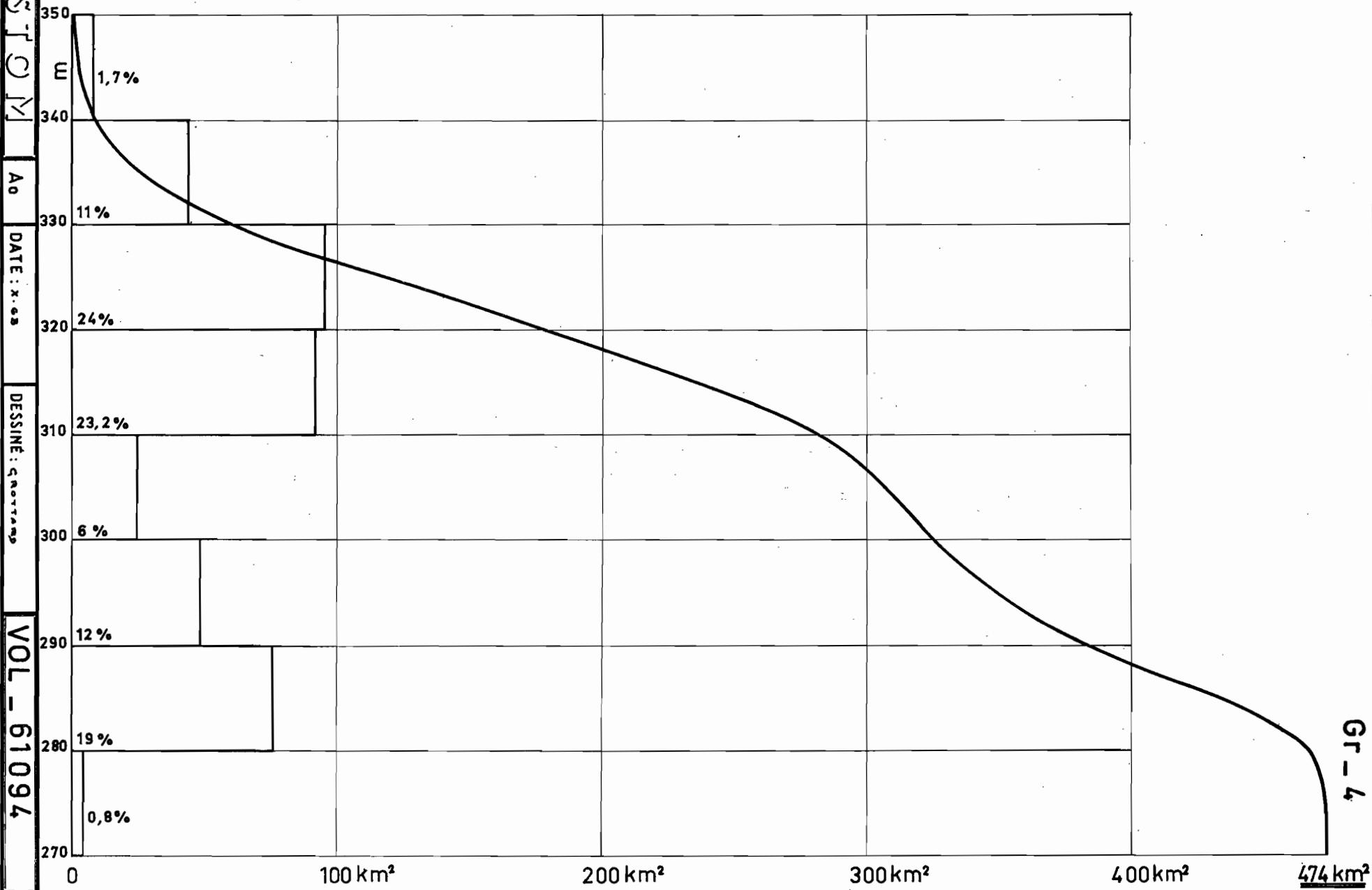
VOL - 61093

Gr - 3



Bassin de NABAGALE

Courbe hypsométrique et courbe de fréquences altimétriques



Plus de la moitié de la superficie du bassin (60 %) a une altitude supérieure à 310 mètres. Existence d'une pente plus forte entre 310 et 290 mètres.

Bassin du MORO NABA (Graphique 5) :

:	Altitude en mètres	320	315	310	305	300	295	290	:
:	km ²	3	3,6	5,1	3,0	1,7	1,3	0,15	:
:	Surface	%	16,7	36,9	65,5	82,1	91,8	98,8	100
:									:

Plus de la moitié de la superficie du bassin (65,5 %) a une altitude supérieure à 310 mètres.

Nous avons rassemblé les caractéristiques de forme des différents bassins étudiés dans le tableau ci-après, avec les notations suivantes :

A : superficie du bassin en km²

P : périmètre en km mesuré au curvimètre sur la carte de OUAGADOUGOU au 1/200 000^e et sur l'esquisse topographique au 1/50 000^e pour le MORO NABA.

K_c : indice de compacité de GRAVELIUS : $K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$

L : longueur du rectangle équivalent en km

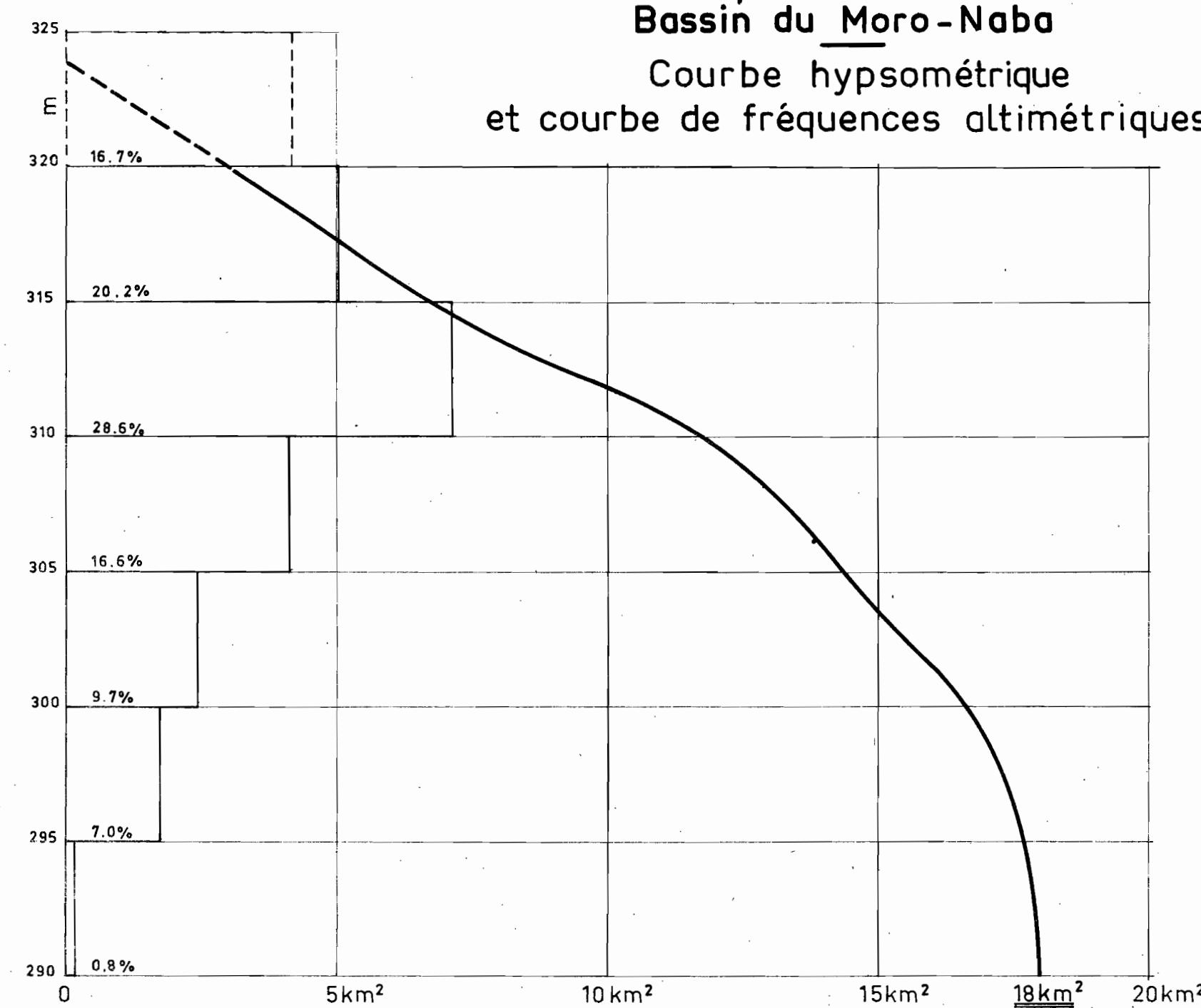
S : pente moyenne en % (pente du rectangle équivalent)

I_p : indice de pente $I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{\beta_i} (a_i - a_{i-1})$

(a_i - a_{i-1}) : Variation d'altitude entre deux courbes de niveaux

β_i : Surface de bassin comprise entre ces deux courbes

Cet indice a été introduit par M. ROCHE pour tenir compte de la forme de la courbe hypsométrique dans le calcul de la pente moyenne.



Bassins	A km ²	P km	K _c	L km	S %	I _p
LUMBILA	2120	188	1,15	57,8	0,13	0,011
DONSE	175	50	1,03	12,6	0,35	
PABRE	210	62	1,19	20,5	0,34	
KAMBOENSE	125	43	1,07	13,5	0,25	
OUAGADOUGOU	350	74	1,06	18,9	0,42	0,061
ZAGTOULI	11	13	1,09	3,9		
MORO NABA	18	16	1,05	5,4	0,62	
NABAGALE	470	100	1,30	28,2	0,28	0,049
BOULBI	125	42	1,05	14,0	0,21	
GOGEN	30	22	1,12	6,4		
SELOGEN	74	38	1,23	13,3	0,37	

La pente moyenne des différents bassins varie entre 0,13 % pour le bassin de LUMBILA et 0,62 pour le bassin de MORO NABA. Les indices de compacité varient entre 1,03 pour le bassin de DONSE et 1,30 pour le bassin de NABAGALE.

Sur 11 bassins, 6 ont un K_c inférieur à 1,1
3 ont un K_c inférieur à 1,2
2 ont un K_c supérieur à 1,2

Les bassins versants de OUAGADOUGOU ont donc, dans l'ensemble, un bon indice de compacité et une pente faible.

1.3. - HYDROGRAPHIE -

Le relief, très atténué, explique en grande partie que le réseau hydrographique soit peu marqué. Les thalwegs, assez peu individualisés, sont encombrés de végétation. Bien que le ruissellement superficiel soit important du fait de la nature argileuse du sol, il résulte de la nature du réseau hydrographique un assez mauvais drainage ; le début de la saison des pluies correspond à la formation de nombreuses flaques et mares qui, lorsque l'on s'avance dans la saison, finissent par se rejoindre. La "mise en eau" de ce réseau joue un rôle important dans le régime de l'écoulement. Cependant on ne peut pas encore parler de dégradation hydrographique telle qu'elle apparaîtra nettement plus au Nord.

Les bassins versants de OUAGADOUGOU font partie du bassin versant de la VOLTA BLANCHE.

Le bassin de LUMBILA est drainé par le MASSILI et l'un de ses tributaires, le KOULOHAKO; le MASSILI étant un affluent de rive droite de la VOLTA BLANCHE.

Le bassin de OUAGADOUGOU III est drainé par un autre tributaire du MASSILI.

Le bassin de NABAGALE est drainé par le BOULBI et la BISEGA, tributaires du NARYARLE qui rejoint le MASSILI peu avant son confluent avec la VOLTA BLANCHE.

1.4. - GEOLOGIE -

Pour la rédaction de ce sous-chapitre, nous avons puisé de nombreux renseignements dans l'ouvrage de M. Jean DUCELLIER "Contribution à l'étude des formations cristallines et métamorphiques du centre et du Nord de la HAUTE-VOLTA", édité en 1963 par le B.R.G.M.

1.4.1 - Aperçu géologique sur la HAUTE-VOLTA (Carte I) :

La HAUTE-VOLTA fait partie de la province birrimienne qui, avec la province atlantique (GUINEE, SIERRA-LEONE, LIBERIA) et la province nigérienne (DAHOMEY, TOGO, Sud-Est du GHANA), compose le bouclier africain.

On peut distinguer trois unités principales :

1 - Le socle, qui comporte

- a) des granites syntectoniques de craton,
- b) des roches métamorphiques birrimiennes ; migmatites stratiées, roches vertes, schistes et quartzites.

2 - Des terrains primaires et infracambriens venant en transgression sur ce socle dans l'Ouest de la HAUTE-VOLTA. Ce sont des terrains gréseux et schisto-gréseux non plissés.

3 - Le système nigérien qui vient en discordance sur le socle cristallin et métamorphique au Nord et au Nord-Ouest, système attribué par M. DEFOSSEZ (1958) à l'Infracambrien.

En plus de ces unités principales, on trouve quelques affleurements de Tarkwaien (Précambrien supérieur) surtout dans le Sud-Ouest.

Ce n'est qu'à la frontière entre la HAUTE-VOLTA et la COTE d'IVOIRE que l'on trouve trace de granites antébirrimiens et de migmatites antébirrimiennes (Massif de DABAKALA).

De nombreuses intrusions à prédominance acide sont visibles sur le terrain, les intrusions doléritiques dominent dans la partie Nord-Est du pays.

1.4.2 - Histoire géologique :

Le socle archéen se fracturant, il y a formation de cratons séparés par des fosses dans lesquelles se produit, au birrimien, le dépôt de flysch. En même temps, on note des venues basiques (basaltes, andésites) ; c'est à cette époque que commencent les premiers phénomènes de métamorphisme.

A la fin de la période birrimienne, se produisent des mouvements tectoniques accompagnés de venues granitiques le long des lignes de fracture. Ce granite donne, au contact des schistes, des migmatites et des granites migmatitiques.

On assiste ensuite à la mise en place de granites ("jeunes granites") et de syénites en massifs circonscrits.

Une période de calme et d'érosion suit, puis de nouvelles venues basiques (gabbros et dolérites) se produisent, du Tarkwaien au Poléozoïque. En même temps, formation au Nord d'un nouveau géosynclinal qui se remplit à l'époque infracambrienne (système nigérien).

À partir de ce moment, débute une érosion intense. Dans le Nord-Ouest, dépôt de sédiments continentaux, notamment les grès ordoviciens. La latérite se forme à la fin du coenozoïque.

1.4.3 - Tectonique :

On distingue, en HAUTE VOLTA, trois tectoniques superposées :

- une tectonique antébirrimienne de direction WNW - ESE,
- une tectonique birrimienne de direction principale SW - NE et de direction secondaire NW - SE.
- une tectonique post-birrimienne qui ne se marque que par un faible pendage vers le Nord des grès de bordure.

1.4.4 - Types de granites :

On distingue traditionnellement les granites baoulés des granites Bondoukou.

1 - Granites baoulés :

Ils se présentent en grands massifs tel le Massif de OUAGADOUGOU. Ce sont des batholites intrusifs concordants (ROQUES 1942). Leur texture est le plus souvent grenue ; on observe fréquemment une structure migmatitique.

En 1961, M. ARNOULD divise les "baoulés" en :

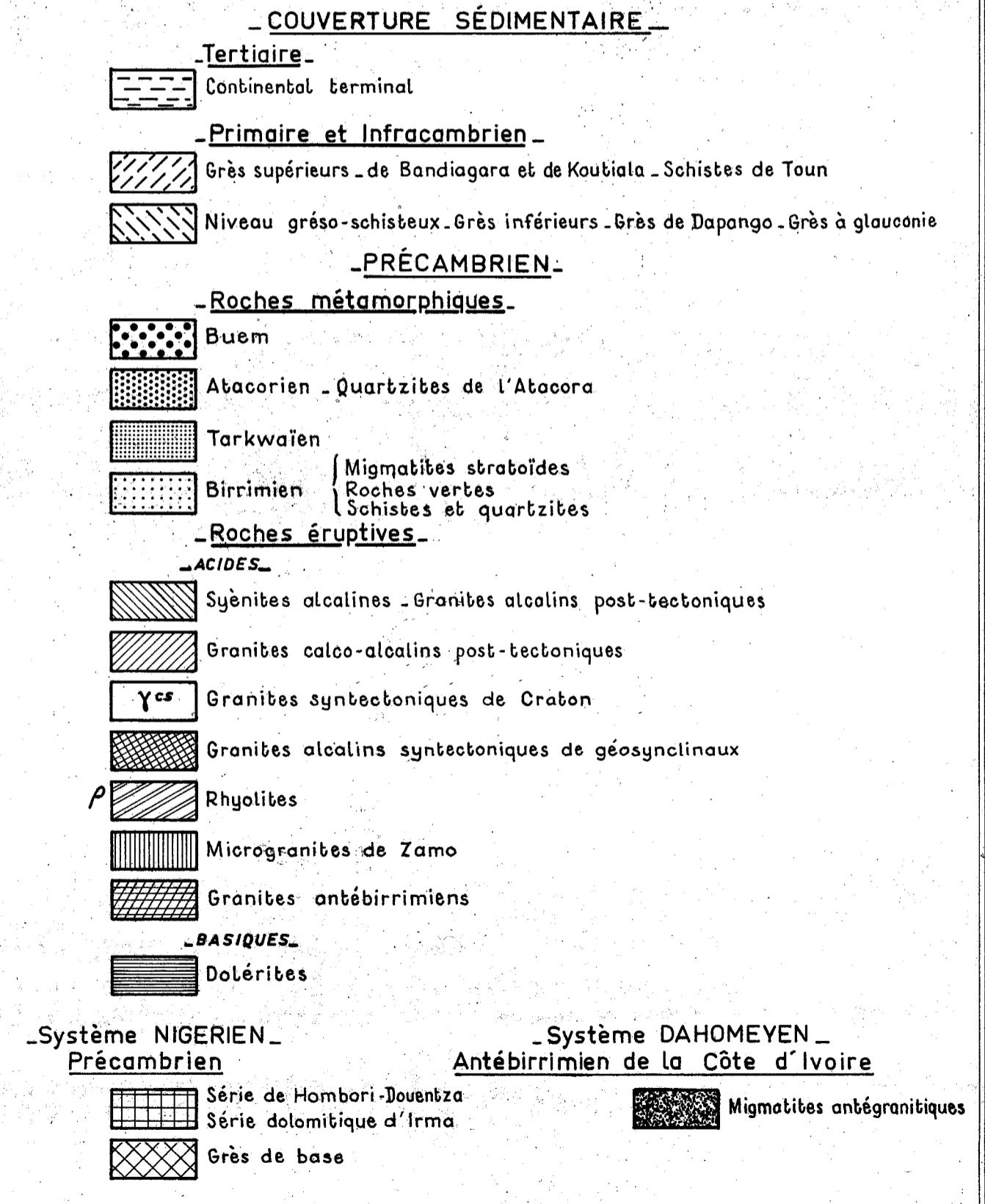
- granites de cratons
- granites de géosynclinaux

2 - Granites Bondoukou :

Ils se présentent en massifs circonscrits disposés en quatre bandes orientées N° - SE. La texture est généralement plagiomorphique, la structure massive.

CARTE GÉOLOGIQUE DE LA HAUTE-VOLTA

Echelle: 1/2 000 000



D'après les feuilles n°5 et n°2 de la carte géologique d'Afrique Occidentale au 1/2 000 000.

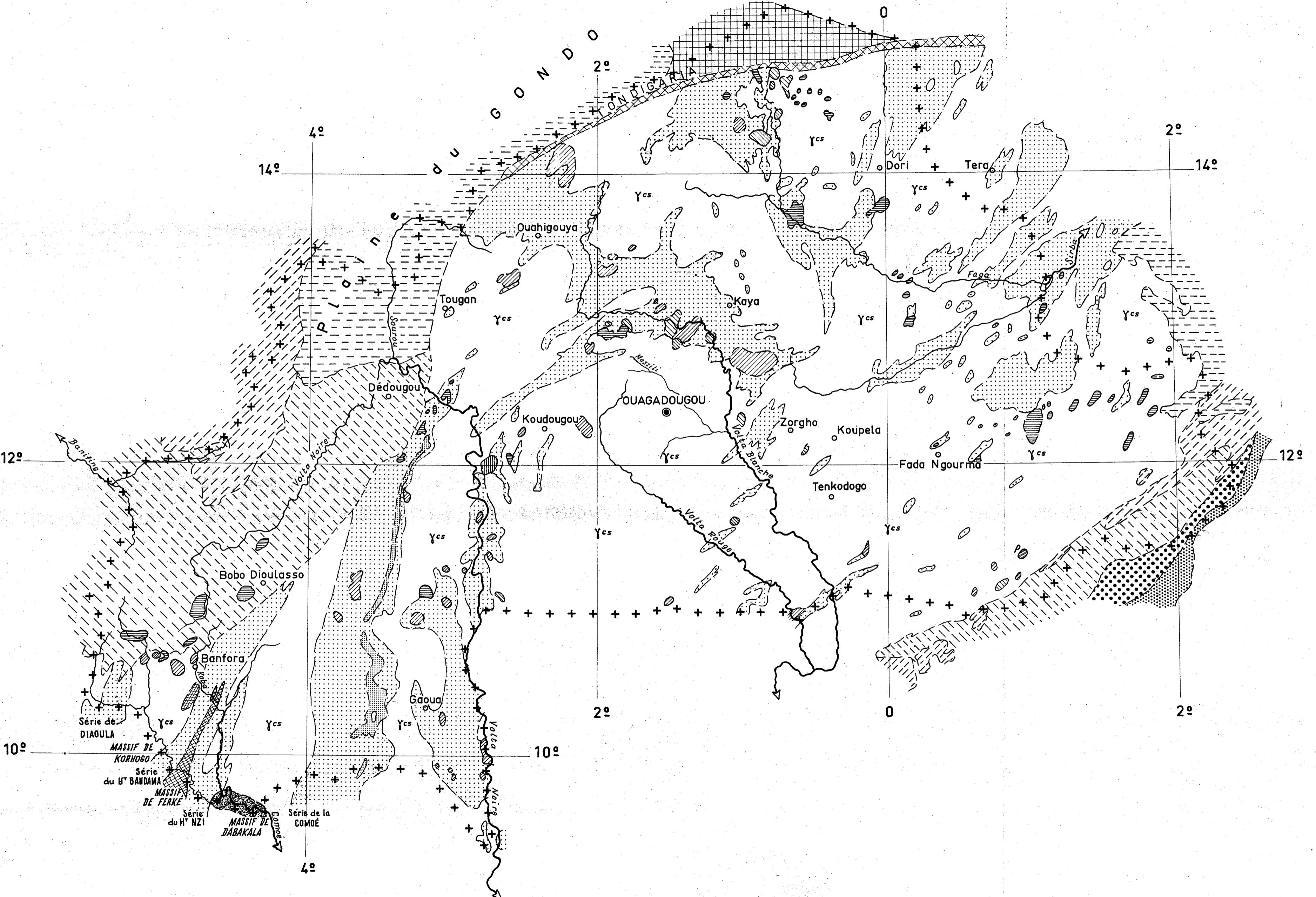
CRISTOM

0,26 m²

DATE: x-62.

DESSINÉ: CROTTARD

VOL - 61096



1.4.5 - Géologie des bassins versants de OUAGADOUGOU (graphique 6) :

Toute la région étudiée repose sur un grand massif de granites baoulés. Le socle affleure seul dans toute la région étudiée. Il est composé de granites calco-alcalins à biotite, à texture grenue. Ils contiennent des filons d'aplite et de pegmatite.

Trois bandes de migmatites intrabatholitiques à trame de gneiss œillé riche en biotite, orientée SW - NE (direction birrimienne) traversent les bassins situés au Sud de OUAGADOUGOU.

Toute la partie Nord du bassin de LUMBILA repose sur le granite syntectonique à texture porphyroïde : il ne diffère du granite calco-alcalin à biotite que par la présence de gros phénocristaux de microcline rose ou blanc pouvant atteindre 10 cm.

Ce n'est qu'entre BOUSSE et NYOU qu'apparaît un affleurement de roches métamorphiques birrimiennes, roches d'origine paramétamorphique ; ce sont des schistes argileux, des schistes tufacés et des quartzophyllades ferrugineuses.

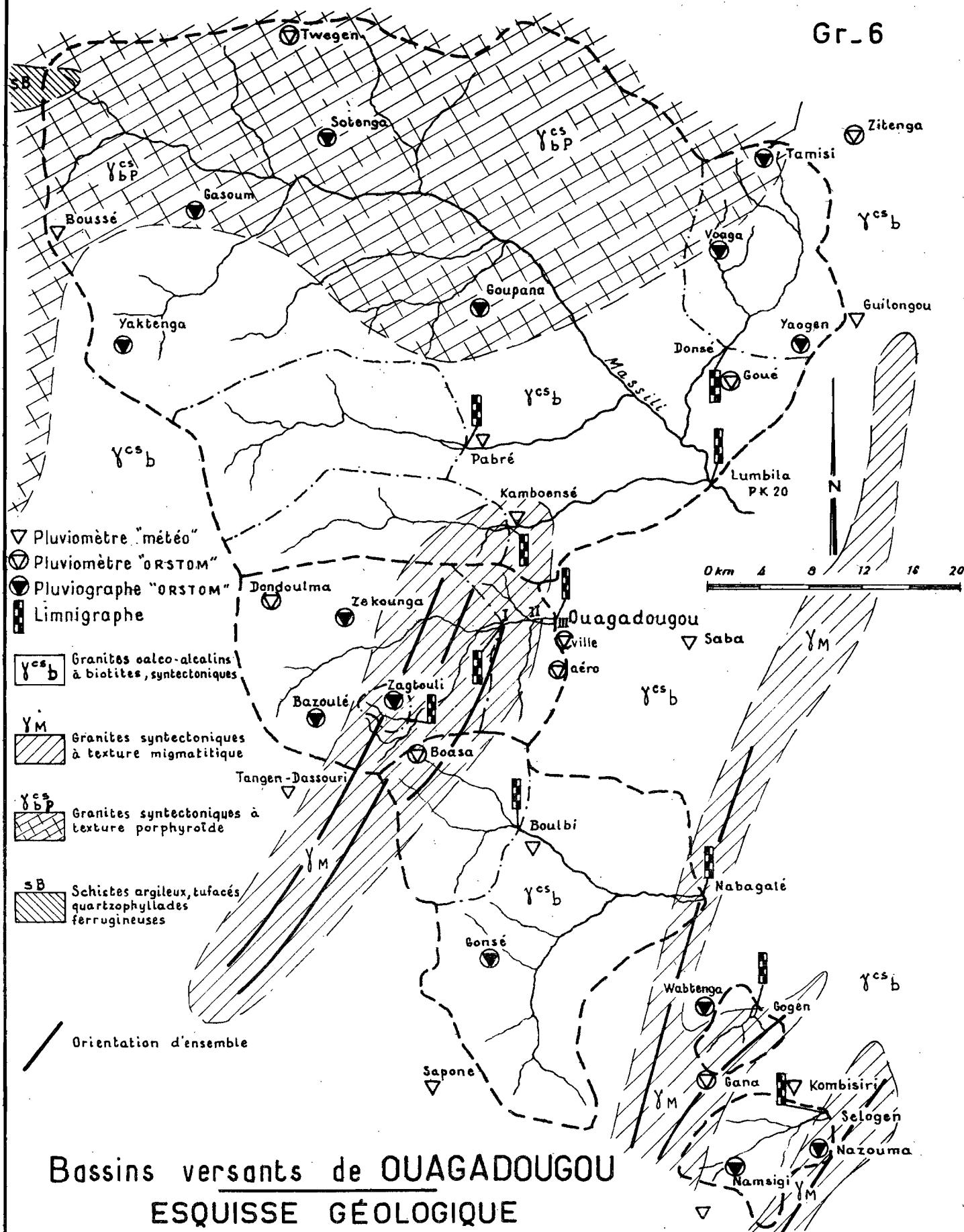
La cuirasse latéritique ou plutôt les débris de cuirasse sont surtout abondants dans le bassin de LUMBILA. Bien que l'on ne puisse pas la dater sur place, on s'accorde à lui donner un âge pliocène par comparaison avec la latérite du CAP VERT.

Des mesures d'anomalies gravimétriques du socle ont été effectuées en HAUTE-VOLTA par le Centre Géophysique de l'O.R.S.T.O.M.

Malheureusement, un seul itinéraire gravimétrique traverse la région qui nous intéresse, il ne concerne que le bassin de OUAGADOUGOU III et ne révèle rien de particulier quant à la structure profonde du socle.

Cette structure géologique ne laisse aucun espoir de découverte de nappe souterraine de grande importance. Seuls les matériaux de décomposition pourront constituer de maigres réserves.

Gr-6



Bassins versants de OUAGADOUGOU ESQUISSE GÉOLOGIQUE

d'après la carte au 1/500000 levée par M^e DUCELLIER pour le BRGM

1.5 - PEDOLOGIE -

Nous ne possédons, pour le moment, qu'une carte pédologique de reconnaissance levée par P. JONGEN pour la SOGETHA, carte qui ne couvre que le bassin de LUMBILA. Nous pouvons cependant considérer comme valables dans leurs grandes lignes, pour tous les bassins versants de OUAGADOUGOU, les observations suivantes faites sur le bassin de LUMBILA.

La plus grande partie de ces bassins, plus des 95 % de leur surface, sont formés par des sols ferrugineux tropicaux.

1 - Sols ferrugineux tropicaux :

1.1. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés :

On peut distinguer dans ce groupe trois familles :

- a) Famille sur matériaux érodés : sols très graveleux. Cette famille de sols forme environ 50 % de la surface du bassin.
- b) Famille sur matériaux dérivant de roches schisteuses birrimiennes ou de roches cristallines post-birimmiennes : sols argilo-sableux.
- c) Famille sur matériaux dérivant de roches cristallines post-birimmiennes.

1.2. Les sols ferrugineux tropicaux non lessivés ou peu lessivés :

Ces sols sont argilo-sableux.

1.3. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à hydromorphie de profondeur :

Ce sont surtout des sols argilo-sableux, beiges.

2 - Les sols hydromorphes minéraux :

Sols à gley et pseudo-gley d'ensemble. Sols argilo-limono-sableux.

3 - Les sols minéraux bruts :

Sols minéraux bruts d'érosion ou squelettiques.

Les débris de cuirasse sont surtout importants au Nord-Est d'une ligne joignant LAY à T'EGEN.

Nous voyons donc que les sols argilo-sableux dominent dans toute la région, sols imperméables, ce qui entraînera un ruisseaulement superficiel important et un ruisseaulement hypodermique très faible. Mais ce fort ruisseaulement ne donnera pas lieu à des débits très élevés dans les cours d'eau, étant donné la faible pente générale et l'assez mauvais drainage qui en résulte.

1.6-VEGETATION et CULTURES -

C'est une végétation de type classique soudano-guinéen ; savane arborée couvrant toute la zone étudiée avec un tapis graminéen comportant d'innombrables touffes d'*Androgon* sp.

Les Karités (*Butyrospermum Parkii*) et les Nérés, arbres de 7 à 8 mètres de haut, sont très abondants. Mais il faut noter que cette zone est surtout typique du baobab.

Dans le Nord du bassin de LUMBILA où le climat est plus sec que sur les autres bassins, apparaissent des épineux (*Acacia seyal* et *Acacia macrostachya*). Les palmiers sont rares : dans le Nord se développent quelques palmiers roniers. Dans la région de PABRE, présence de plantations de teck.

La culture dominante dans toute la région est celle du mil et du sorgho, qui est traditionnelle chez les Mossis. Comme cultures secondaires on trouve, dans l'ordre, le maïs, l'arachide.

En amont des retenues (KAMBOENSE, NABAGALE, par exemple), des bananeraies se sont développées ; enfin, la culture du riz est actuellement tentée dans les zones d'inondation.

Le développement du 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 des bassins en freinant le ruisseaulement.

||
DONNÉES CLIMATOLOGIQUES

CHAPITRE II

DONNEES CLIMATOLOGIQUES

2.1 - CLIMATOLOGIE GENERALE -

La HAUTE-VOLTA se partage entre les climats soudano-guinéen et soudano-sahélien, la limite étant approximativement le 12^e parallèle.

Dans les deux cas, deux saisons bien tranchées existent : au Sud du 12^e parallèle, la saison sèche a de 4 à 5 mois, au Nord, 6 mois.

2.1.1 - Mécanisme de la répartition des saisons en HAUTE-VOLTA :

C'est la position du front intertropical qui est la clef des saisons.

Le front intertropical ou F I T sépare l'air équatorial maritime improprement appelé "mousson", originaire de l'anticyclone de Ste-HELENE, de l'air tropical continental venant du Nord ou du Nord-Est du SAHARA, air sec et chaud "l'harmattan".

Ces deux masses d'air circulent conformément à la répartition des centres de haute et de basse pression.

En hiver, l'harmattan souffle sur la HAUTE-VOLTA car l'anticyclone saharien est centré sur le 30^{ème} parallèle : c'est la saison sèche.

En été, une dépression remplace l'anticyclone saharien et l'air équatorial maritime arrive sur la HAUTE-VOLTA, l'anticyclone de Ste-HELENE étant remonté vers le Nord : c'est la saison des pluies, la mousson jouant le rôle de masse froide par rapport à l'harmattan .

Ainsi en 1962, le F I T atteint le 20^e parallèle qui est sa position la plus septentrionale, au mois d'Août, ayant quitté le 5^e parallèle au mois de Janvier. Le front de mousson est situé au-delà du 12^e parallèle pendant les mois d'Août et de Septembre.

2.1.2 - Températures et pluviométries annuelles moyennes (graphique 7) :

Pour donner une idée générale des variations de la température et de la pluviométrie sur l'ensemble du pays, nous avons tracé sur un même graphique les courbes donnant la température moyenne annuelle et les précipitations moyennes annuelles en fonction de la latitude. Les moyennes ont été calculées sur 30 ans aux trois stations de GAOUA, OUAGADOUGOU-Ville et DORI.

La température moyenne annuelle varie de 27,4° vers le 10^e parallèle pour atteindre 28,2° sur le 14^e parallèle. C'est une variation de température très faible.

En 1962, la moyenne du mois le plus froid est de 22° en Janvier à DORI, et la moyenne du mois le plus chaud de 40,1° en Avril à OUAHIGOUYA.

Les précipitations moyennes annuelles varient en sens inverse de la température et passe de 1100 mm sur le 10^e parallèle à 560 mm sur le 14^e parallèle, soit une variation de près de 50 %.

2.1.3 - Humidité relative et évaporation annuelles moyennes (graphique 8) :

En nous servant des mêmes stations que précédemment, nous avons tracé les courbes de variation de l'humidité relative annuelle moyenne et de l'évaporation annuelle moyenne en fonction de la latitude.

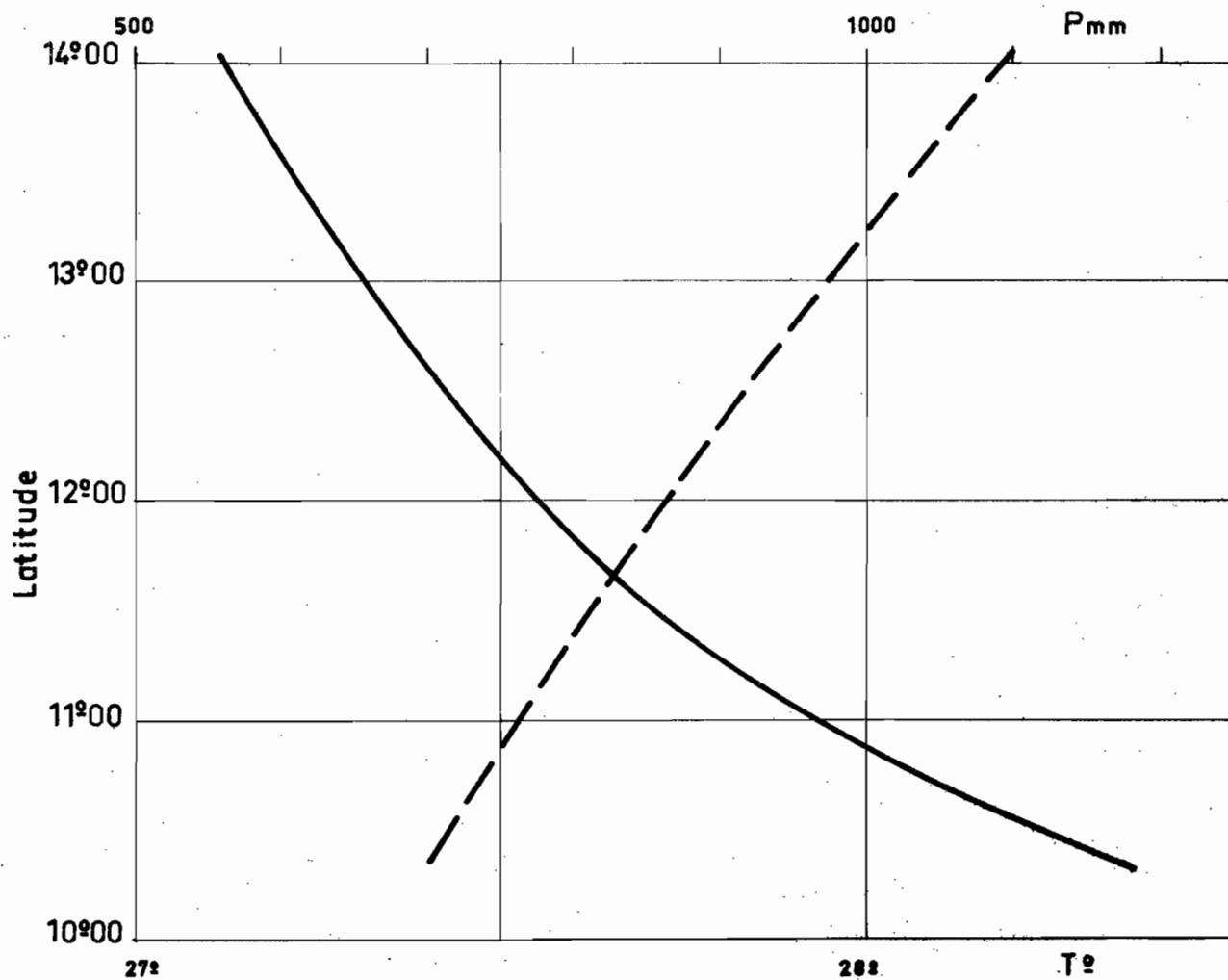
L'humidité relative passe de 50 % sur le 14^e parallèle à 58 % sur le 10^e parallèle.

L'évaporation Piche variant en sens inverse passe de 9,3 mm/jour sur le 14^e parallèle à 5 mm/jour sur le 10^e.

HAUTE-VOLTA (30ans)

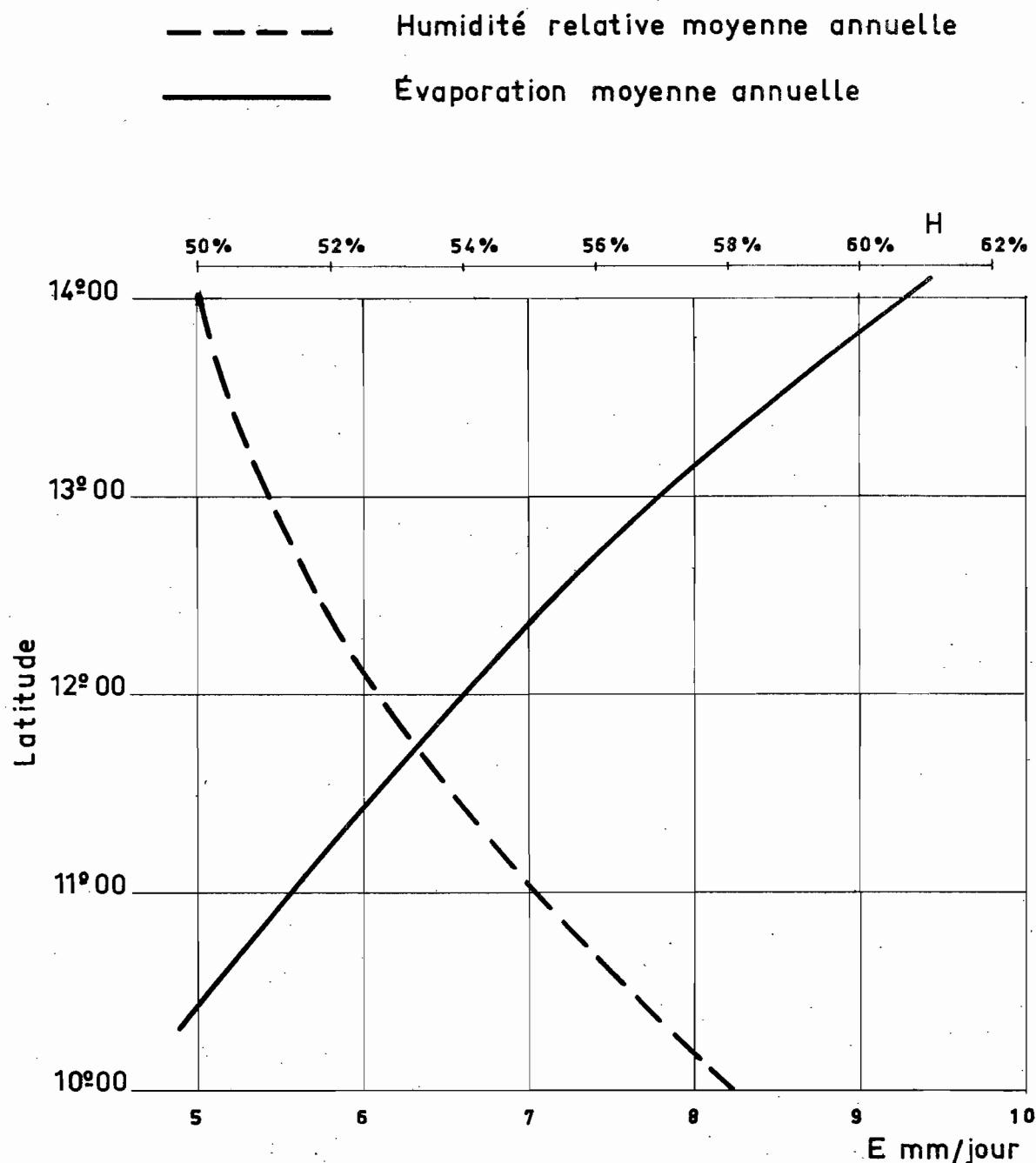
Variations de la température et des précipitations
en fonction de la latitude

— — — Température moyenne annuelle relevée sous abri
— — — Précipitations moyennes annuelles



HAUTE-VOLTA _1962_

Variations de l'évaporation et de l'humidité
en fonction de la latitude



Variations des températures mensuelles ($^{\circ}\text{C}$) relevées
sous abri aux trois stations de GAOUA, OUAGADOUGOU-Ville et DORI

Mois	GAOUA			OUAGADOUGOU-Ville			DORI		
	T_n	T_x	$\frac{T_x + T_n}{2}$	T_n	T_x	$\frac{T_x + T_n}{2}$	T_n	T_x	$\frac{T_x + T_n}{2}$
Janvier	18	35,1	26,5	12,9	33,5	23,2	11,1	32,8	21,9
Février	21,3	37,0	29,1	16,8	36,2	26,5	15,3	35,7	25,5
Mars	24,4	38,7	31,5	20,8	38,9	29,8	18,6	39,0	28,8
Avril	23,8	35,6	29,7	25,0	38,4	31,7	24,6	40,5	32,5
Mai	22,6	33,6	28,1	25,3	36,8	31,0	22,6	33,6	28,1
Juin	21,3	31,1	26,2	23,1	33,4	28,2	25,0	38,2	31,6
Juillet	21,6	30,5	26,0	22,8	31,9	27,3	24,1	35,6	29,8
Août	20,8	28,8	24,8	21,7	30,0	25,8	22,4	31,9	27,1
Septembre	20,8	30,7	25,7	22,1	31,4	26,7	22,9	34,5	28,7
Octobre	21,5	33,4	27,4	22,7	35,2	28,9	22,7	38,4	30,5
Novembre	21,4	34,6	28,0	22,8	36,2	29,5	21,5	38,2	29,8
Décembre	17,8	34,6	26,2	16,1	33,7	24,9	14,3	34,1	24,2
Moyenne	21,3	33,6	27,4	21,0	34,6	27,8	20,4	36,0	28,2

T_n : moyenne des minimums

T_x : moyenne des maximums

$\frac{T_x + T_n}{2}$: moyenne mensuelle

Variations de l'humidité relative mensuelle aux trois stations de GAOUA, OUAGADOUGOU-Aéro et DORI en 1962

Mois	GAOUA			OUAGADOUGOU-Aéro			DORI		
	Max. %	Min. %	H %	Max. %	Min. %	H %	Max. %	Min. %	H %
Janvier	42	8	25	59	5	32	-	9	
Février	78	10	44	52	5	28	67	5	36
Mars	93	12	52	64	5	34	61	5	33
Avril	100	8	54	98	4	51	86	5	45
Mai	100	37	68	98	10	54	87	10	48
Juin	100	40	70	98	36	67	100	14	57
Juillet	100	46	73	98	42	70	98	22	60
Août	100	47	73	100	57	78	99	34	66
Septembre	100	44	72	98	40	69	96	29	62
Octobre	100	25	62	98	15	56	98	13	55
Novembre	100	23	61	96	14	55	96	10	53
Décembre	78	12	45	64	8	36	72	7	39
Moyenne	91	26	58	85	20	52	87	13	(50)

Variations de l'évaporation mensuelle moyenne Piche
aux quatre stations de GAOUA, OUAGADOUGOU-Aéro, OUAGADOUGOU-Ville et DORI
en 1962
(mm/jour)

Mois	GAOUA	OUAGA-Aéro	OUAGA-Ville	DORI
	E	E	E	E
Janvier	9,1	9,9	7,8	9,7
Février	9,8	11,7	9,6	12,4
Mars	9,3	12,5	10,9	13,9
Avril	5,9	9,8	8,7	13,5
Mai	3,3	6,9	6,3	12,1
Juin	2,5	4,8	4,0	8,7
Juillet	2,3	3,7	3,0	6,5
Août	1,5	2,0	1,7	3,1
Septembre	1,6	2,5	2,1	4,1
Octobre	3,0	4,6	4,3	
Novembre	3,7	6,7	6,2	8,3
Décembre	7,3	9,6	8,2	9,9
E	4,9	7,0	6,0	9,3

2.2 - DONNEES CLIMATOLOGIQUES RELATIVES aux BASSINS VERSANTS de OUAGADOUGOU -

Données générales - Données 1962 :

La seule station permettant d'établir des moyennes sur une longue période est OUAGADOUGOU, aussi les résultats obtenus ne constituent-ils qu'une indication générale pour l'ensemble des bassins.

2.2.1 - Répartition des saisons :

Sur ces bassins règne le climat soudanien comportant :

- une saison sèche allant d'Octobre à Avril
- une saison humide allant de Mai à Septembre, c'est l'hivernage, avec un maximum de précipitations en Août.

Nous avons tracé la courbe ombrothermique (GAUSSEN) (graphique 9) de OUAGADOUGOU, en portant en ordonnées, d'une part, les précipitations moyennes mensuelles et, d'autre part, en abscisses, avec une échelle double, les températures moyennes mensuelles. En appliquant la définition du mois sec de GAUSSEN (mois dont la hauteur de précipitation moyenne est inférieure ou égale à sa température moyenne multipliée par deux), nous voyons que la saison sèche correspond effectivement à 7 mois, de même le tracé du climogramme de OUAGADOUGOU (graphique 10) montre bien la répartition en mois arides et mois tropicaux.

2.2.2 - Températures (graphique 11) :

Température annuelle moyenne à OUAGADOUGOU : $27,8^{\circ}$.

La courbe des températures moyennes mensuelles présente deux maximums et deux minimums.

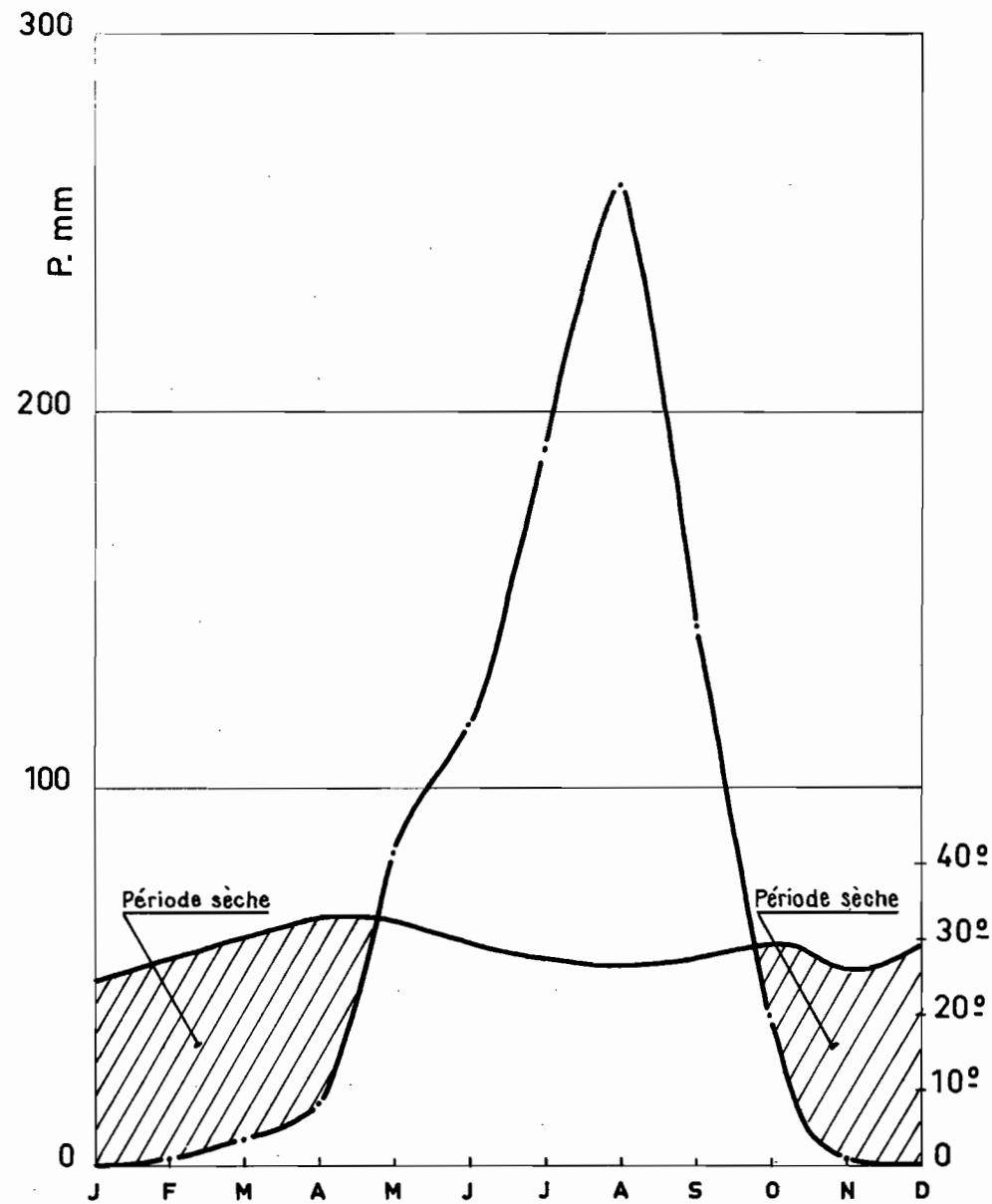
Un premier maximum en fin de saison sèche, en Avril ($32,8^{\circ}$) et un second maximum en début de saison sèche, en Octobre ($29,3^{\circ}$).

Un minimum au milieu de la saison des pluies en Août ($26,3^{\circ}$) et un second minimum en Janvier ($24,8^{\circ}$).

Les écarts diurnes de température sont minimaux en Août (9°) et maximaux de Décembre à Février ($18^{\circ} - 19^{\circ}$).

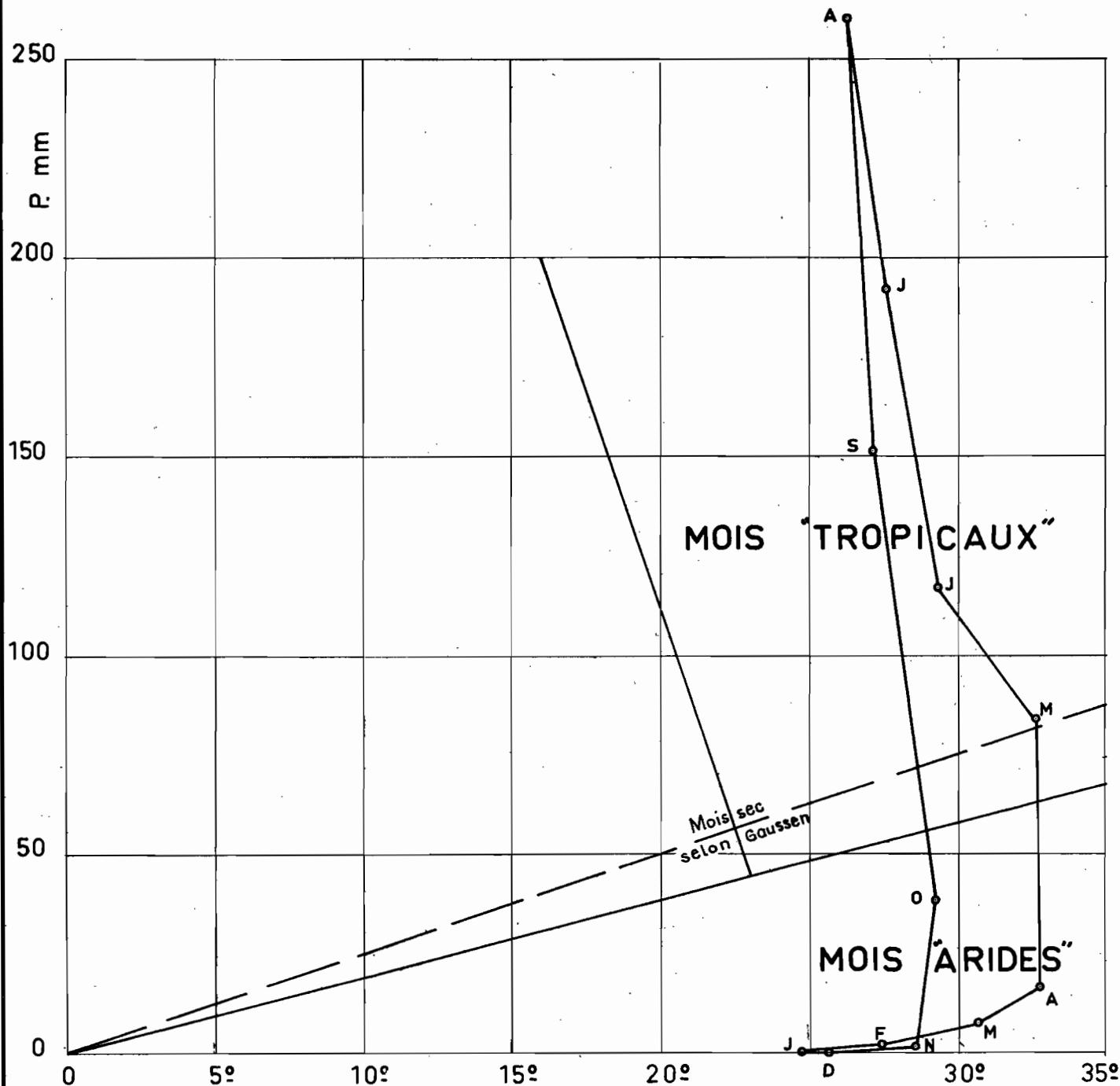
OUAGADOUGOU

Courbe ombrothermique (GAUSSEN)
moyennes mensuelles sur 30 ans



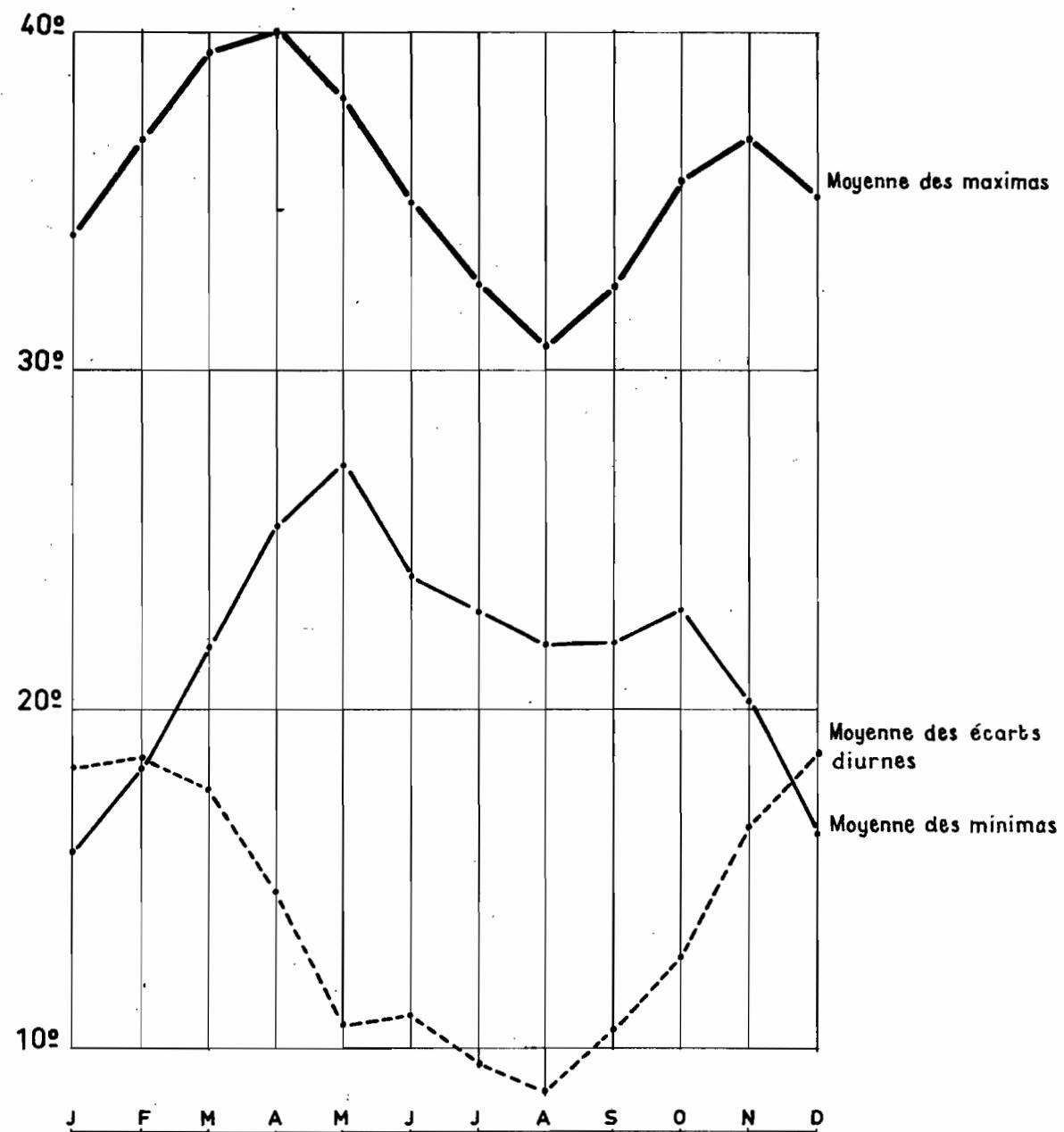
Climogramme de OUAGADOUGOU

Moyennes mensuelles sur 30 ans



OUAGADOUGOU- Aéro (1930-1954)

Variations des températures



Les températures nocturnes (T_n) minimales en Janvier ($15,8^\circ$) passent par un premier maximum en Mars ($27,3^\circ$) puis décroissent pendant la saison des pluies jusqu'à un minimum secondaire en Août (22°). Elles remontent ensuite légèrement jusqu'en Octobre (23°).

Les températures diurnes (T_x) suivent le même cycle de variation et passent de 34° en Janvier à 40° en Avril pendant la saison sèche. Elles décroissent ensuite jusqu'au minimum d'Août ($30,7^\circ$) remontant ensuite jusqu'à un second maximum en Novembre, début de la saison sèche ($36,8^\circ$).

Pour 1962 (graphique 12)

Mois le plus chaud : Avril $31,5^\circ$

Mois le plus froid : Août $22,5^\circ$

Ecart diurne maximal moyen : 19° en Janvier

Ecart diurne minimal moyen : 9° en Août

2.2.3 - Humidité relative (graphique 13)

L'humidité relative à OUAGADOUGOU passe par un maximum en Août (75 %) et décroît jusqu'à un minimum de 25 % en Février pendant la saison sèche.

L'humidité relative maximale moyenne et l'humidité relative minimale moyenne varient en sens inverse de la température et dans le même sens que la pluviométrie.

L'humidité relative maximale moyenne présente un minimum en Février (52 %) puis croît très rapidement et reste comprise entre 98 % et 100 % du mois d'Avril au mois de Novembre.

L'humidité relative minimale moyenne, égale à 5 % de Janvier à Mars, descend à 4 % en Avril puis croît jusqu'à 57 % en Août sans présenter un palier comme l'humidité relative maximale moyenne.

En 1962 (graphique 14)

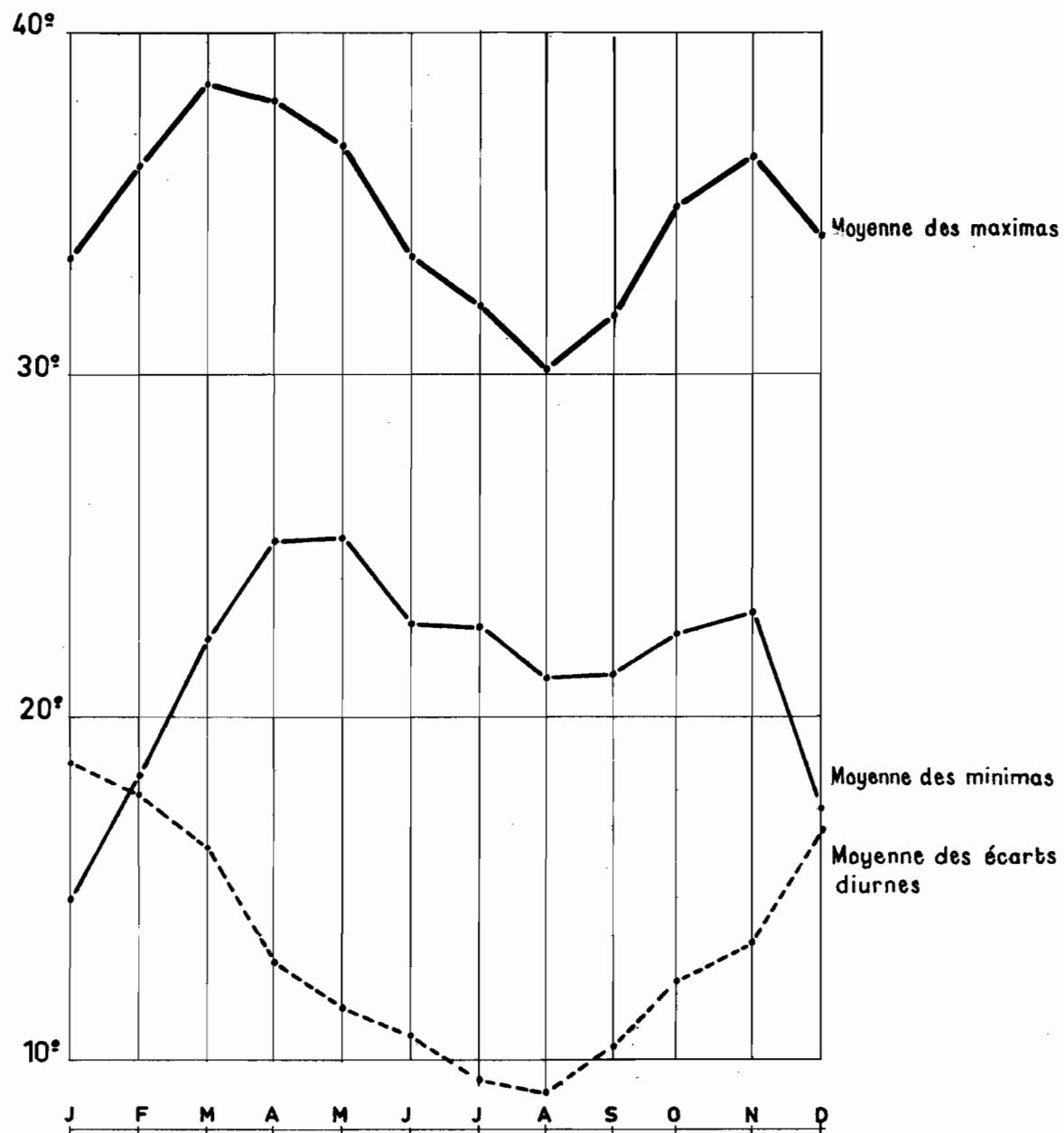
Maximum : 77 % en Août

Minimum : 26,5 % en Février

Un graphique de synthèse (graphique 15) montre les variations de l'humidité relative, de la température et des précipitations moyennes mensuelles à OUAGADOUGOU.

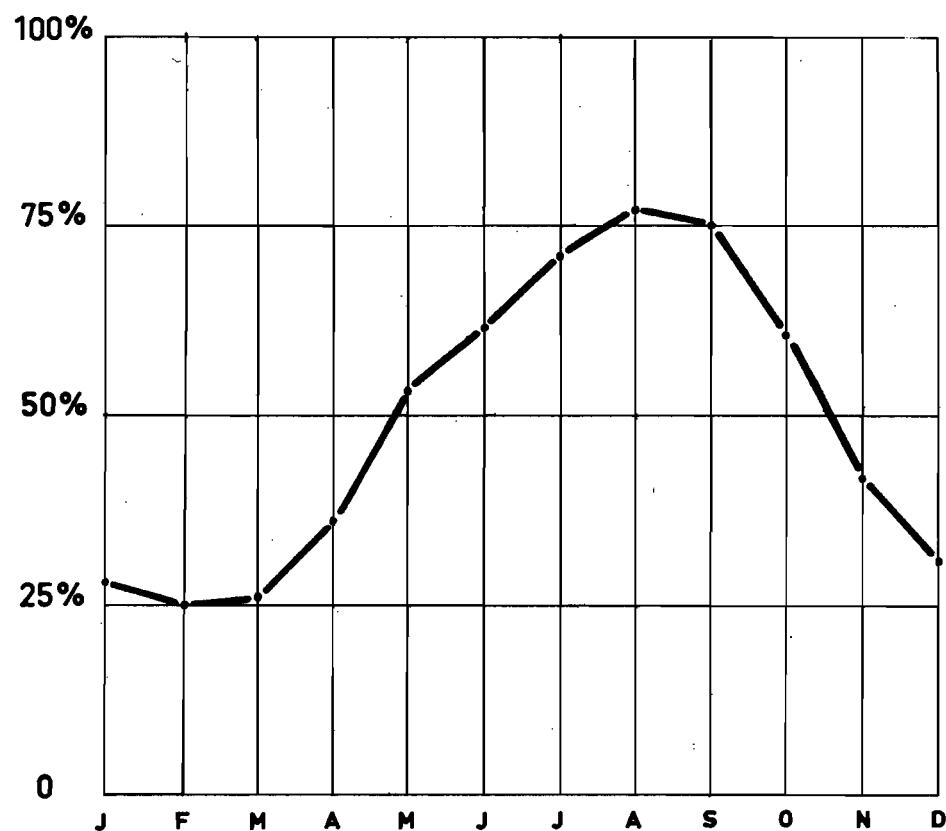
OUAGADOUGOU-Aéro

Variations mensuelles des températures
en 1962

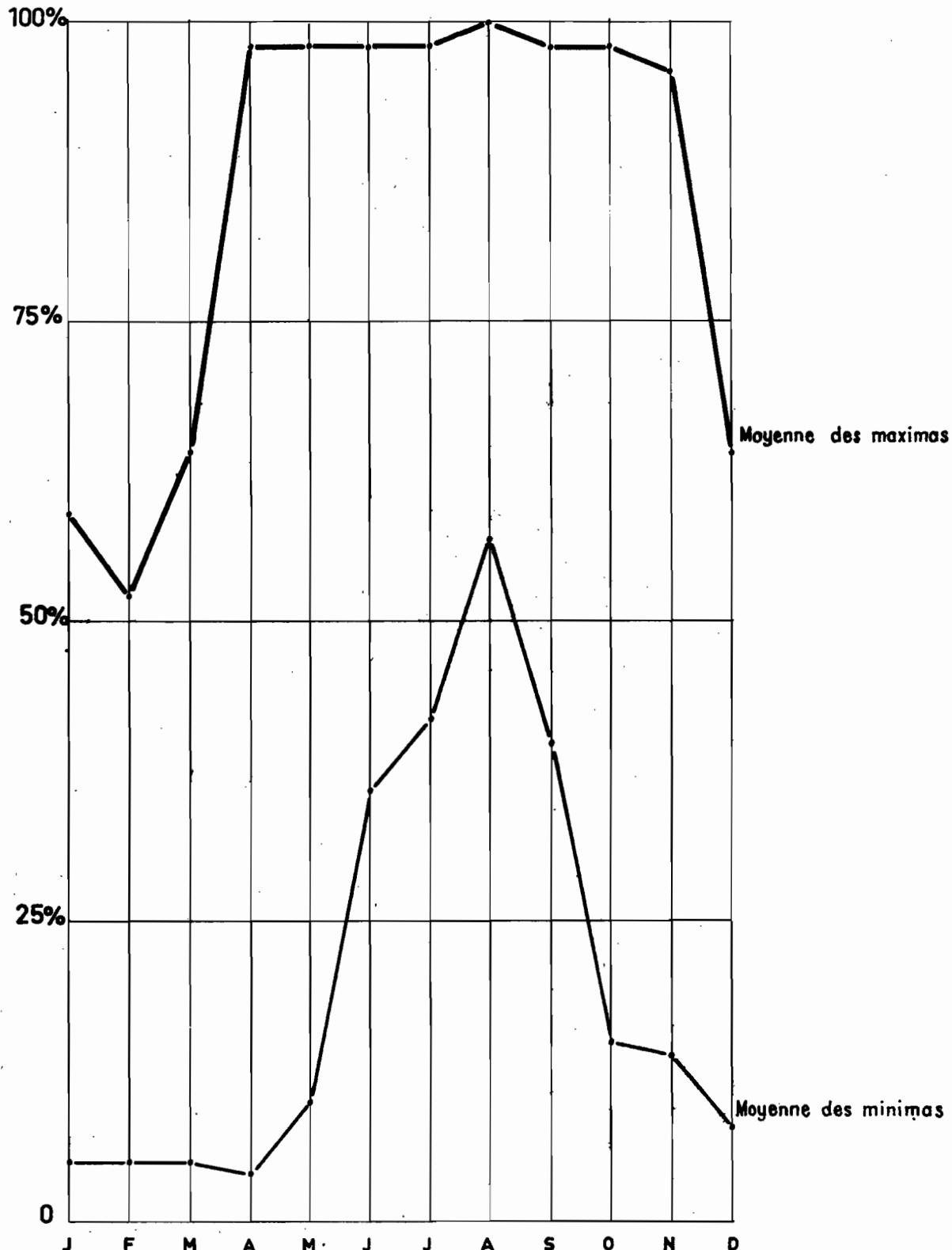


OUAGADOUGOU-Aéro (1936-1955)

Variations de l'humidité relative

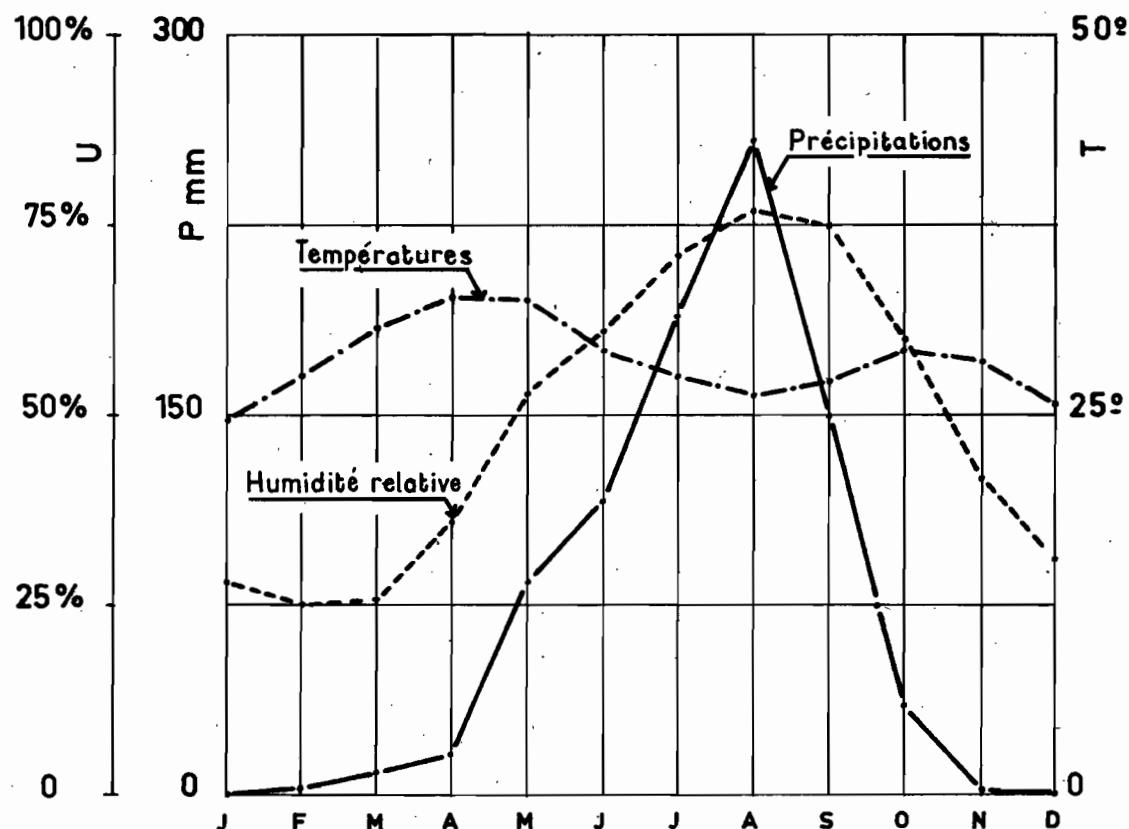


OUAGADOUGOU - Aéro

Variations mensuelles de l'humidité relative
en 1962

OUAGADOUGOU - Aéro (1936-1955)

Variations mensuelles
de la pluviométrie, de l'humidité relative
et de la température



2.2.4 - Pressions et vents en 1962 :

A OUAGADOUGOU-Aéro, la pression moyenne mensuelle rapportée au niveau de la mer présente deux maximums et deux minimums (graphique 16):

Maximum en Janvier : 1011,5 mb.

Minimum en Avril : 1007,3 mb.

Maximum en Juillet : 1011,6 mb.

Minimum en Novembre: 1008,8 mb.

Le diagramme de fréquence des directions des vents à OUAGADOUGOU-Aéro montre une prédominance des vents de secteur S-W sur les vents de secteur N-E (graphique 17).

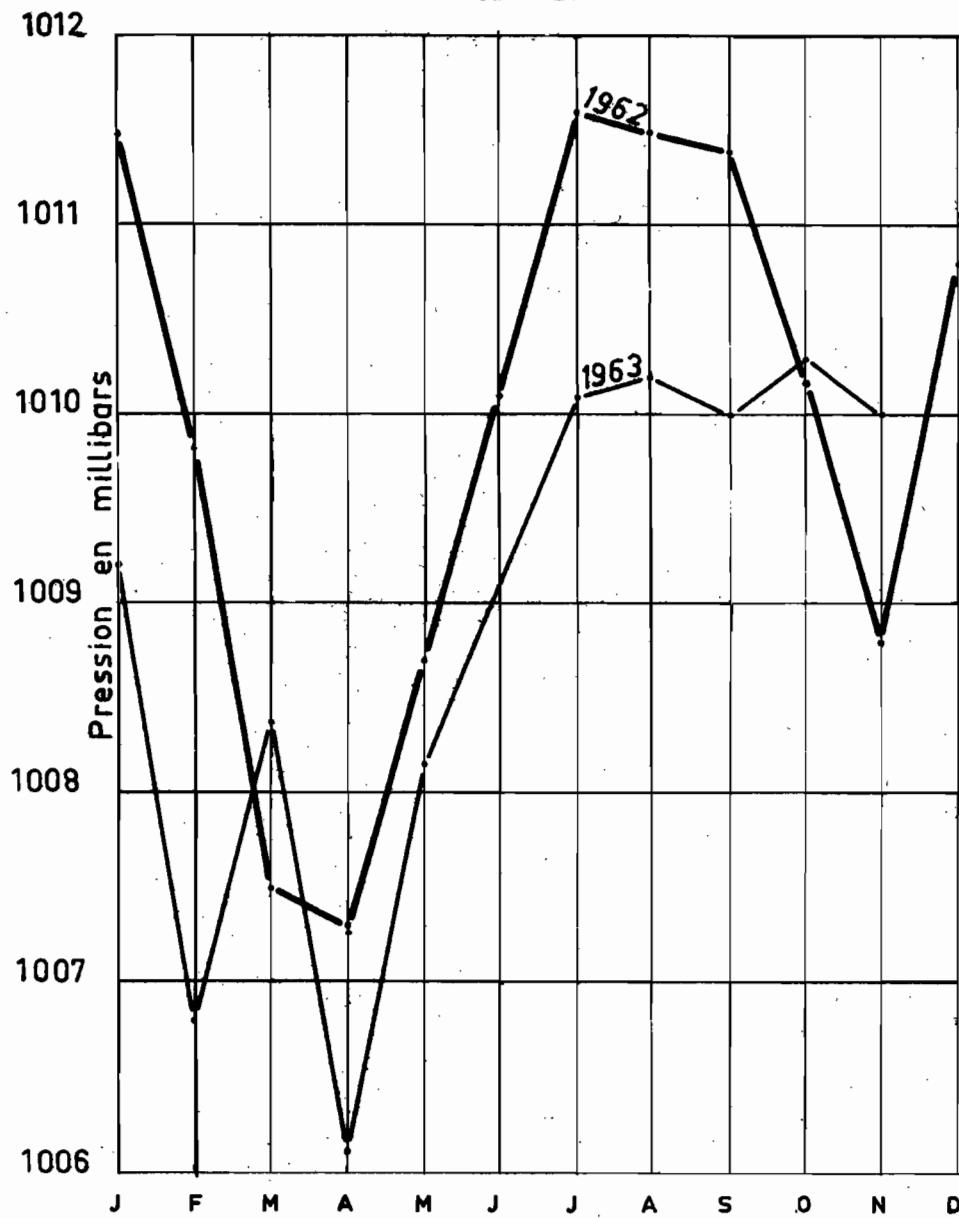
D'autre part, le diagramme de fréquence des directions des vents selon la saison (graphique 18) montre bien le phénomène de bascule entre la saison sèche et l'hivernage. Le vent de S-W ou mousson est prépondérant en saison des pluies, le vent du N-E ou harmattan, en saison sèche. Ceci serait encore plus net si on prenait en considération exactement les périodes d'hivernage ou de saison sèche, éliminant les périodes de transition.

Direction	N	NE	E	SE	S	SI	W	NW
Saison des pluies	0,7	0,9	2,4	1,1	15	19,8	15,2	1,9
Saison sèche	8,2	11,5	11,4	0,4	5,5	4,0	7,4	4,4

OUAGADOUGOU - Aéro (Alt: 313,914 m)

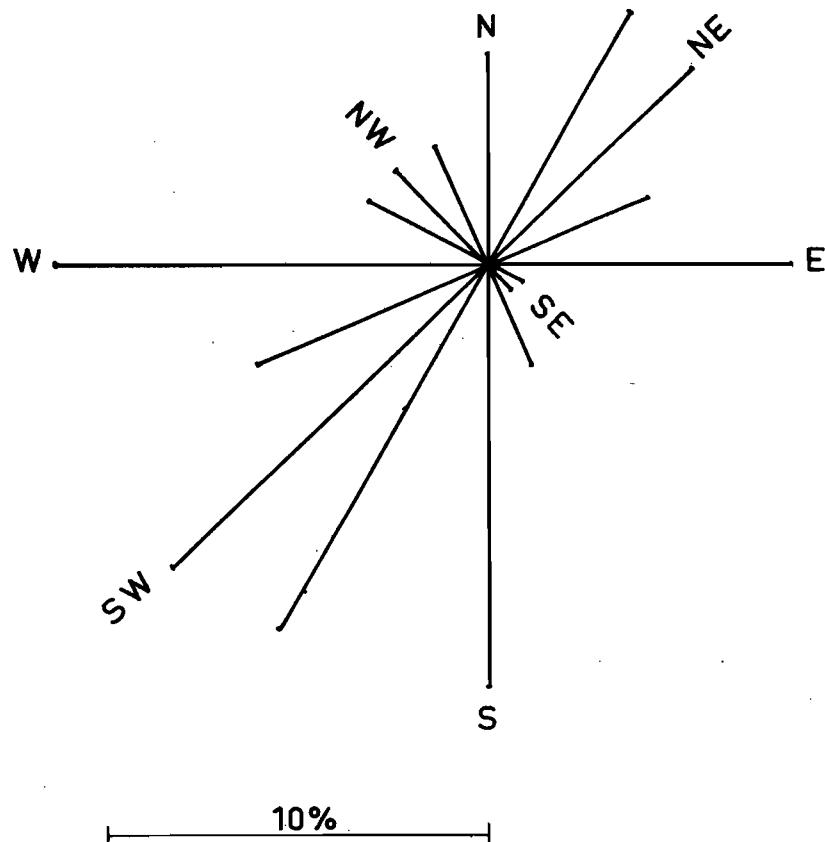
Variations mensuelles
de la pression atmosphérique

Pression moyenne mensuelle rapportée au niveau de la mer



OUAGADOUGOU - Aéro (1962)

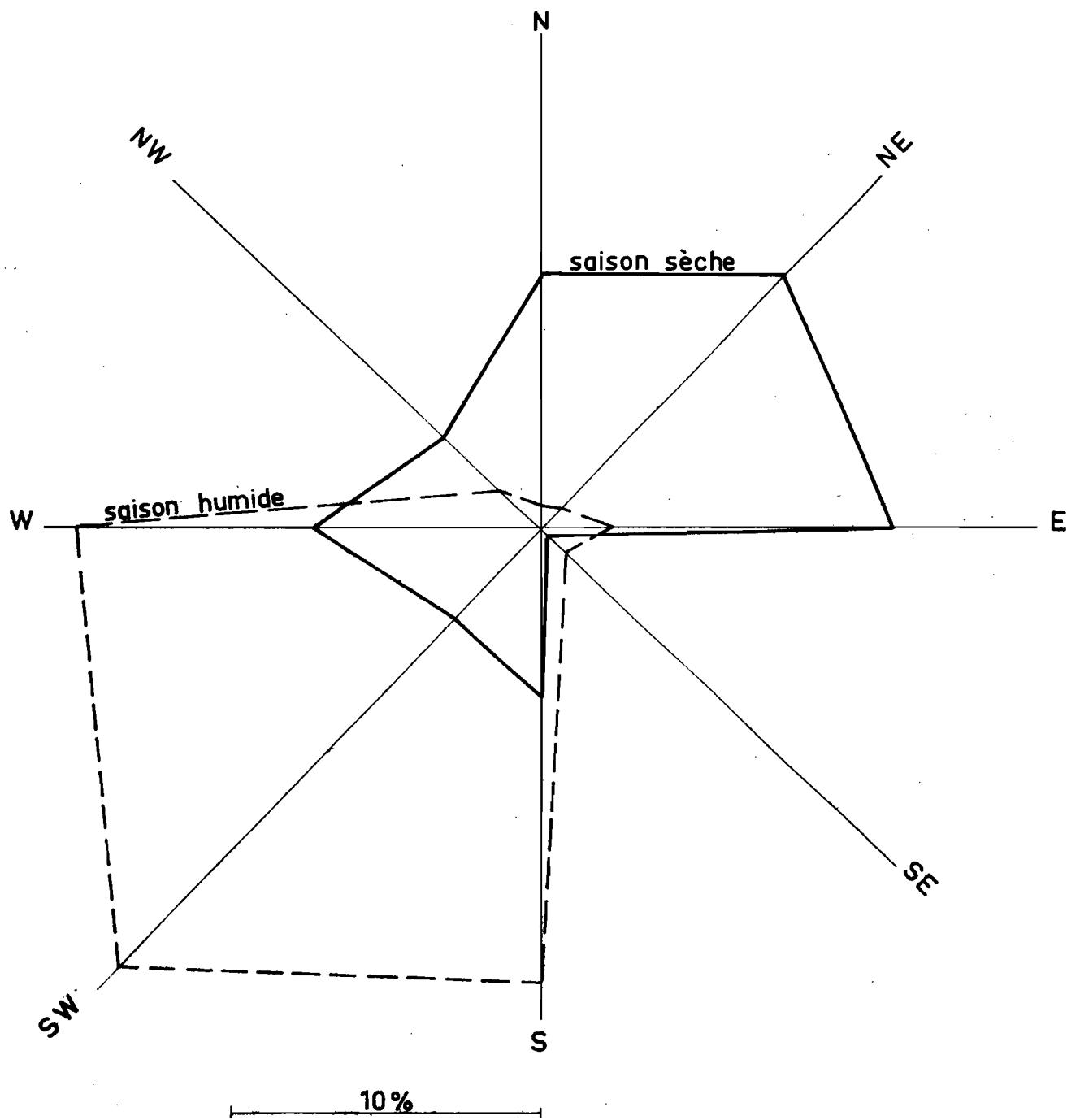
Fréquence des directions des vents



Fréquence des vents de vitesse inférieure à 1 m/s = 7%

OUAGADOUGOU - Aéro (1962)

Fréquence des directions des vents
selon la saison



Directions des vents à OUAGADOUGOU-Aéro
en 1962

Fréquence

Mois	Direction	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSE	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Janvier		24	46	56	38	37	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	9
Février		16	36	50	20	45	4	1	1	6	4	0	0	1	0	7	6
Mars		28	33	29	19	46	3	0	5	7	3	3	4	8	13	16	14
Avril		3	15	13	8	16	8	0	3	19	23	17	22	42	13	13	7
Mai		1	2	0	0	0	0	0	3	38	56	58	32	38	12	4	1
Juin		1	1	1	1	6	3	2	15	38	56	49	21	29	11	1	2
Juillet		1	1	4	1	5	0	2	6	34	50	64	25	41	3	4	1
Août		4	4	2	5	4	2	2	8	44	32	37	20	42	12	5	0
Septembre		2	3	4	3	14	0	8	12	26	22	33	28	34	10	8	5
Octobre		7	8	1	1	16	3	5	15	40	34	26	12	42	10	5	1
Novembre		16	19	11	4	8	3	0	9	21	19	20	14	30	8	17	14
Décembre		48	40	35	28	20	0	0	1	0	1	1	0	1	5	13	35
		:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
Total des observations		151	208	206	128	217	27	20	78	273	300	309	178	308	97	95	95
%		5,6	7,7	7,6	4,7	8,0	1,0	0,7	2,9	10,1	11,1	11,5	6,6	11,4	3,6	3,5	3,5
		:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

Total des observations pour les vitesses ≥ 1 m/s : 2690

2.2.5 - Evaporation :

Nous avons présenté plus haut les données de l'évaporomètre Piche, mais pour l'estimation de l'évaporation à la surface d'un réservoir, il vaut mieux se fier aux données des bacs évaporatoires.

2.2.5.1 - Equipement (graphique 19) :

Cinq bacs d'évaporation ont été installés sur les bassins versants de OUAGADOUGOU.

Ces bacs sont des "Colorado, type ORSTOM" de 1 m^2 de surface sur 60 cm de profondeur.

Bassin du PK 20 :

- 1 bac enterré installé le 2/11/1961 à la cote $H = 3,10\text{ m}$, au voisinage de la retenue : bac n° 1.
- 1 bac flottant installé le 9/11/1961 sur la retenue du PK 20 : bac n° 2.

Bassin de OUAGADOUGOU I :

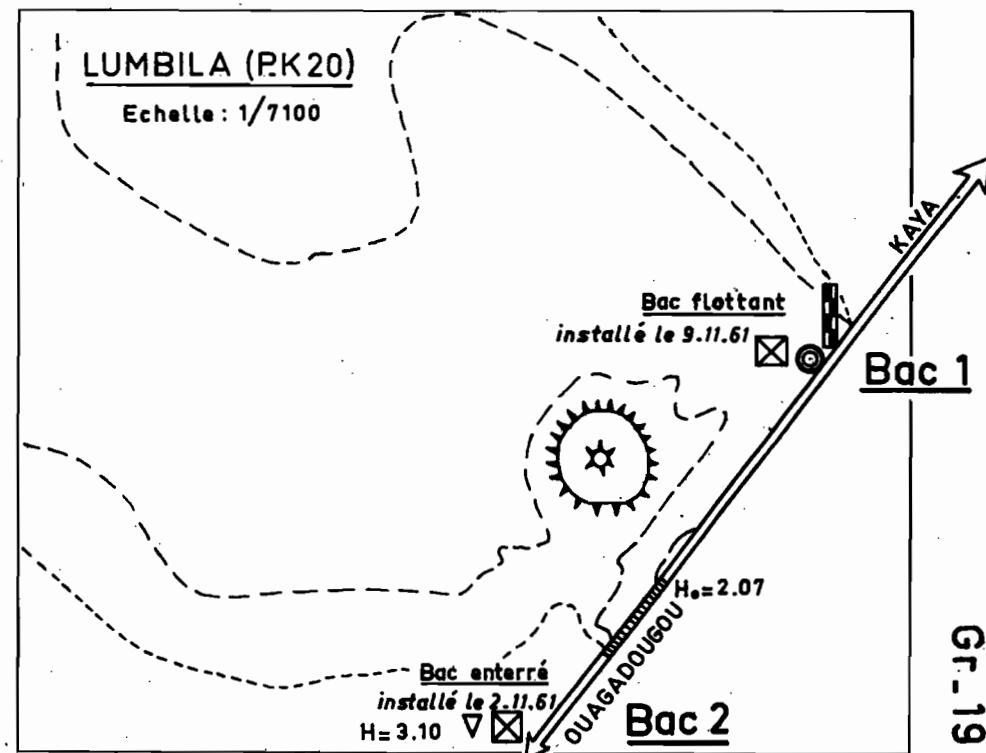
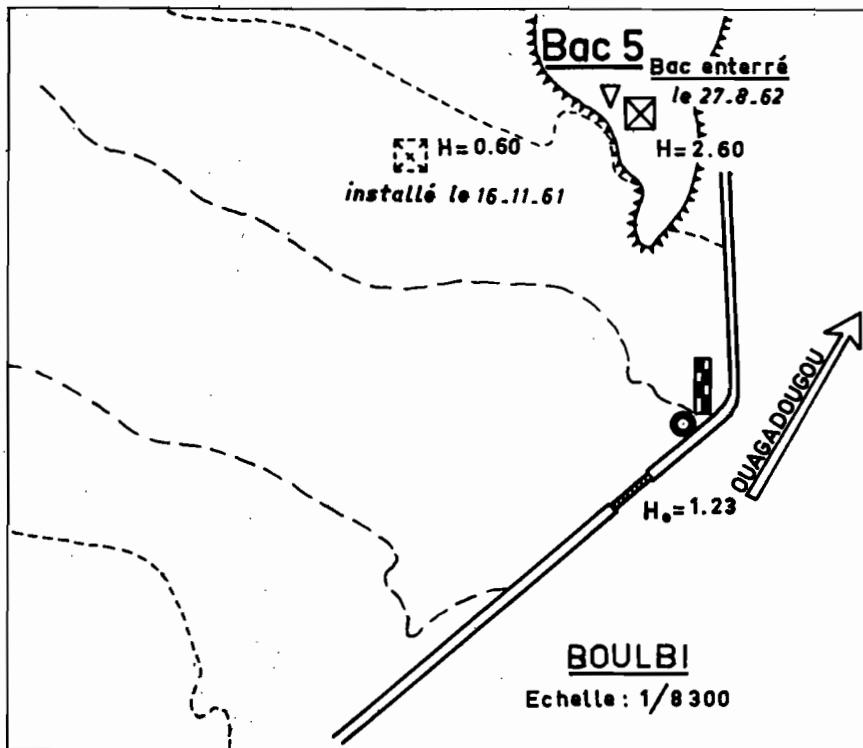
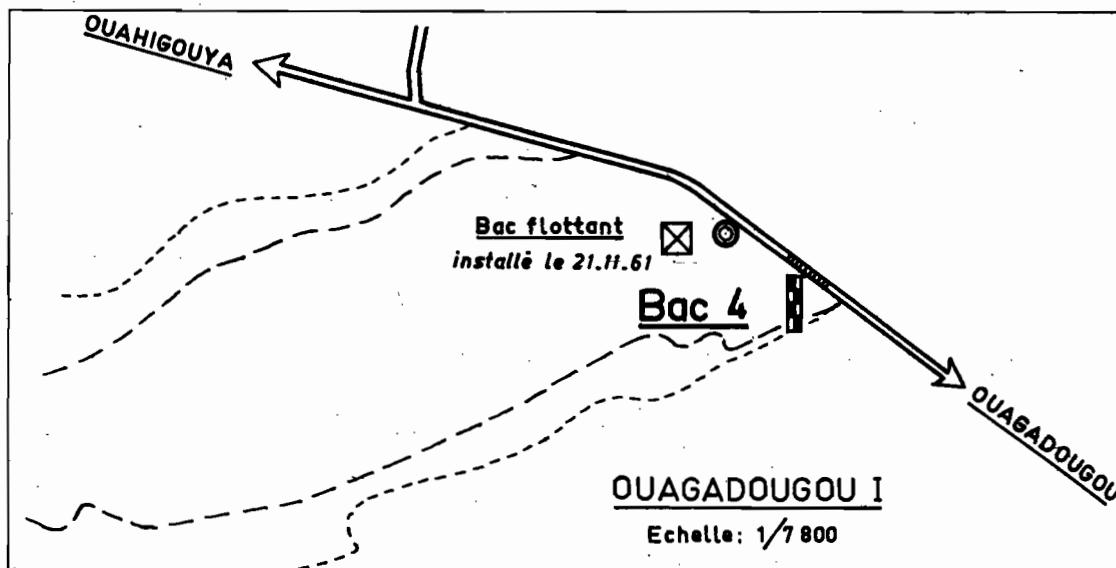
- 1 bac enterré installé au mois de Novembre 1961 dans la zone industrielle de OUAGADOUGOU, à 2,7 km du déversoir, à la cote $H = 2,96\text{ m}$: bac n° 3.
Ce bac, trop abrité mais facile à observer, permettait un contrôle qualitatif des variations des autres bacs. Il ne doit pas être considéré comme représentatif d'un microclimat sec.
- 1 bac flottant installé le 21/11/1961 sur la retenue de OUAGADOUGOU I: bac n° 4.

Bassin de BOULBI :

- 1 bac flottant installé le 16 Novembre 1961 sur la retenue de BOULBI. Ce bac prenant l'eau, il a été enterré au bord de la retenue le 27/8/1962 à la cote $H = 2,60\text{ m}$: bac n° 5.

Schémas d'implantation des bacs d'évaporation _ (d'après J.C KLEIN)

- Echelle limnimétrique
● Limnigraphie
▽ Pluviomètre
☒ Bac d'évaporation



DATE :

DESSINÉ :

VOL - 61110

2.2.5.2 - Précision des mesures :

Le fonctionnement des bacs d'évaporation n'a pas été très satisfaisant surtout en ce qui concerne les bacs flottants, insuffisamment protégés des vagues. Un bon nombre de valeurs ont été déduites par homogénéisation avec un poste voisin.

Dans le cas du bac n° 4, on ne possède pas de valeurs pour la période allant de Mai à Septembre 1962, des coups de vents violents ayant fortement agité la surface de la retenue faussant ainsi les mesures.

De même, les valeurs notées à BOULBI semblent sujettes à caution, le bac n° 5 ayant été déplacé en Août 1962.

2.2.5.3 - Variations annuelles de l'évaporation moyenne mensuelle :

On possède 19 mois de relevés, de Novembre 1961 à Mai 1963. On trouvera ci-après le tableau des valeurs de l'évaporation moyenne mensuelle en mm/j pour cette période.

On constate que les valeurs moyennes du tableau sont assez voisines pour un même mois. Le bac enterré du PK 20 au voisinage immédiat de la retenue et sous le vent de celle-ci en saison sèche, donne des résultats assez voisins de ceux du bac flottant, ce qui est normal (graphique 20).

Novembre 1962, beaucoup plus pluvieux et moins ensoleillé que Novembre 1961, a donné lieu à une évaporation très inférieure.

Dans l'ensemble, on peut dégager de ces données d'observation un ordre de grandeur valable des évaporations mensuelles (moyennes inter-annuelles).

On remarque deux maximums et deux minimums.

Le premier maximum correspond aux mois de Mars et d'Avril pour le PK 20 et pour le bassin de OUAGADOUGOU I, aux mois de Mars, Avril et Mai. Le second se produit en Décembre.

Le premier minimum correspond aux mois d'Août - Septembre, paroxysme de la saison des pluies ; le second se produit en Janvier (rafraîchissement hivernal).

Ces variations de l'évaporation moyenne mensuelle suivent celles de la température moyenne mensuelle.

EVAPORATION MOYENNE MENSUELLE en mm/jour

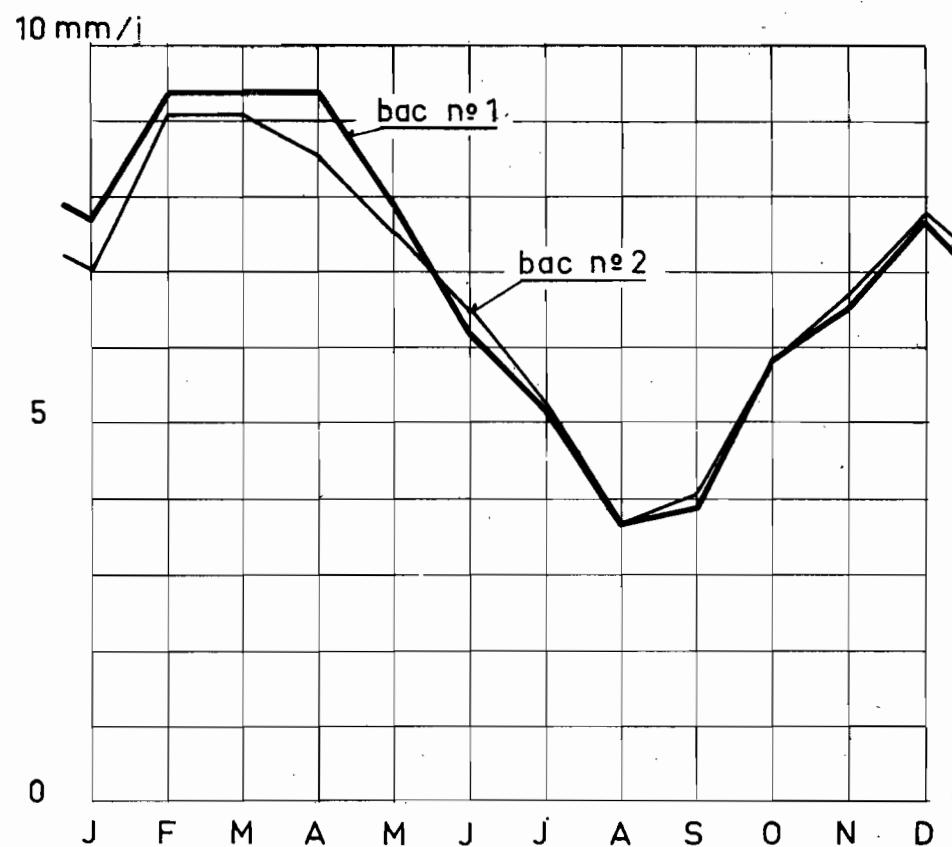
(Novembre 1961 à Mai 1963)

N ^o de bac	1961					1962					1963									
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	
1	(8,3)	8,2	(7,7)	9,4	9,4	9,4	7,9	(6,2)	5,2	(3,7)	3,8	5,9	6,5	7,7	6,7	7,2	9,6	8,3	8,1	
2	(8,3)	7,7	(7,1)	9,1	9,1	8,6	7,5	6,5	5,3	(3,7)	4,0	5,9	6,7	7,8	7,0	7,3	9,5	8,5	8,1	
3	8,1	7,8	8,4	8,5	9,3	9,1	8,1	6,4	4,9	3,7	3,8	5,3	6,3	7,0	6,8	7,4	9,6	8,7	7,7	
4	(8,2)	7,8	(7,7)	8,8	9,2	(8,9)						5,5	6,3	7,6	6,3	6,9	9,0	(8,4)	(8,0)	
5	(8,3)	8,7	8,9	10,3	11,1	10,5	9,8	8,2	5,2	(3,8)	4,8	6,1	6,4	7,6	6,7	8,1	10,5	11,1	9,5	
	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:		

() valeur plus ou moins reconstituée.

Bassin versant du P.K 20

Variations de l'évaporation moyenne mensuelle
en 1962



Les valeurs moyennes et extrêmes pour 1962 sont les suivantes, en mm/jour :

	1	2	3	5
Moyenne	6,9	6,7	6,7	7,7
Maximum	9,4	9,1	9,3	11,1
Minimum	(3,7)	(3,7)	3,7	(3,8)
	:	:	:	:

Bac n° 4 : relevés incomplets.

Les évaporations mensuelles en mm/j (moyennes interannuelles) sont rassemblées dans le tableau suivant :

	N°	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	de	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
	bac	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
	1	7,2	8,3	9,5	8,8	8,0	6,5	5,2	3,7	3,8	5,9	6,5	8,0
	2	7,0	8,2	9,3	8,5	7,8	6,5	5,2	3,7	4,0	5,9	6,5	7,8
	3	7,5	8,0	9,5	8,9	7,9	6,5	4,9	3,7	3,8	5,3	6,5	7,5
	4	7,0	8,0	9,1	8,6	8,0					5,5	6,5	7,7
	5	7,8	9,2	10,8	10,8	9,7	8,2	5,2	3,8	4,8	6,1	6,5	7,6
		:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

N° 2 et 4 : bacs flottants.

Il ressort de ce tableau que les différences entre les résultats des bacs 1, 2, 3 et 4 ne sont pas significatives. Les bacs 1 et 3 ne sont pas à proprement parler en microclimat sec. Le bac 1 est sous le vent de la retenue du PK 20 pendant toute la période où souffle l'harmattan, le bac 3 est trop abrité. Le bon accord entre les bacs 2 et 4 donne une certaine sûreté aux résultats.

Le seul bac dont le microclimat se rapproche du microclimat sec est celui de BOULBI situé au Nord-Est de la retenue et, effectivement, il donne des valeurs nettement plus élevées pendant toute la saison sèche.

2.2.5.4 - Evaporation annuelle :

On peut déduire, des résultats du tableau précédent, une première estimation de l'évaporation annuelle. Pour le bac n° 4, les calculs ont été effectués en comparant les 8 relevés communs aux bacs 3 et 4, et en calculant le déficit moyen du bac 4 par rapport au bac 3.

On aboutit aux résultats suivants :

:	Bac	:	1	:	2	:	3	:	4	:	5	:
:		:		:		:		:		:		:
:	Evaporation annuelle	:	2445	:	2445	:	2445	:	2400	:	2737	:
:	en mm	:		:		:		:		:		:

On en déduit que l'évaporation sur bac flottant ou en micro-climat humide est de 2400 mm. La valeur différente trouvée pour BOULBI ne correspond pas à des conditions climatiques différentes, mais à une implantation différente du bac (microclimat presque sec), on prendra donc la même valeur que pour les autres réservoirs.

En prenant 0,90 comme coefficient de passage de l'évaporation des bacs à l'évaporation d'une surface d'eau infinie, on obtient 2200 mm pour les réservoirs de la région.

Il est très difficile de tirer des conclusions précises de la comparaison de ces données avec celles résultant de la baisse des plans d'eau dans les réservoirs ; en effet, les éclusées, les infiltrations provenant des zones proches de la retenue, compliquent sensiblement les phénomènes responsables de cette variation de niveau. Un examen d'ensemble de ces données tendrait à indiquer que les chiffres ci-dessus constituent plutôt une limite supérieure.

III
PLUVIOMÉTRIE

CHAPITRE III

PLUVIOMETRIE

3.1 - PLUVIOMETRIE en ANNEE MOYENNE -

Le tracé des isohyètes interannuelles montre que la pluviométrie décroît régulièrement du Sud-Sud-Ouest au Nord-Nord-Est sur le territoire de la HAUTE-VOLTA, passant de plus de 1200 mm au Sud-Sud-Ouest de BANFORA à moins de 500 mm au Nord de DORI. Ces isohyètes présentent une légère concavité vers le Nord, concavité s'accroissant lorsque l'on descend vers le Sud.

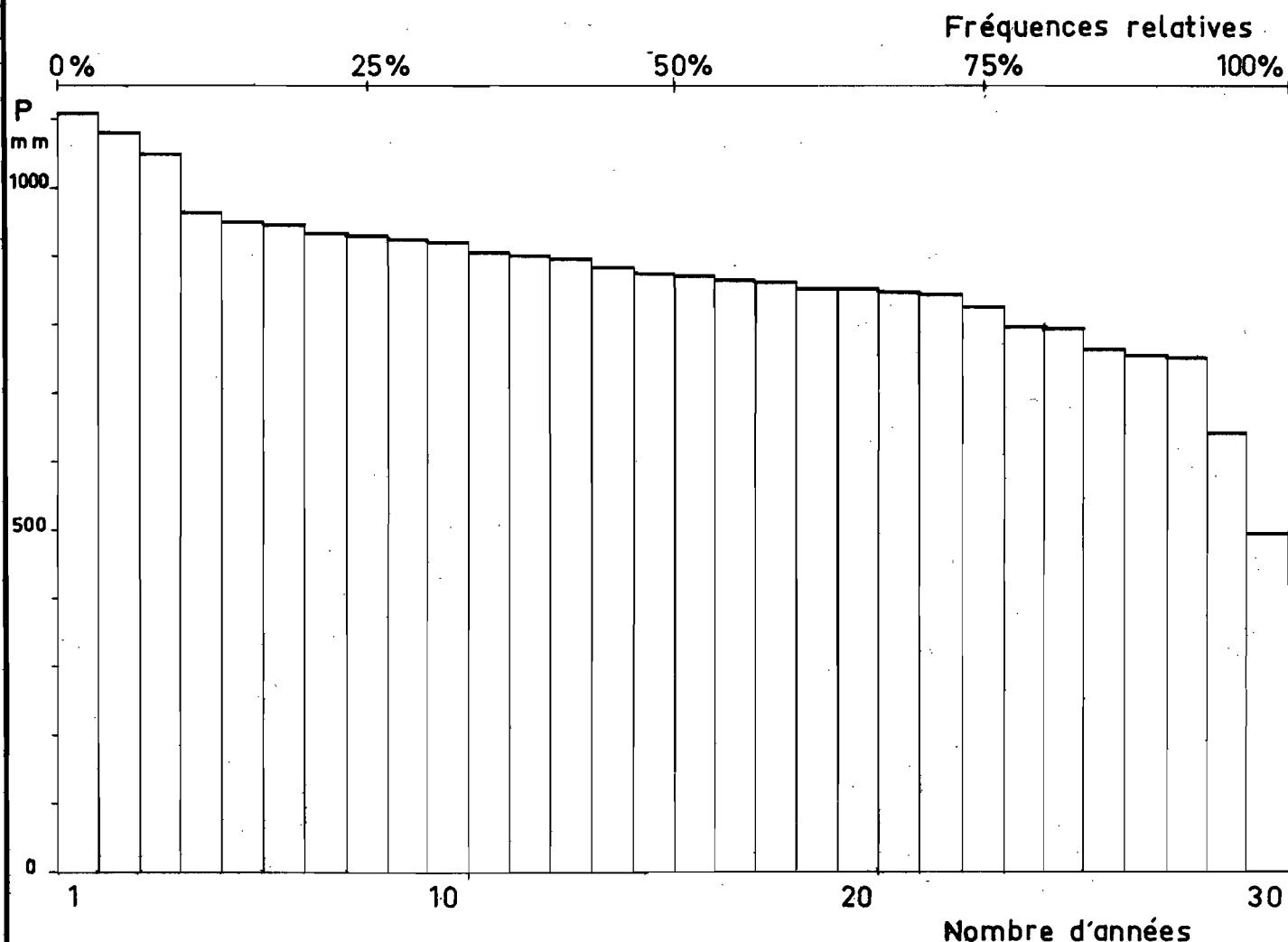
L'altitude n'a pratiquement aucune influence sur la répartition des pluies annuelles, la variation trop faible est masquée par l'effet de latitude qui joue le rôle essentiel.

3.1.1 - Modules pluviométriques annuels aux stations de référence, calculés pour diverses fréquences :

Pour avoir une idée de la répartition statistique des hauteurs pluviométriques annuelles dans la région étudiée, nous avons classé par ordre décroissant les hauteurs pluviométriques annuelles relevées aux quatre stations :

OUAGADOUGOU-Ville	:	38 années (graphique 21)
KOUDOUGOU	:	38 années
YAKO	:	20 années
KAYA	:	38 années

OUAGADOUGOU - Ville (1933-1962)

Courbe des modules pluviométriques
annuels classés

Nous obtenons, pour les paramètres statistiques de la distribution des modules, les valeurs suivantes :

	<u>Moyenne</u>	<u>Variance</u>	<u>Ecart-type</u>
OUAGADOUGOU-Ville	<u>869</u>	15 592	124,9
KOUDOUGOU	<u>883</u>	23 617	153,7
YAKO	<u>807</u>	16 470	128,3
KAYA	<u>697</u>	19 186	138,5

Chaque courbe de fréquence a été ajustée à une loi gaussique donnant les hauteurs pluviométriques pour les différentes fréquences au dépassement et au non dépassement (années sèches et années humides).

: Probabilité (1)	: 1 fois en 5 ans		: 1 fois en 10 ans		: 1 fois en 20 ans	
	: H	: S	: H	: S	: H	: S
: OUAGADOUGOU-Ville	: 975	: 760	: 1 028	: 705	: 1 066	: 670
: KOUDOUGOU	: 1 008	: 750	: 1 076	: 684	: 1 130	: 624
: YAKO	: 912	: 700	: 946	: 640	: 1 016	: 600
: KAYA	: 812	: 580	: 874	: 520	: 925	: 470
:	:	:	:	:	:	:

(1) H : année humide - S : année sèche

3.1.2 - Modules pluviométriques annuels des bassins versants de OUAGADOUGOU :

Les bassins versants de OUAGADOUGOU auront une pluviométrie intermédiaire entre celles de YAKO et de KOUDOUGOU. En considérant, d'autre part, les isohyètes interannuelles, on a pu estimer les pluviométries moyennes annuelles pour les différents bassins, ainsi que les pluviométries annuelles de fréquence plus faible.

On a estimé à ± 175 mm l'écart des pluviométries humide et sèche de fréquence décennale par rapport à l'année moyenne.

Nous prendrons, comme écart des pluviométries humide et sèche de probabilité une fois en 20 ans, par rapport à l'année moyenne, ± 220 mm.

Le tableau ci-dessous donne les résultats obtenus sur les principaux bassins :

Bassin	Année normale	P = 1 fois en 10 ans		P = 1 fois en 20 ans	
		H	S	H	S
LUMBILA	825	1000	650	1045	605
OUAGADOUGOU III	850	1025	675	1070	630
NABAGALE	875	1050	700	1095	655
SELOGEN-GOGEN	900	1075	725	1120	680

3.1.3 - Variations du module pluviométrique annuel à OUAGADOUGOU-Ville :

Nous avons calculé, pour la station de OUAGADOUGOU-Ville, la moyenne mobile centrée de onze années consécutives (graphique 23). Nous obtenons 24 valeurs :

Maximum : 910 mm en 1937

Minimum : 807 mm en 1948

L'écart est relativement peu important. Les valeurs les plus faibles correspondent à la période d'années sèches rencontrées en régions soudanienne et guinéenne entre 1940 et 1950 (Fait souligné pour N'GAOUNDERE au CAMEROUN - Rapport sur le bassin expérimental de BOUNDJOUK).

3.2 - REPARTITION des PRECIPITATIONS MENSUELLES -

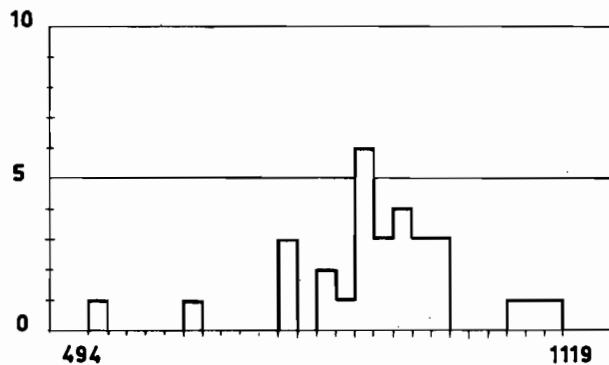
Notre étude se limite à la station de OUAGADOUGOU-Ville qui seule a été observée pendant un nombre d'années suffisant.

Nous rappelons tout d'abord certains résultats présentés dans le rapport 1961 portant sur les trois stations de OUAGADOUGOU-Ville, KAYA, KOUDOUGOU.

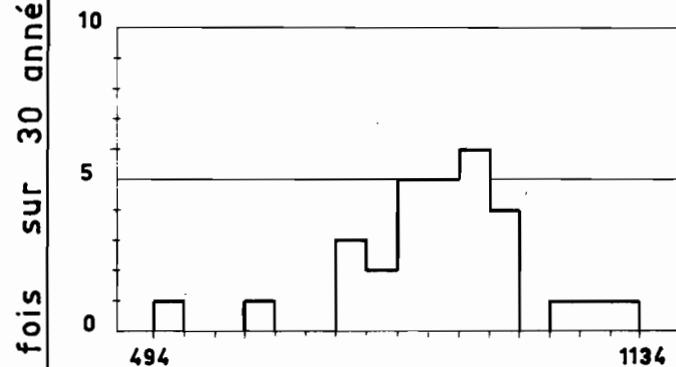
OUAGADOUGOU-VILLE (1933-1962)

Polygone des fréquences
des modules pluviométriques annuels

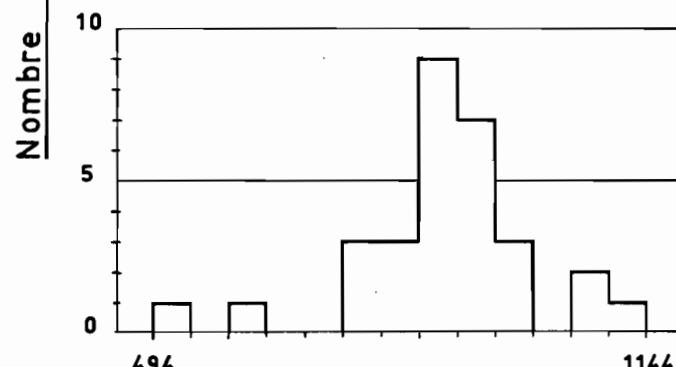
Intervalles 25mm
de 494-519 à 1094-1119



Intervalles 40mm
de 494-534 à 1094-1134



Intervalles 50mm
de 494-544 à 1094-1144



OUAGADOUGOU - Ville

Pluviométrie annuelle

P_{mm}

1100

1000

900

800

700

600

500

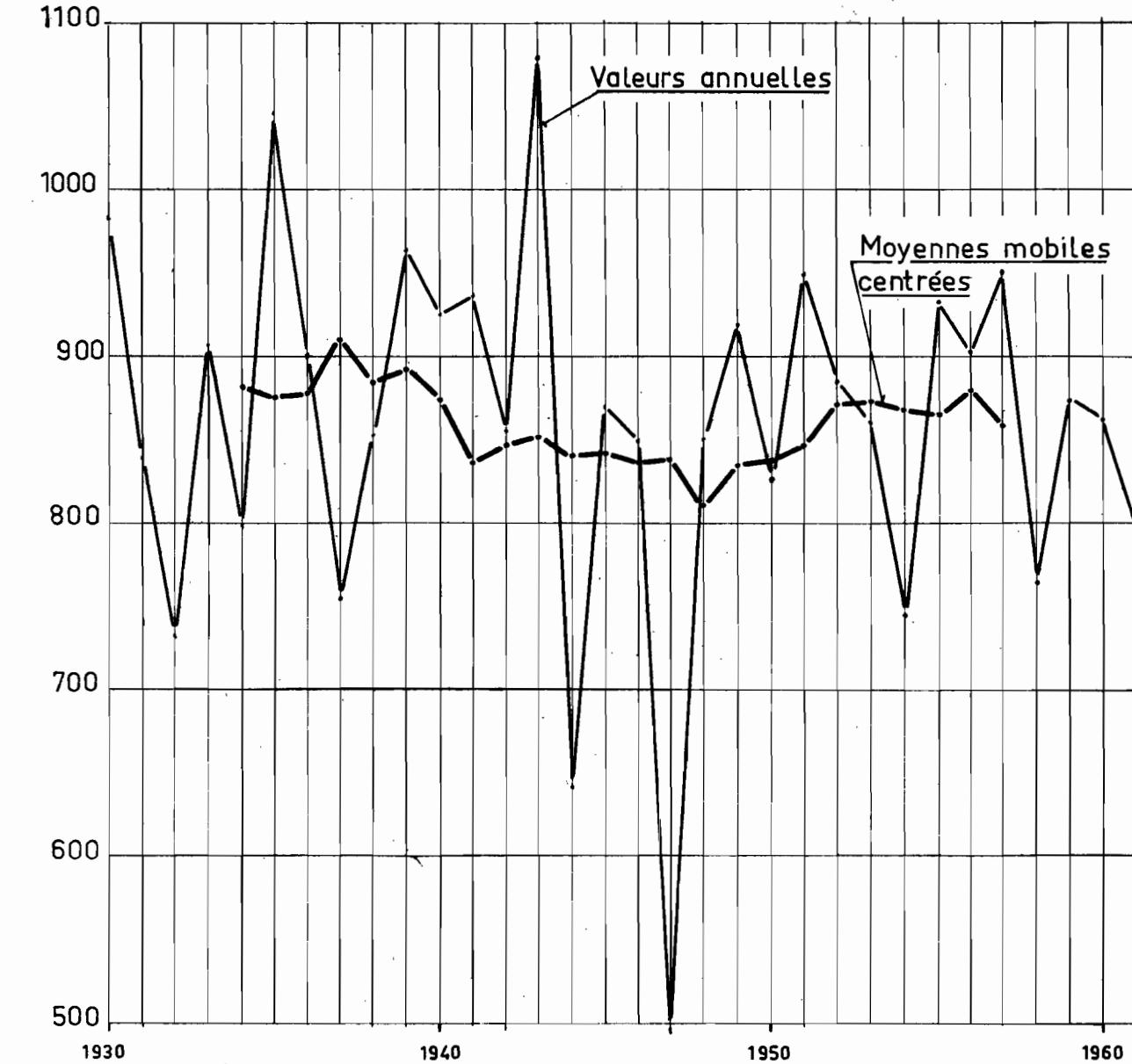
1930

1940

1950

1960

Valeurs annuelles

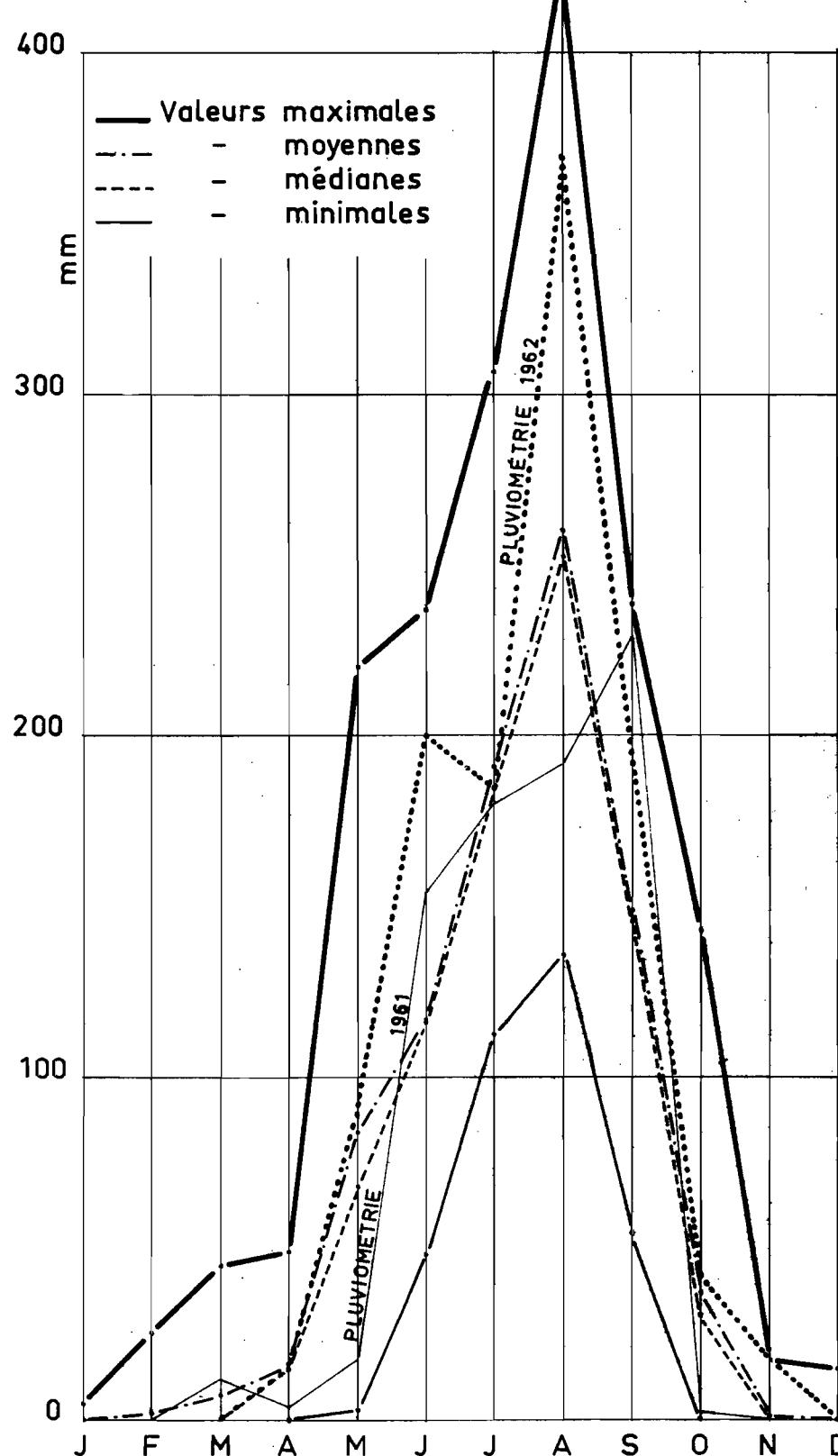
Moyennes mobiles
centrées

Stations	Minimums observés en mm											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
KOUDOUGOU	0	0	0	0	0	31	63	111	47	0	0	0
OUAGADOUGOU-Ville	0	0	0	0	8	47	112	137	57	0	0	0
KAYA	0	0	0	0	0	31	88	96	38	0	0	0
Maximums observés en mm												
KOUDOUGOU	1	9	43	75,6	226	242	350	498	402	151	28	26
OUAGADOUGOU-Ville	5	25	45	63	226	204	307	423	269	147	10	15
KAYA	7	5	20	45	128	252	260	583	257	91	30	0

Mois	Ecart-type			Coefficient de variation		
	OUAGADOUGOU	KAYA	KOUDOUGOU	OUAGADOUGOU	KAYA	KOUDOUGOU
Mai	58	36	43	0,69	0,72	0,70
Juin	39	43	50	0,33	0,44	0,44
Juillet	51	54	61	0,27	0,34	0,33
Août	71	91	82	0,27	0,38	0,31
Septembre	54	52	69	0,35	0,42	0,40

Nous avons tracé un graphique des valeurs maximales, moyennes médianes et minimales des précipitations moyennes mensuelles à OUAGADOUGOU-Ville (graphique 24).

Précipitations moyennes mensuelles
Pluviométrie mensuelle



De même, nous avons tracé le diagramme des quantiles expérimentaux des distributions des pluies mensuelles à OUAGADOUGOU-Ville. Le tableau suivant donne, pour chaque mois, la hauteur pluviométrique qui a 10, 25, 50, 75 ou 90 chances sur cent d'être atteinte ou dépassée. On notera les valeurs médianes (fréquence 50 %).

%	Mois	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
10		8	22	28	122	172	270	370	208	76	4
25			10	20	102	148	202	310	202	44	
50				15	68	110	184	250	140	30	
75				4	30	88	164	210	95	8	
90					8	60	130	192	64		

3.3 - PLUVIOMETRIE 1962 -

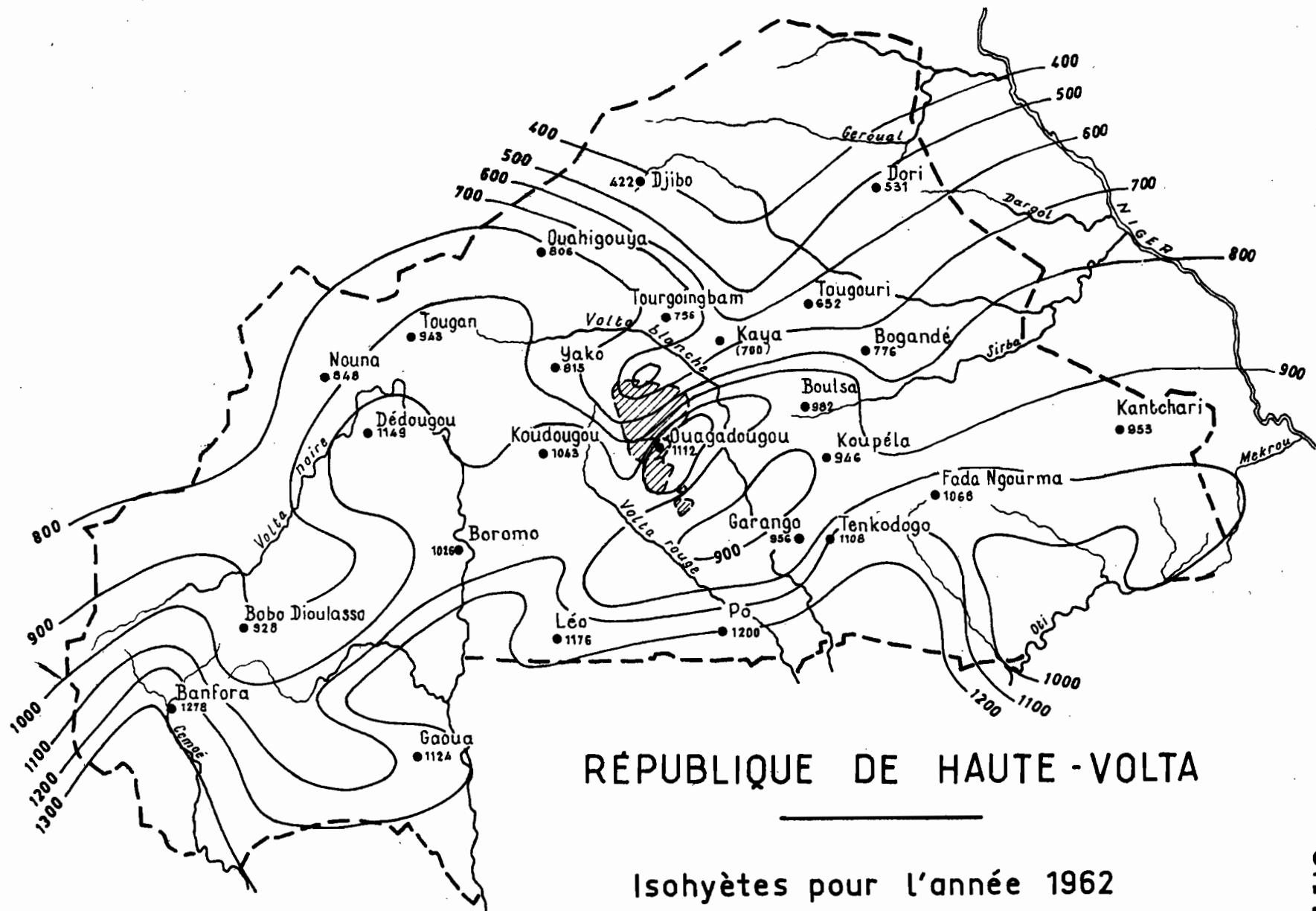
L'observation des isohyètes 1962 sur le territoire voltaïque fait apparaître un creux pluviométrique dans la région de BOBO-DIOULASSO et un autre creux dans la région de KAYA qui se répercute sur la partie Nord du bassin de LUMBILA.

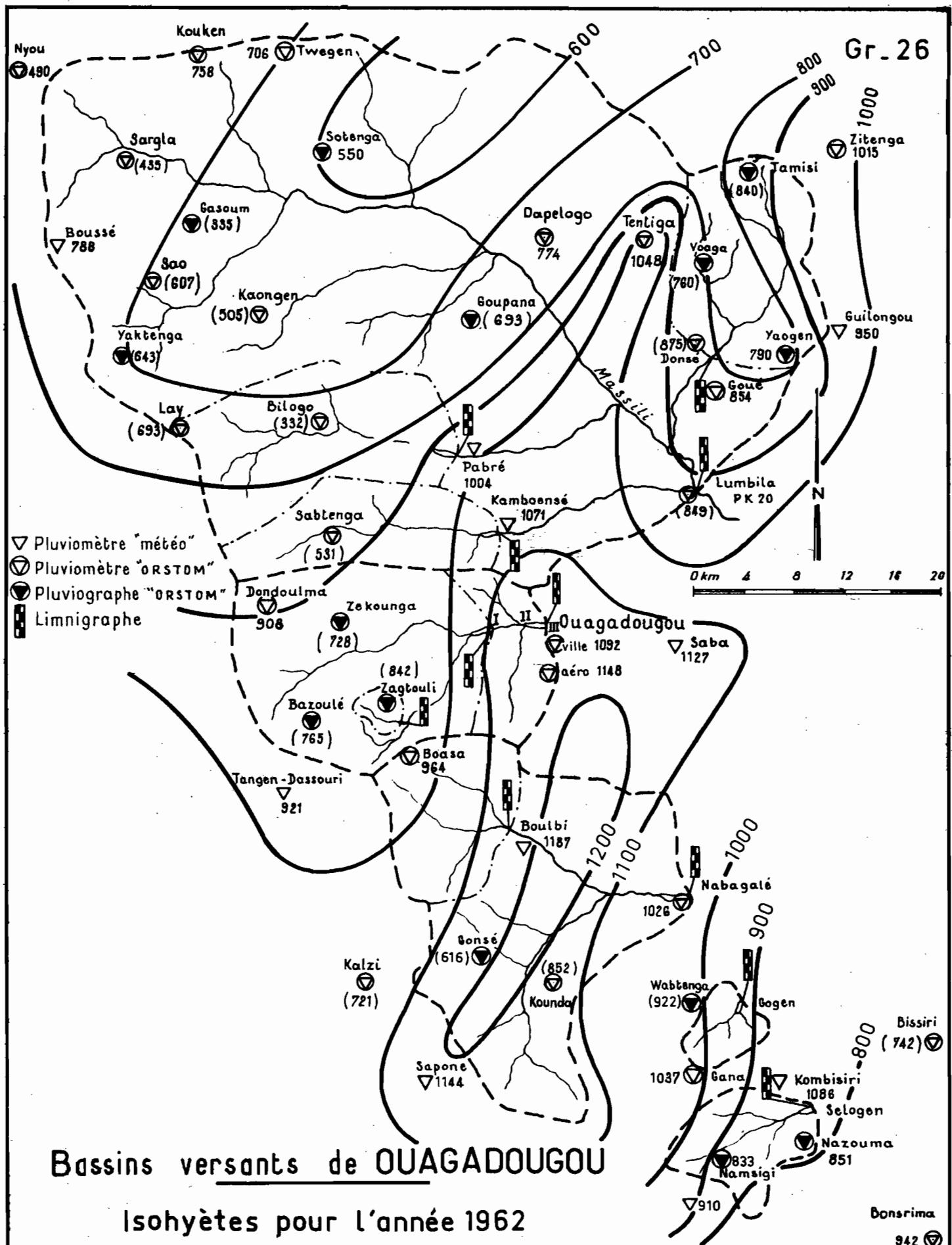
Une zone fortement excédentaire est centrée sur le bassin de NABAGALE et de OUAGADOUGOU III. Malgré ces accidents, les isohyètes ont une disposition d'ensemble se rapprochant de la normale (graphiques 25 et 26).

3.3.1 - Modules pluviométriques 1962 pour les différents bassins :

A partir des valeurs relevées aux différents postes pluviométriques, on a pu estimer les modules pluviométriques moyens pour les bassins suivants :

LUMBILA	:	800 mm
DONSE	:	875 mm
KOMBOENSE	:	900 mm
OUAGADOUGOU I	:	850 mm
OUAGADOUGOU III	:	950 mm





BOULBI	:	1050 mm
NABAGALE	:	1070 mm
GOGEN	:	900 mm
SELOGEN	:	900 mm
PABRE	:	750 mm
MORO NABA	:	1080 mm

Par rapport à la moyenne, nous notons :

- Un déficit de 25 mm pour le bassin de LUMBILA, soit 3 %.
- Un excédent de 100 mm pour le bassin de OUAGADOUGOU III, soit 8,5 %
- Un excédent de 195 mm pour le bassin de NABAGALE, soit 22 %.
- Un excédent de 50 mm pour le bassin de GOGEN, soit 5,5 %.
- Une pluviométrie égale à la moyenne pour le bassin de SELOGEN.

La pluviométrie est donc en nette augmentation sur tous les bassins, sauf sur celui de LUMBILA, ce qui correspond à la situation de la zone excédentaire qui apparaît sur la carte des isoyhètes en 1962.

La pluviométrie du bassin de NABAGALE est, pour 1962, une pluviométrie intermédiaire entre les fréquences décennale et 1 fois en 20 ans.

Par rapport à 1961, tous les bassins sont bénéficiaires :

LUMBILA	:	± 30 mm
OUAGADOUGOU III	:	± 140 mm
NABAGALE	:	± 250 mm
SELOGEN	:	± 120 mm

3.3.2 - Répartition mensuelle des précipitations en 1962 :

En 1962, les fréquences au dépassement déterminées à partir des relevés mensuels à OUAGADOUGOU-Ville portant sur 38 années, sont les suivantes pour les mois de l'hivernage.

Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
38,8 %	3,2 %	48,4 %	9,6 %	29 %	35,5 %

On note, pour les différents mois, les écarts suivants en % de la valeur médiane telle qu'elle a été donnée dans un tableau précédent :

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octobre
Déficit:	2,7						
Excédent:		34,4	90,0	0,16	48,0	37,3	37,5

Il ressort de ces tableaux que tous les mois sont excédentaires : Juin et Août très largement, puis dans l'ordre : Septembre, Octobre, Mai ; Juillet étant pratiquement normal, ce qui tend à réduire sur le ruissellement l'influence du fort excédent d'Août.

Par rapport à 1961, les écarts notés sont, en mm :

Tous ces résultats qui montrent un fort excédent de la pluviométrie mensuelle en 1962, par rapport à la moyenne et à 1961, sont condensés dans le graphique des précipitations mensuelles à OUAGADOUGOU-Ville (graphique 24).

Les relevés pluviométriques à tous les appareils figurent en annexe dans deux tableaux, l'un donnant les pluviométries mensuelles, l'autre les pluviométries journalières, par mois et par bassin.

Ces relevés nous ont permis de tracer les isohyètes pour les mois de Juin, Juillet, Août et Septembre, et d'estimer ainsi les pluviométriques moyennes mensuelles des principaux bassins (graphiques 27 à 30), en mm.

Bassin	Mois	Juin	Juillet	Août	Septembre
LUMBILA		137	114	294	182
OUAGADOUGOU III		157	152	355	184
NAHAGALE		159	143	360	218
SELOGEN		148	146	334	164

3.3.3 - Nombre de jours de pluie :

Pour l'année 1962, on observera en moyenne sur les bassins versants de OUAGADOUGOU 61 jours de pluie.

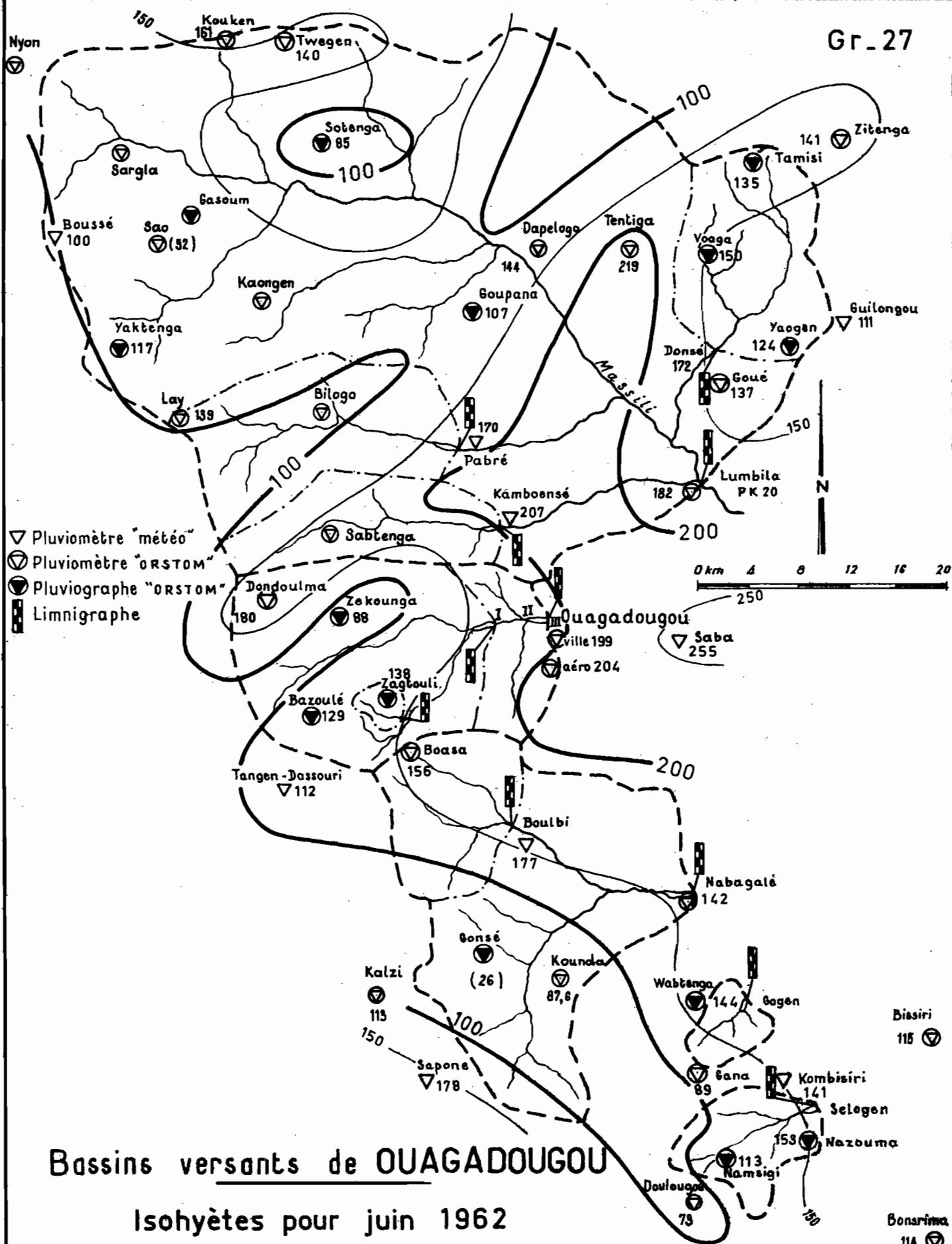
Résultat conforme à la normale qui est de 60 jours de pluie par an.

3.3.4 - Fortes averses en 1962 :

Rappelons que, pour les bassins versants de OUAGADOUGOU, on a retenu les données approximatives suivantes :

- précipitation journalière de fréquence annuelle : 62,5 mm
- précipitation journalière de fréquence décennale : 112,5 mm
- précipitation journalière de fréquence cinquantenaire : 155 mm

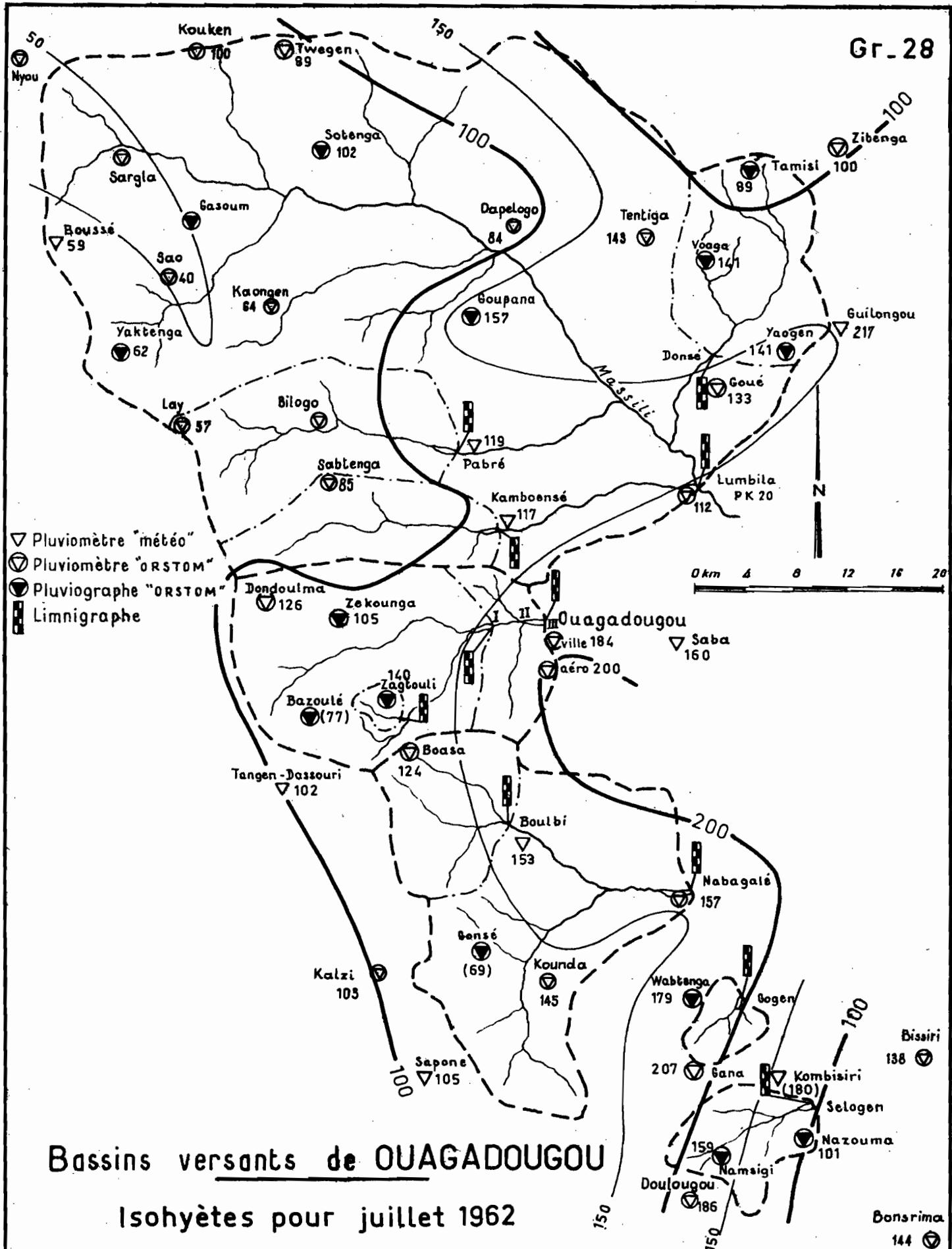
Gr. 27



Bassins versants de OUAGADOUGOU

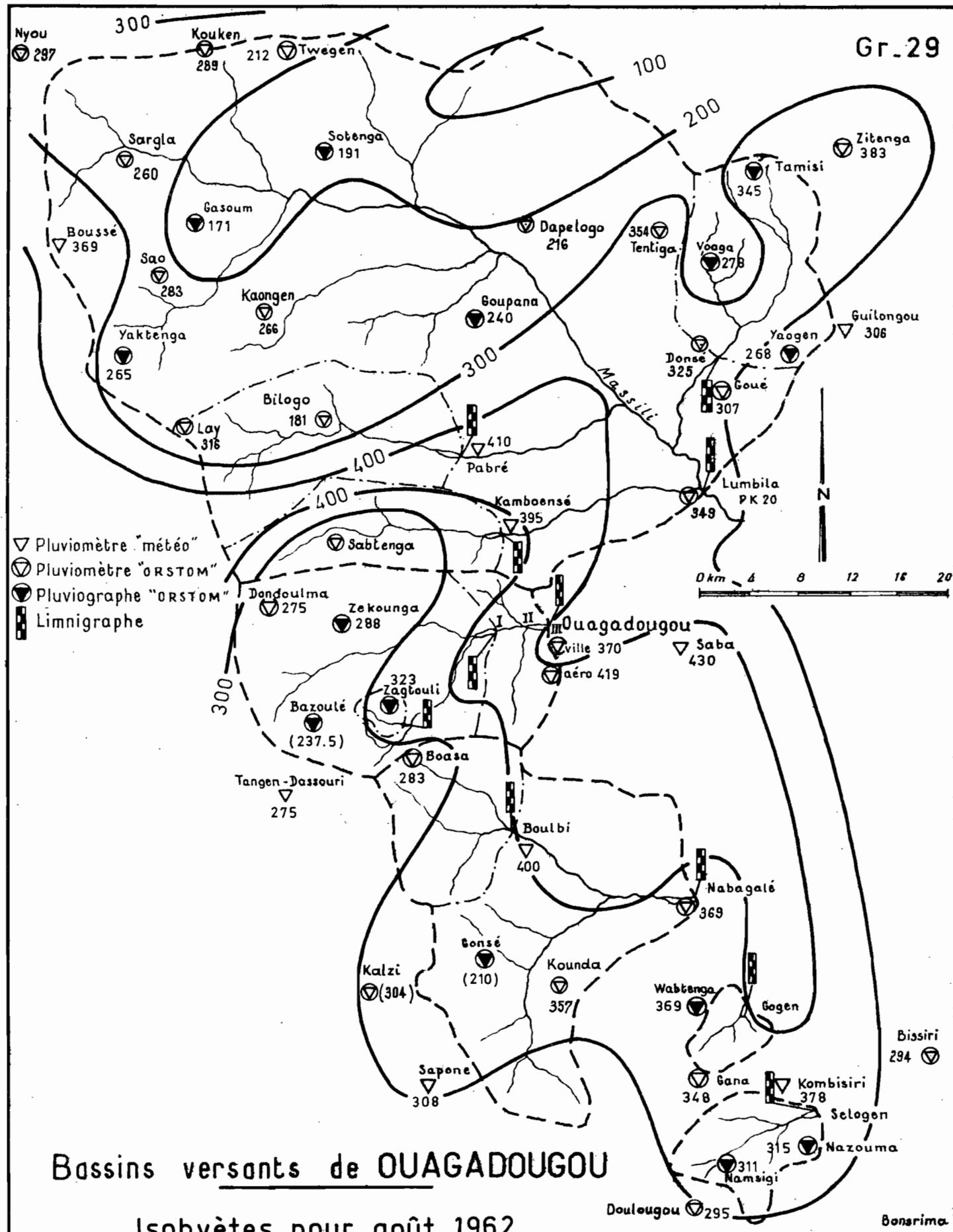
Isohyètes pour juin 1962

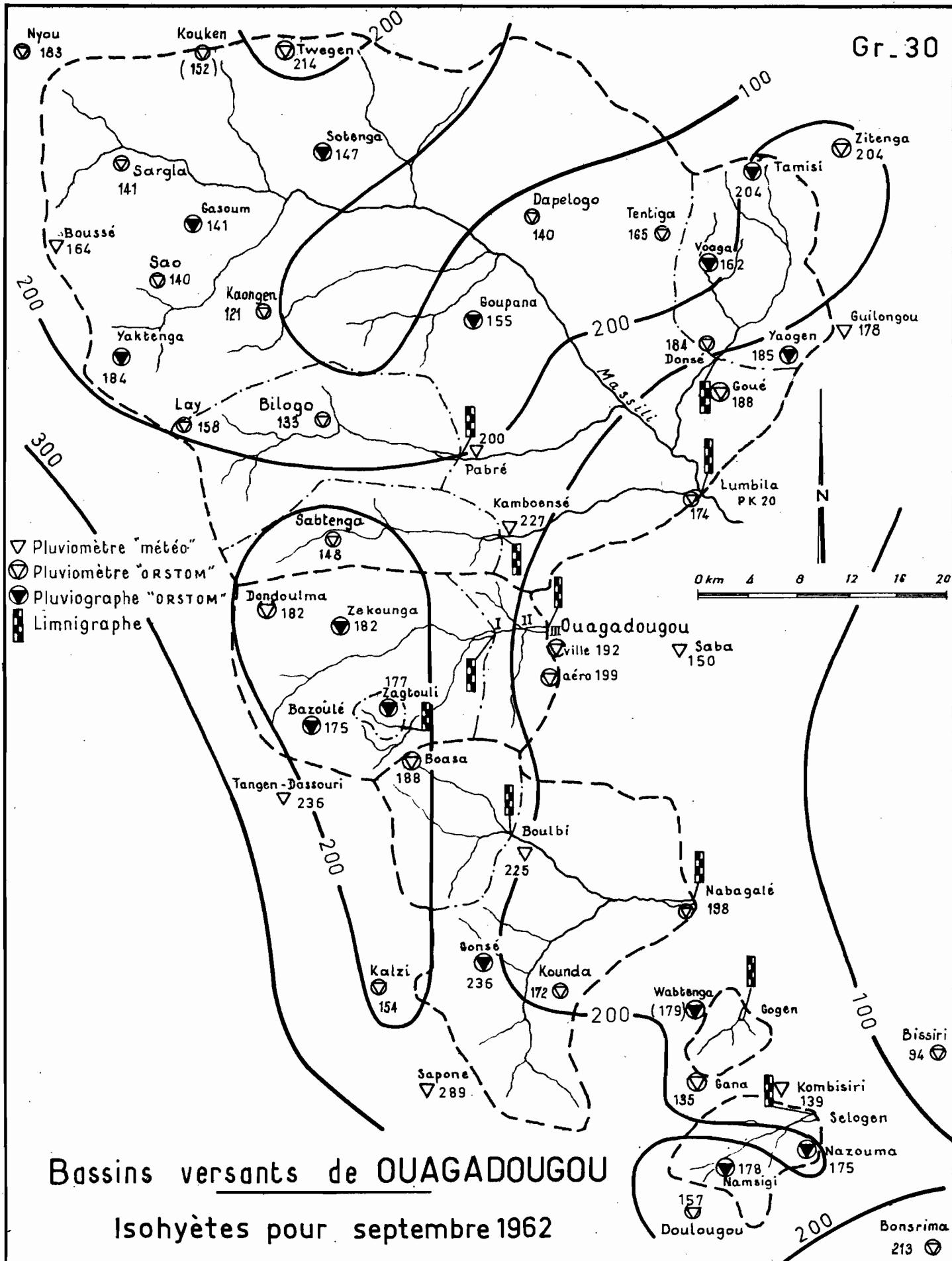
Gr. 28



Bassins versants de OUAGADOUGOU

Isohyètes pour juillet 1962





Bassins versants de OUAGADOUGOU

Isohyètes pour septembre 1962

On a enregistré, en 1962, trois averses ayant donné lieu à des précipitations maximales atteignant ou dépassant 100 mm :

Averse du 25-26 Juillet (graphique 31)

Dorsale pluviométrique orientée SSE-NNW, centrée sur OUAGADOUGOU et sur ABTENGA. L'intensité diminue rapidement sur les flancs.

Hauteur maximale atteinte 100,5 mm à ABTENGA, pluie de probabilité estimée : 1 fois en 8 ans.

Durée moyenne de la pluie : 3 h.20.

La hauteur moyenne maximale atteinte est de 75 mm pour le bassin de GOGEN : période de retour de l'ordre de 4 ans.

Le bassin de NABAGALE est à peine intéressé par cette forte averse, les autres, pratiquement pas.

Averse du 13 Août (graphique 32) :

Dorsale pluviométrique centrée sur NABAGALE décroissant lentement vers le Nord et vers le Sud.

Hauteur maximale atteinte : 112 mm à NABAGALE, hauteur de fréquence décennale.

Durée moyenne de la pluie : 4 heures.

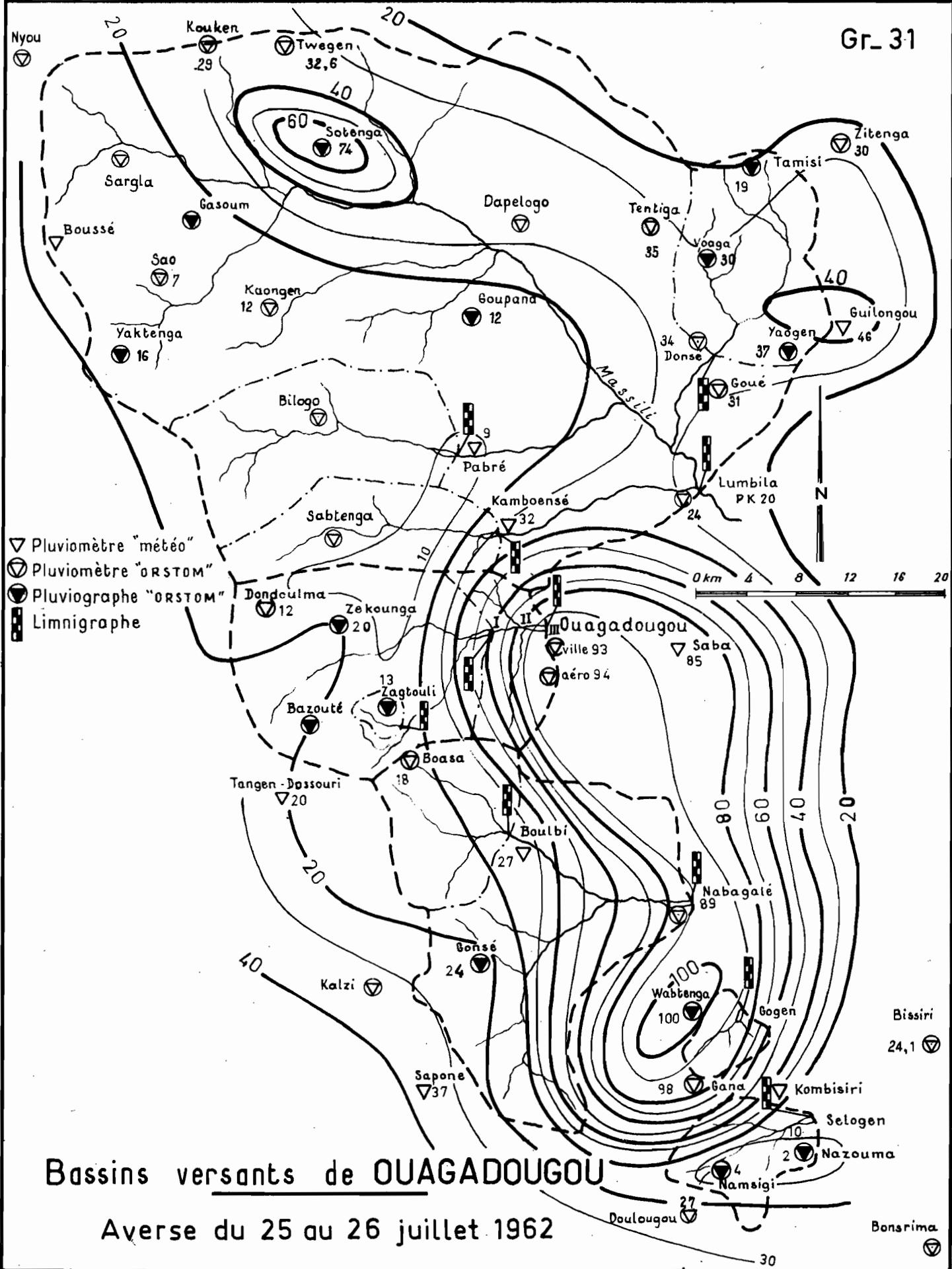
La hauteur moyenne de précipitation sur le bassin de NABAGALE est de 60 mm, ce qui est fort, sans plus. Les bassins de OUAGADOUGOU et de ZAGTOULI sont assez favorisés sans que les hauteurs moyennes atteignent des valeurs très fortes.

La hauteur moyenne maximale atteinte est de 72,5 mm sur le bassin du MORO NABA.

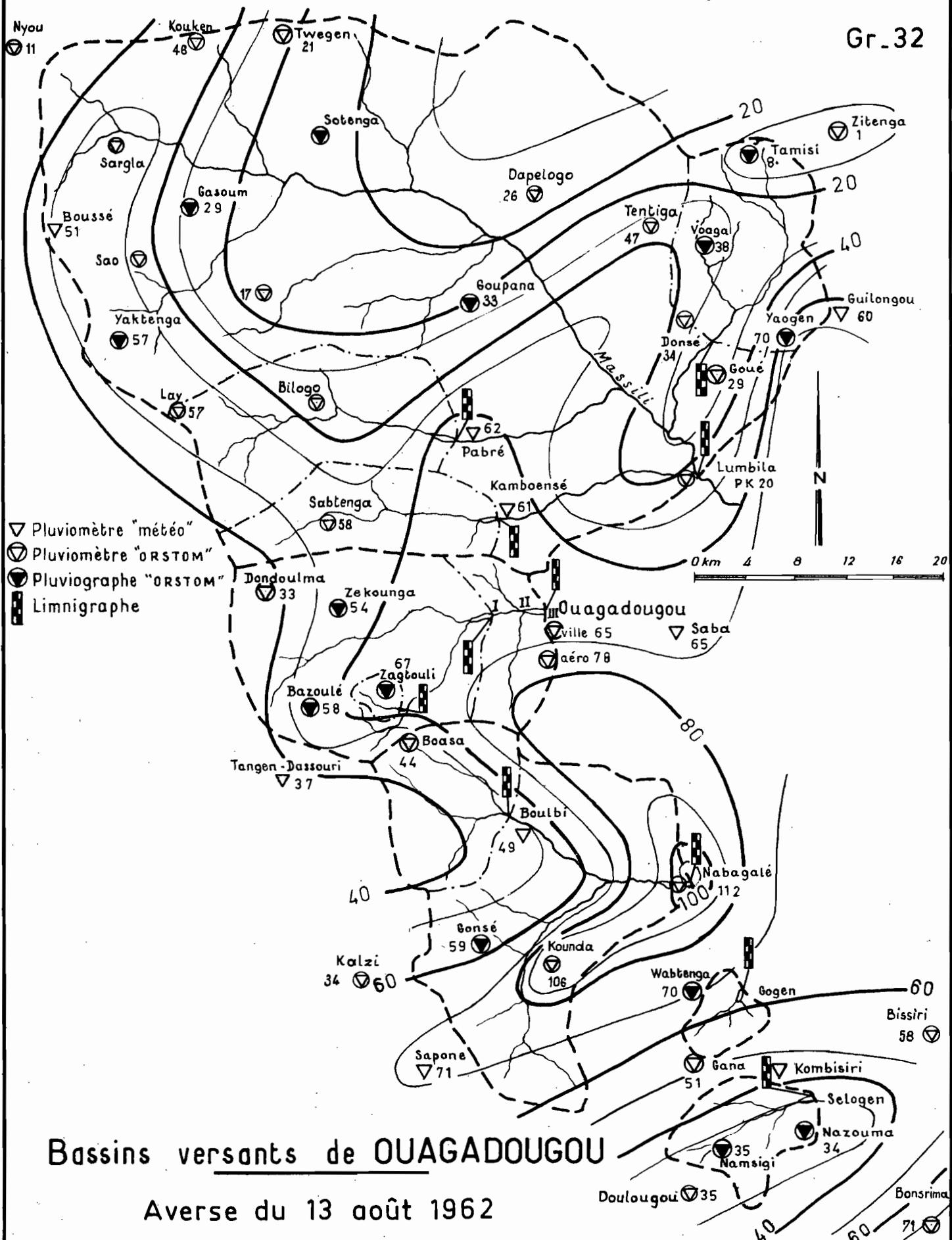
Averse du 31 Août au 1er Septembre (graphique 33)

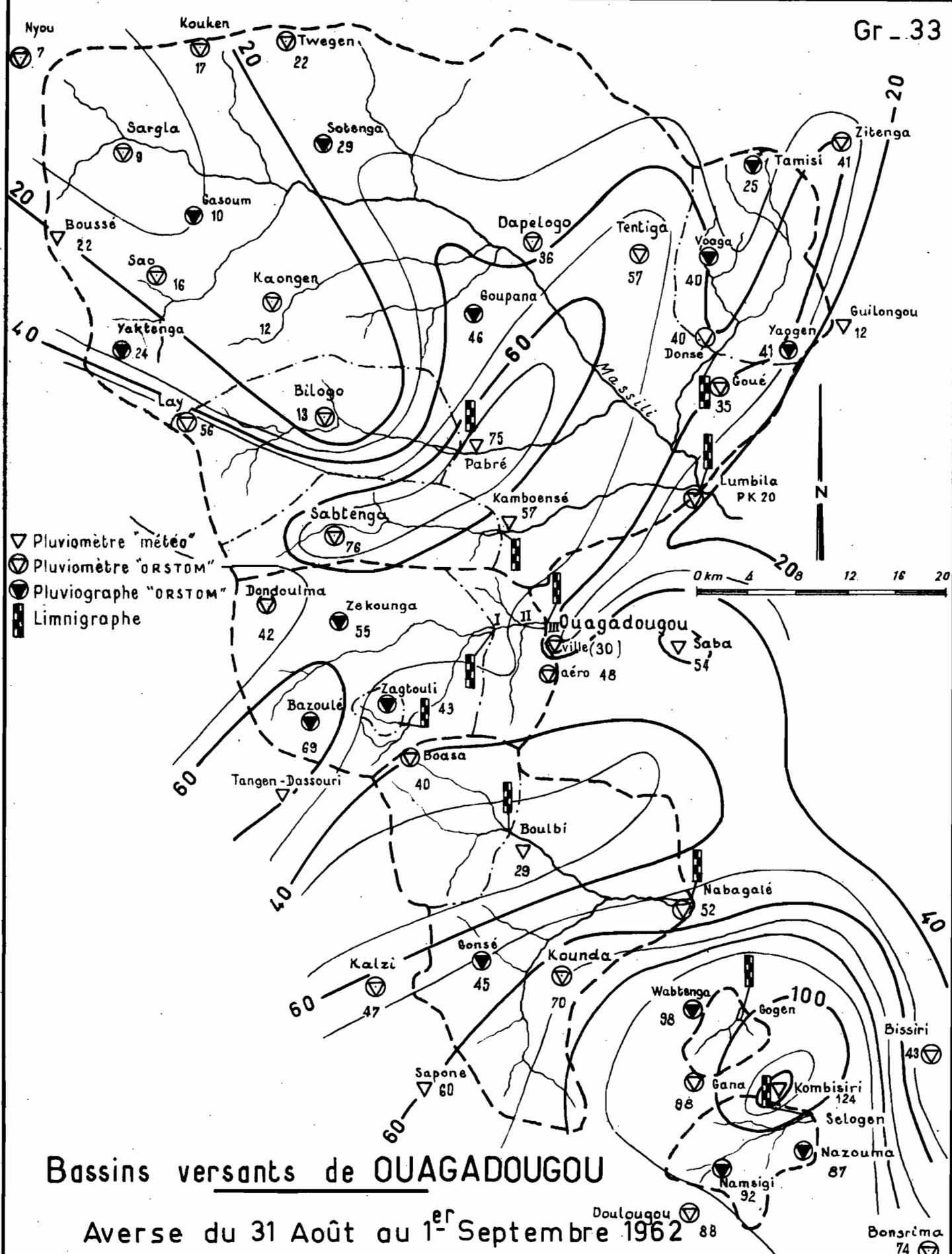
Dorsale centrée sur les bassins de SELOGEN-GOGEN, décroît lentement vers le Nord.

Hauteur maximale atteinte : 124 mm à KOMBISSIRI, pluie dépassant la pluie de fréquence décennale.



Gr. 32





Durée moyenne de la pluie : 4 heures, avec une interruption entre 20 h.00 et 0 h.00 sur le bassin de OUAGADOUGOU III.

La hauteur moyenne maximale atteinte est de 95 mm sur le bassin de SELOGEN et doit avoir une période de retour de l'ordre de 10 ans. Sur le bassin de GOGEN, la moyenne est de 90 mm.

3.4 - ETUDE des INTENSITES :

Nous avons pu, grâce aux courbes intensités-durées figurant dans le rapport de M. Y BRUNET-MORET "Les averses exceptionnelles en HAUTE-VOLTA", calculer les intensités correspondant à diverses durées et cela pour un certain nombre de fréquence.

Pour le calcul, nous admettrons un module pluviométrique annuel moyen de 850 mm pour l'ensemble de nos bassins et pour les précipitations exceptionnelles en 24 heures les valeurs suivantes :

:	Probabilité :	Annuelle	:	1 fois	:	1 fois en :				
:			:	en 2 ans	:	5 ans	:	10 ans	:	20 ans
:			:		:		:		:	
:	P en mm :	625	:	75,0	:	93,7	:	112,5	:	128,7
:			:		:		:		:	

Ces valeurs ont été déterminées à partir de la précipitation exceptionnelle de fréquence annuelle et du module pluviométrique annuel moyen, grâce à des courbes donnant le rapport des hauteurs journalières de diverses probabilités à la hauteur de probabilité annuelle en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle.

Ces valeurs nous permettent, en nous reportant aux couches correspondantes pour les diverses probabilités, de trouver les intensités en 10 minutes, 30 minutes, 1 heure, 2 heures, 3 heures, 5 heures, 10 heures et 24 heures.

Les intensités en mm/h sont consignées dans le tableau suivant :

Durée Probabilité	10 mn	30 mn	1 h	2 h	3 h	5 h	10 h	24 h
Annuelle	104	60	41	24	16	12	6,4	2,1
1 fois en 2 ans	115	65	46	26	17	14	7,4	3,5
1 fois en 5 ans	130	77	55	33	24	16	9,0	4,5
1 fois en 10 ans	139	85	59	39	27	18	9,4	4,7
1 fois en 20 ans	150	90	65	43	31	20	12	5,7
	:	:	:	:	:	:	:	:

Pour l'averse du 31 Août enregistrée à NAMSSIGI (bassin versant de SELOGEN), nous avons tracé la courbe intensité-durée (graphique 34). Cette averse a une intensité en 2 heures égale à l'intensité annuelle. L'averse du 2 Septembre 1961 enregistrée à ZEKOUNGA avait une intensité en 10 minutes de probabilité 1 fois en 5 ans.

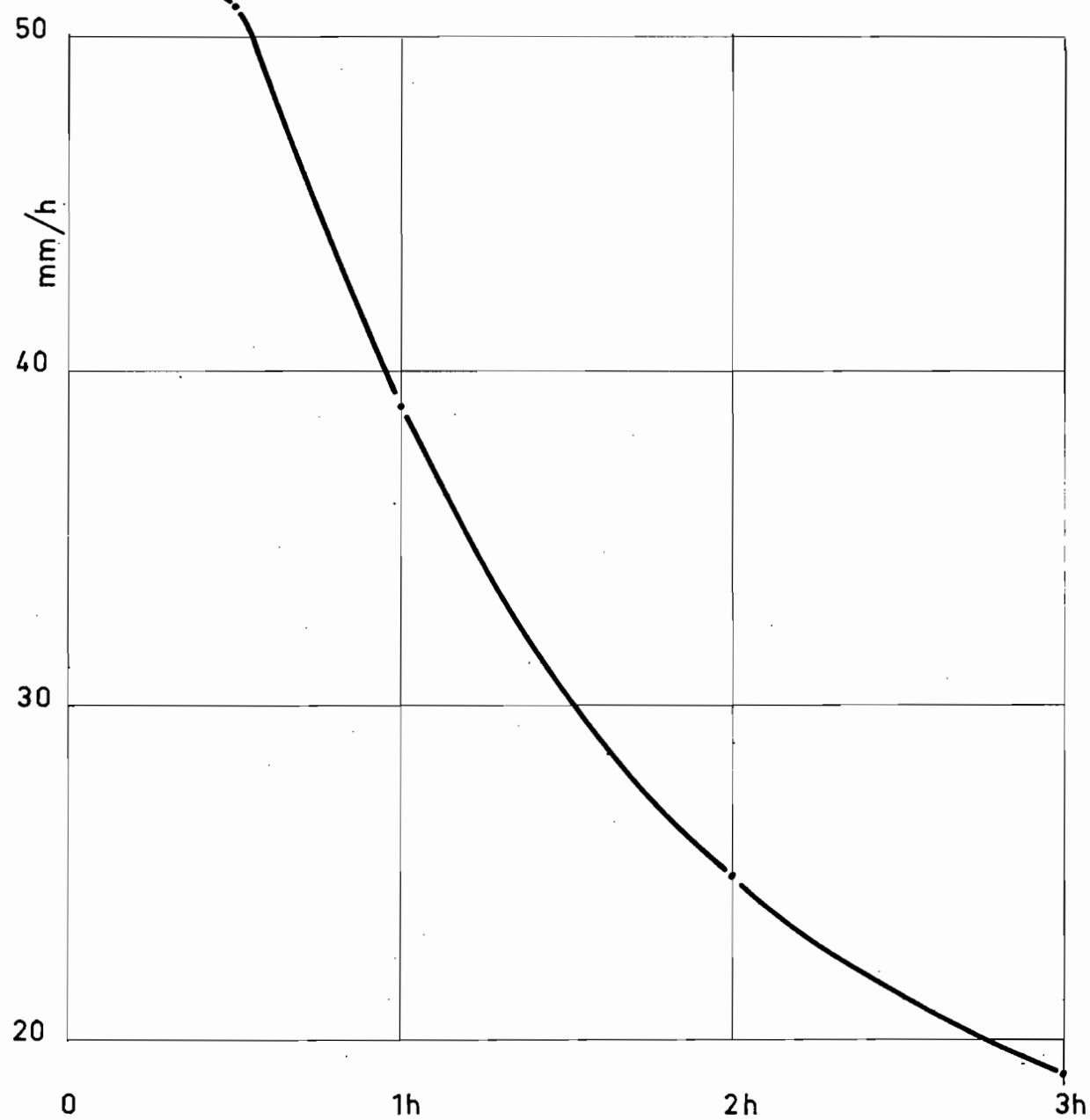
3.5 - CONCLUSIONS GENERALES sur la PLUVIOMETRIE de 1962 -

La pluviométrie annuelle est nettement excédentaire par rapport à la moyenne et par rapport à l'année 1961.

Mais cet excédent correspond à un grand nombre d'averses de moyenne intensité et surtout à des hauteurs de précipitations élevées en Mai et Juin, époque où elles ont peu de chance de produire de fortes crues.

Trois averses ont donné, en divers points de la région, des hauteurs ponctuelles d'assez faible fréquence, mais le tracé des isohyètes est tel que seuls les bassins de GOGEN et de SELOGEN ont présenté des hauteurs moyennes intéressantes. De façon générale, il n'y a pas eu un ensemble tel que celui des deux averses du 2 et du 11 Septembre 1961.

Bassin versant de SÉLOGEN
Averse du 31 août 1962 à NAMSSIGI
Courbe intensité-durée



IV
ÉTUDE HYDROLOGIQUE

CHAPITRE IV

ETUDE HYDROLOGIQUE

Cette étude a été faite bassin par bassin pour nous permettre de prendre en considération le plus grand nombre possible de crues et de dégager, pour chaque bassin, les principales caractéristiques hydrologiques.

Dans les cas où nous disposions d'un nombre suffisant d'enregistrements de crues et où le nombre de postes pluviométriques permettait une bonne estimation de la pluie moyenne, nous avons tenté d'établir des corrélations entre la pluie moyenne, le coefficient de ruissellement et l'indice d'humidité. Nous avons ensuite cherché à établir un hydrogramme type pour l'estimation de la crue décennale.

Les caractéristiques des crues de chaque bassin sont rassemblées dans des tableaux à quinze colonnes avec les notations suivantes :

- 1 - Numéro de l'averse et de la crue
- 2 - Date
- 3 - Précipitation maximale ponctuelle P_M en mm.
- 4 - Précipitation moyenne P en mm
- 5 - Coefficient de réduction $K = \frac{P}{P_M}$ en %
- 6 - Volume ruisselé V_R en m^3
- 7 - Lame d'eau ruisselée H_R en mm
- 8 - Coefficient de ruissellement K_R en %

$$9 - \text{Indice d'humidité } I_H = \sum \frac{P_i}{t_i}$$

- 10 - Temps de montée de la crue t_m en heures
- 11 - Temps de réponse de la crue t_p en heures
- 12 - Temps de base ou durée totale de ruissellement T_b en jours
- 13 - Débit maximal de la crue Q_M en m^3/s
- 14 - Débit maximal rapporté à une lame d'eau ruisselée de 1 mm (valeur en principe constante pour les crues unitaires d'un même bassin Q_M/H_R)
- 15 - Débit spécifique de pointe q_{\max} en $1/\text{s} \cdot \text{km}^2$.

On a établi par ailleurs, pour chaque bassin, la courbe des débits journaliers entrant dans la retenue, et calculé pour 1962 les apports déversés et le volume total des apports naturels.

BASSIN VERSANT du MORO NABA

(S = 18 km²)

4.1.1. Etalonnage du déversoir :

Aucun changement par rapport à la courbe tracée pour 1961, cette station pouvant être considérée comme correctement étalonnée.

4.1.2. Débits journaliers - Débits moyens mensuels :

A l'aide de la courbe d'étalonnage, nous avons calculé les débits journaliers entrant dans la retenue.

Ces débits sont rassemblés dans le tableau suivant :

	Jours	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octobre	
:	1	0	0	0,35	1,73	6,81	0	:
:	2	0	0	0,15	0,36	1,13	0	:
:	3	0	0	0,07	3,37	1,68	0	:
:	4	0	0	0,05	0,11	3,52	0,18	:
:	5	0	0,25	0,02	0,06	0,65	0,28	:
:	6	0	0	0,02	0,05	0,22	0	:
:	7	0	0	0,03	0,03	0,23	0	:
:	8	0	0	0,03	0,23	0,19	0	:
:	9	0	0	0,02	0,33	0,19	0	:
:	10	0	0	0,02	0,03	0,16	0	:
:	11	0	0	0,02	0,20	0,26	0	:
:	12	0	0	0,02	0,13	0,24	0	:
:	13	0	3,80	1,64	4,95	0,11	0	:
:	14	0	0,10	0,09	0,29	0,07	0	:
:	15	0	0,07	0,02	0,21	0,06	0	:
:	16	0	0,04	0,02	0,06	0,02	0	:
:	17	0	0,01	0,02	0,28	1,37	0	:
:	18	0	0	0	0	0,43	0	:
:	19	0	0,16	0	0,11	0,28	0	:
:	20	0	0,15	0	1,02	0,05	0	:
:	21	0	2,78	0	0,37	0,49	0	:
:	22	0	0,99	0,08	0,13	0,12	0	:
:	23	0,23	0	0,01	0,07	0,02	0	:
:	24	0	0	0	2,60	0	0	:
:	25	0	0	0	0,76	0,43	0	:
:	26	0	0	6,48	5,20	0,04	0	:
:	27	0	0	0,27	2,70	0	0	:
:	28	0	0	0,06	0,48	0	0	:
:	29	0	0,63	0,26	0,47	0	0	:
:	30	1,15	0,07	0,04	0,38	0	0	:
:	31	0,04	0	0,06	0,82	0	0	:

Ces débits journaliers nous donnent les débits moyens mensuels exprimés en m^3/s à la première ligne du tableau ci-dessous, la deuxième ligne de ce tableau donnant les volumes mensuels entrant dans la retenue :

	M	J	J	A	S	O
m^3/s	0,04	0,30	0,31	0,88	0,62	0,01
Volume en $10^3 m^3$	107	777	830	2357	1607	27

4.1.3. Description des averses et des crues :

Nous avons retenu pour notre étude 14 averses dont les hauteurs moyennes varient de 72,5 mm à 11,4 mm.

Nous donnons, pour chaque averse et pour la crue correspondante, une description succincte, avec les abréviations suivantes :

- Intensité moyenne maximale en mm/h : I_m
- Pluie maximale ponctuelle en mm : P_M
- Pluie moyenne en mm : P
- Temps de montée de la crue en heures : t_m
- Débit de pointe en m^3/s : Q_m

13 Juin - Averse n° 1 :

Homogène - Durée de la pluie utile 30 minutes

$$\begin{array}{lll} P_M = 56,0 \text{ mm} & P = 49,7 \text{ mm} & I_m = 128 \text{ mm/h} \\ Q_M = 22,0 \text{ m}^3/\text{s} & & t_m = 2 \text{ heures} \end{array}$$

26 Juin - Averse n° 2 :

Homogène - Durée de la pluie utile 25 minutes

$$\begin{array}{lll} P_M = 52,0 \text{ mm} & P = 41,4 \text{ mm} & I_m = 122 \text{ mm/h} \\ Q_M = 19,0 \text{ m}^3/\text{s} & & t_m = 2 \text{ heures} \end{array}$$

29 Juin - Averse n° 3 :

Très homogène - Durée de la pluie utile 30 minutes

$$\begin{array}{lll} P_M = 33,3 \text{ mm} & P = 28,0 \text{ mm} & I_m = 63 \text{ mm/h} \\ Q_M = 1,9 \text{ m}^3/\text{s} & & t_m = 4 \text{ heures} \end{array}$$

13 Juillet - Averse n° 4 :

Homogène - Durée de la pluie utile 35 minutes

$$\begin{array}{lll} P_M = 47,5 \text{ mm} & P = 36,0 \text{ mm} & I_m = 75 \text{ mm/h} \\ Q_M = 5,7 \text{ m}^3/\text{s} & & t_m = 5 \text{ heures} \end{array}$$

26 Juillet - Averse n° 5 :

Peu homogène - Fréquence : 1 fois en 5 ans - Durée de la pluie utile 85 minutes.

$$\begin{array}{lll} P_M = 97,3 \text{ mm} & P = 65,4 \text{ mm} & I_m = 52 \text{ mm/h} \\ Q_M = 22,2 \text{ m}^3/\text{s} & & t_m = 3 \text{ heures} \end{array}$$

1er Août - Averse n° 6 :

Trop hétérogène - Durée de la pluie utile 120 minutes

$$P_M = 30,0 \text{ mm} \quad P = 12,1 \text{ mm}$$

Crue incomplète : le débit de pointe est inférieur à $6,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

13 Août - Averse n° 7 :

Très homogène - Fréquence : 1 fois en 3 ans - Durée de la pluie utile 50 minutes.

$$\begin{array}{lll} P_M = 80,0 \text{ mm} & P = 72,5 \text{ mm} & I_m = 90 \text{ mm/h} \\ Q_M = 21,2 \text{ m}^3/\text{s} & & t_m = 4 \text{ heures} \end{array}$$

20 Août - Averse n° 8 :

Homogène - Durée de la pluie utile 40 minutes

$$\begin{array}{lll} P_M = 35,5 \text{ mm} & P = 25,8 \text{ mm} & I_m = 108 \text{ mm/h} \\ Q_M = 2,2 \text{ m}^3/\text{s} & & t_m = 6 \text{ heures} \end{array}$$

24 Août - Averse n° 9 :

Très homogène - Durée de la pluie utile 100 minutes

$$\begin{array}{lll} P_M = 48,0 \text{ mm} & P = 42,6 \text{ mm} & I_m = 27 \text{ mm/h} \\ Q_M = 6,6 \text{ m}^3/\text{s} & & t_m = 3 \text{ h.30} \end{array}$$

26 Août - Averse n° 10 :

Homogène - Durée de la pluie utile 50 minutes

$$\begin{array}{lll} P_M = 61,5 \text{ mm} & P = 50,5 \text{ mm} & I_m = 91 \text{ mm/h} \\ Q_M = 24,3 \text{ m}^3/\text{s} & & t_m = 2 \text{ h.30} \end{array}$$

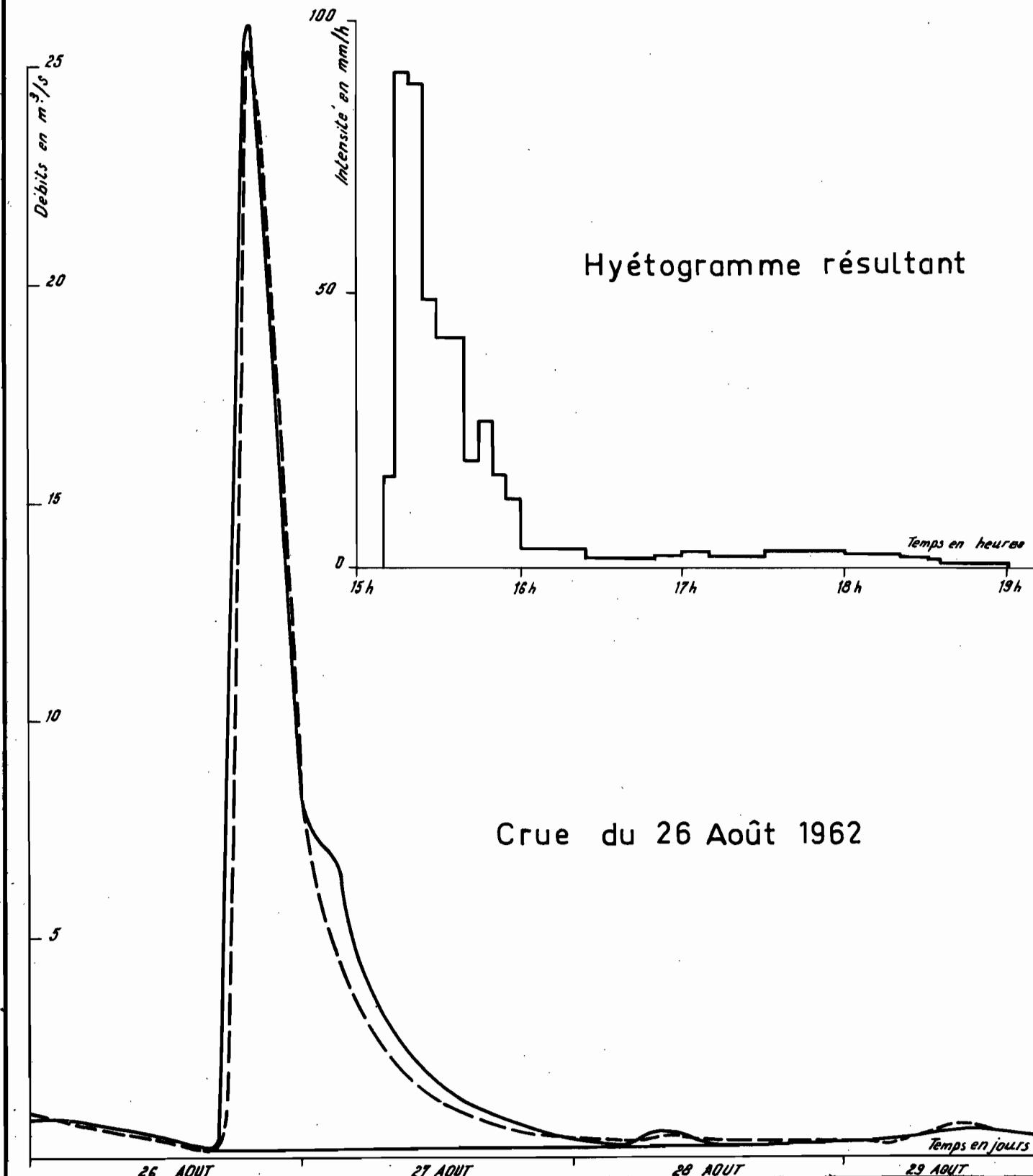
Maximum annuel par suite des conditions de saturation (graph. 35).

31 Août - Averse n° 11 :

Très homogène - Averse double - Durée de la pluie utile 50 mn.

$$\begin{array}{lll} P_M = 43,0 \text{ mm} & P = 40,4 \text{ mm} & I_m = 95 \text{ mm/h} \\ Q_M = 17,3 \text{ m}^3/\text{s} & & t_m = 6 \text{ heures} \end{array}$$

BASSIN VERSANT DU MORO NABA



1er Septembre - Averse n° 12 :

Très homogène.

$$P_M = 11,5 \text{ mm} \quad P = 11,4 \text{ mm} \quad t_m = 4 \text{ heures}$$
$$Q_M = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

4 Septembre - Averse n° 13 :

Hétérogène - Averse double. Durée de la pluie utile 35 minutes

$$P_M = 44,0 \text{ mm} \quad P = 24,2 \text{ mm} \quad I_m = 120 \text{ mm/h}$$
$$Q_M = 8,0 \text{ m}^3/\text{s} \quad t_m = 6 \text{ heures}$$

17 Septembre - Averse n° 14 :

Hétérogène - Durée de la pluie utile 45 minutes :

$$P_M = 91,9 \text{ mm} \quad P = 43,6 \text{ mm} \quad I_m = 63 \text{ mm/h}$$
$$Q_M = 7,3 \text{ m}^3/\text{s} \quad t_m = 5 \text{ heures}$$

On peut considérer ces averses comme unitaires, les averses n° 5 et n° 9 étant à la limite. Elles présentent pratiquement toutes une bonne homogénéité.

4.1.4 - Caractéristiques des crues :

Le tableau ci-après donne les caractéristiques des crues étudiées en 1962 et en 1961.

A partir des données de ce tableau, nous avons fait une étude du coefficient de ruissellement, puis nous avons cherché un hydrogramme-type de ruissellement pour l'estimation de la crue décennale.

Caractéristiques des crues
BASSIN VERSANT du MORO-NABA

(S = 18 km²)

	N°	Date	P _M	P	K	V _R	H _R	K _R	I _H	t _m	t _p	T _b	Q _M	Q _{Max/} H _R	q _{max.}
	1	13/6	56,0	49,7	0,89	289,0	16,0	32,1	9,0	2	2	1	22,0	1,37	1220
	2	21/6	52,0	41,4	0,79	216,0	12,0	28,9	22,2	2	2	1	19,0	1,60	1060
	3	29/6	33,3	28,0	0,84	47,3	2,6	9,3	13,6	4	4	1 1/2	1,9	0,73	105
	4	13/7	47,5	36,0	0,76	99,3	5,5	15,3	8,8	5	4	1 1/2	5,7	1,03	316
	5	26/7	97,3	65,4	0,67	407,0	22,6	34,5	16,0	3	2 1/2	1 1/2	22,2	0,98	1240
	6	1/8	30,0	12,1	0,40				34,2						
1962	7	13/8	80,0	72,5	0,90	437,0	24,2	33,4	26,9	4	1	2	21,2	0,87	1235
	8	20/8	35,5	25,8	0,72	82,5	4,6	17,8	34,1	6	6	2	2,2	0,48	122
	9	24/8	48,0	42,6	0,89	208,8	11,5	26,9	28,3	4 1/2	3 1/2	2	6,6	0,57	366
	10	26/8	61,5	50,5	0,82	648,0	36,0	71,2	49,6	4	2 1/2	2	26,0	0,72	1440
	11	31/8	43,0	40,4	0,94	429,6	23,8	58,9	50,6	6	4	2	17,3	0,72	961
	12	1/9	11,5	11,4	0,99	74,4	4,1	35,9	77,5	4	3	1	2,5	0,61	138
	13	4/9	44,0	24,2	0,55	230,4	12,8	52,8	51,5	6	6	1 1/2	8,0	0,62	444
	14	17/9	81,9	48,6	0,59	183,1	10,2	20,9	16,1	5	5	1 1/2	7,3	0,71	405
	15	27/6	-	30	-	70	3,9	13		4		2	4,5	1,15	250
1961	16	30/8	-	30	-	70	3,9	13	(54)	6	5 1/4	2	4,0	1,0	220
	17	2/9	-	85	-	400	22,2	26	24,4	4 1/4	4	2	12,0	0,54	670

4.1.5 - Etude du coefficient de ruissellement:

La recherche de la précipitation limite d'écoulement a été faite par la méthode habituelle.

On pointe en ordonnée la hauteur de précipitation et en abscisse l'écart de temps entre l'averse étudiée et la précipitation la plus proche (supérieure pour notre étude à 10 mm) - (Graphique 36).

En traçant une courbe séparant les averses ayant produit un ruissellement de celles qui n'ont rien donné, nous obtenons 9 mm comme valeur limite de précipitation, après 2 jours sans pluie, ce qui classe ce bassin nettement parmi les bassins à sol imperméable.

Si nous traçons les courbes pluie moyenne - hauteur ruisselée, nous vérifions que cette précipitation limite varie en fonction de l'état d'humidité du sol, passant de 20 mm au début de la saison des pluies à 11 mm au mois d'Août et au début Septembre.

En effet, le ruissellement dépend principalement de deux variables :

- la hauteur de l'averse qui le produit,
- l'état d'humidité du sol.

Cet état d'humidité peut être caractérisé de diverses façons. Pour notre étude, nous avons calculé un indice d'humidité I_H à partir de la formule $I_H = \sum \frac{P_i}{t_i}$

avec P_i = précipitation antérieure à l'averse étudiée

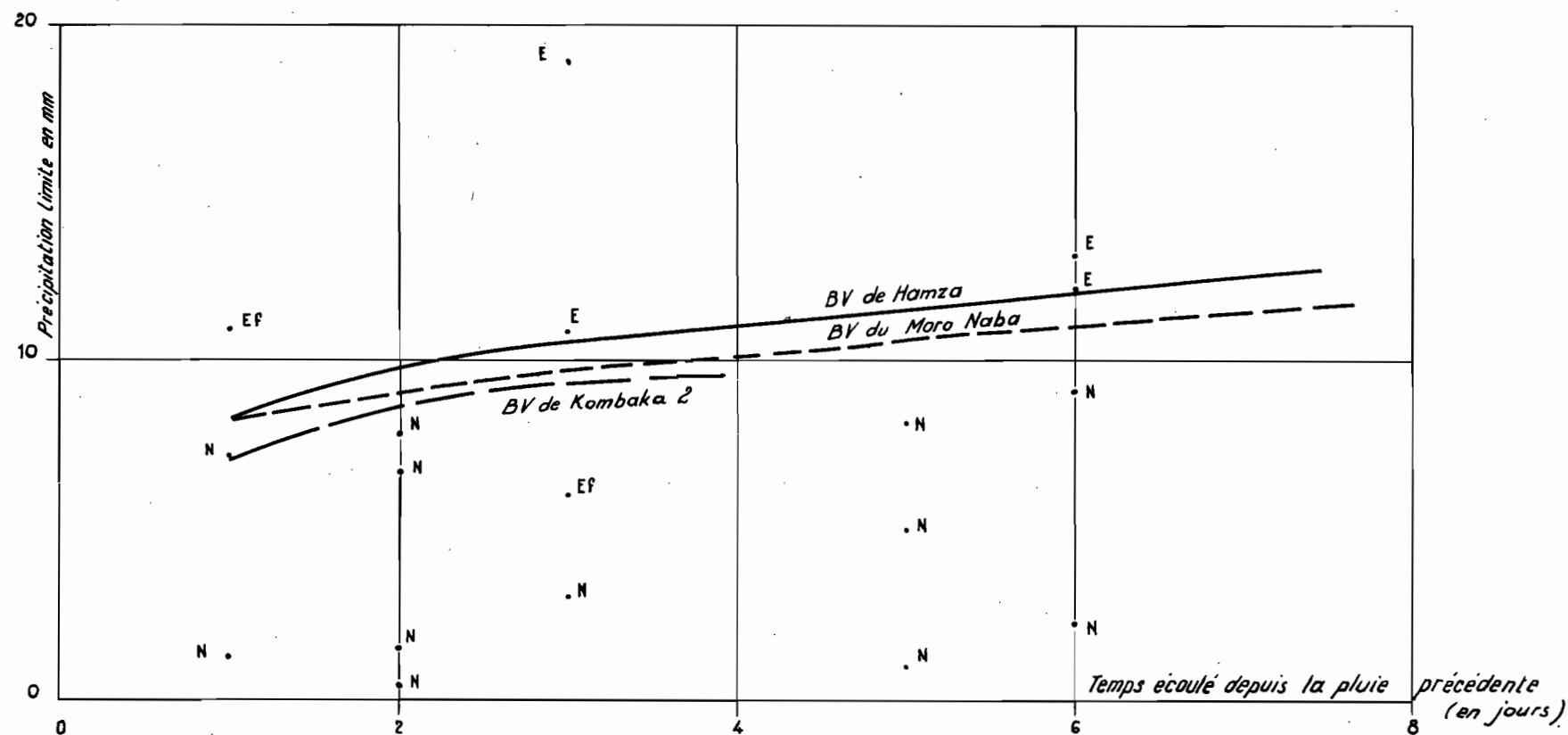
t_i = écart en jours entre les deux averses

Nous n'avons tenu compte que des précipitations tombant dans les 35 jours précédent l'averse étudiée, les variations étant minimes au-delà.

BASSIN VERSANT DU MORO NABA - 18 Km²

PRÉCIPITATION LIMITE DE RUISSEMENT

COMPARAISON AVEC LES BASSINS VERSANTS DE HAMZA (NIGER) ET DE KOUMBAKA 2 (MALI)



La recherche du coefficient de corrélation entre I_H et K_R nous donne $r = 0,74$. Avec 12 degrés de liberté, la probabilité au dépassement est inférieure à 0,01, le test est donc significatif.

Les deux droites de régression ont pour équations :

$$\begin{aligned} I_H &= 0,63 K_R + 6,1 \\ K_R &= 0,85 I_H + 2,0 \end{aligned}$$

L'étude des coefficients de ruissellement montre donc une relation entre K_R , I_H et P . En portant en abscisse la pluie moyenne et en ordonnée le coefficient de ruissellement et en notant à côté de chaque point la valeur de I_H correspondante, on peut tracer des courbes déterminant, pour un indice d'humidité donné, le coefficient de ruissellement en fonction de la pluviométrie moyenne (graphique 37).

On remarque que les plus forts coefficients de ruissellement correspondent tous à des crues d'Août ou de début Septembre à forte valeur de I_H . La crue du 17 Septembre, correspondant à un indice de saturation fortement diminué, se place avec les crues du début de la saison des pluies.

4.1.6 - Recherche d'un hydrogramme-type :

En considérant les valeurs Q_M/H_R , nous voyons qu'elles se groupent en deux familles.

Au début de la saison des pluies, Q_M/H_R est supérieur à 1 sauf pour la crue n° 3.

Au mois d'Août et de Septembre, Q_M/H_R est inférieur à 1, variant de 0,50 à 0,80.

De même, au début de la saison des pluies le temps de montée est plus court (2 h) qu'à la fin de la saison où il est de l'ordre de 5 à 6 h. Il semble que l'on puisse imputer cette variation de temps de montée et l'aplatissement des hydrogrammes au développement de la végétation qui freine le ruissellement, surtout si l'on remarque que deux des crues de la première série sont particulièrement précoces.

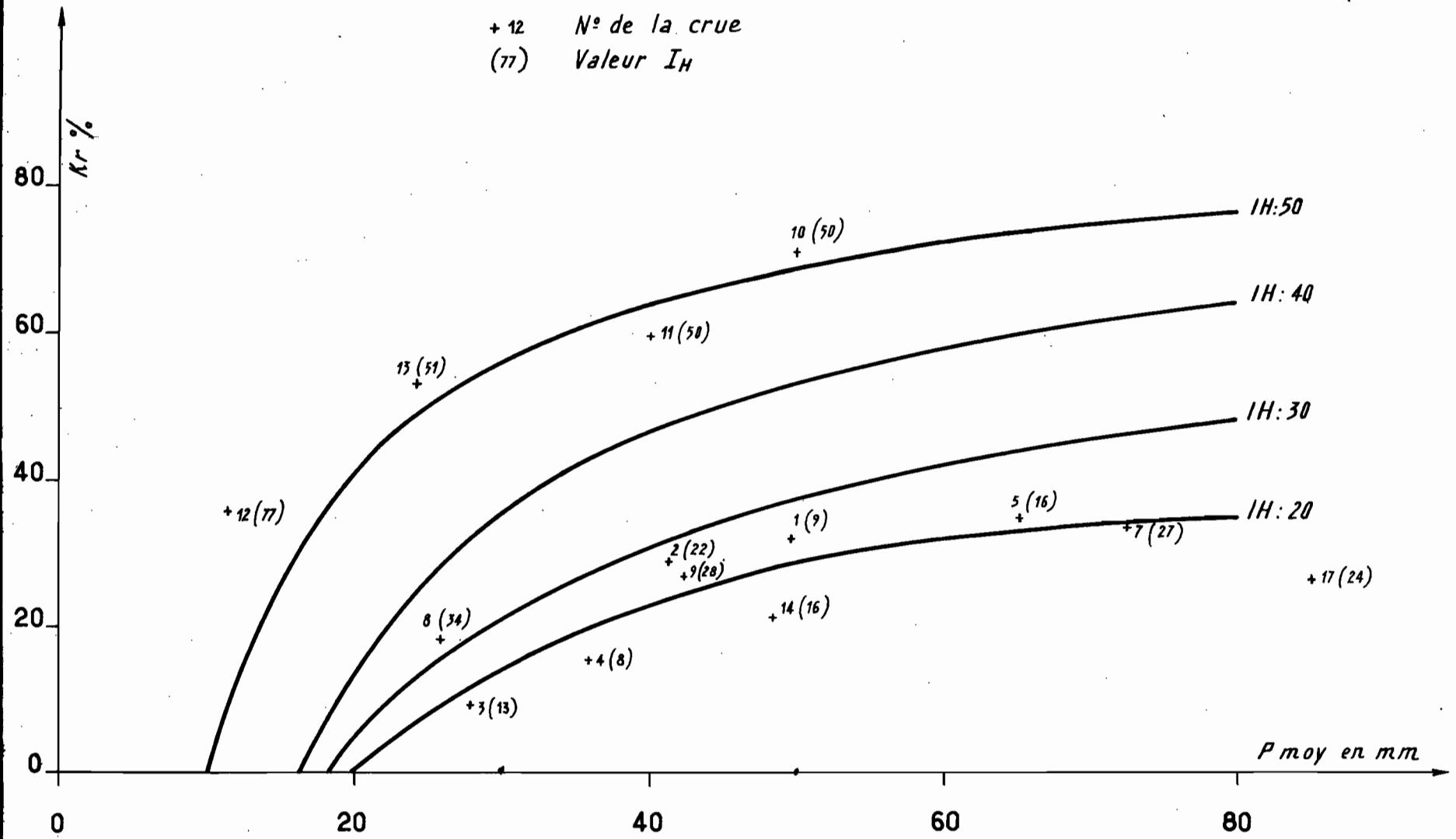
Nous sommes donc amené à construire deux hydrogrammes-type :

1 - Début de la saison des pluies

2 - Août-Septembre.

Bassin Versant du MORO NABA

COEFFICIENT DE RUISELLEMENT EN FONCTION DE LA PLUIE MOYENNE POUR DIVERSES VALEURS DE I_H (^{indice}
_{d'humidité})



Pour le calcul de ces hydrogrammes, nous avons introduit deux crues observées en 1961 : crue du 27 Juin et crue du 11 Septembre. Les valeurs caractéristiques de ces hydrogrammes sont rassemblées dans le tableau ci-après. On note une variation importante du débit de pointe entre les deux hydrogrammes. Ils sont calculés pour une hauteur excédentaire de 10 mm (graphique 38).

1. $12,0 \text{ m}^3/\text{s}$
2. $7,0 \text{ m}^3/\text{s}$

Pour l'hydrogramme n° 2, on prendra pour le maximum $7,0 \text{ m}^3/\text{s}$ au lieu de $6,4 \text{ m}^3/\text{s}$, moyenne des maximums, en tenant compte du fait que, dans une même famille de crues, celles qui correspondent à de fortes averses présentent toujours un pourcentage de pointe plus élevé que les autres. C'est le cas des deux fortes crues des 26 Août 1962 et 17 Septembre 1962, ceci joue dans le sens de la sécurité.

4.1.7 - Estimation des crues médianes et décennales

Crue médiane :

7 averses sur 14 ayant un coefficient de réduction supérieur ou égal à 80 %, nous prendrons $K = 85 \%$.

Soit pour une pluie de fréquence annuelle :

$$62,5 \times 0,85 = 53 \text{ mm}$$

Averse survenant en début de saison des pluies :

On peut admettre $I_H = 20$. D'après nos courbes, cela correspond à $K_R = 30 \%$.

Ce qui nous donne un volume ruisseaué :

$$V_R = 53 \times 18 \times 10^3 \times 0,30 = 286 200 \text{ m}^3$$

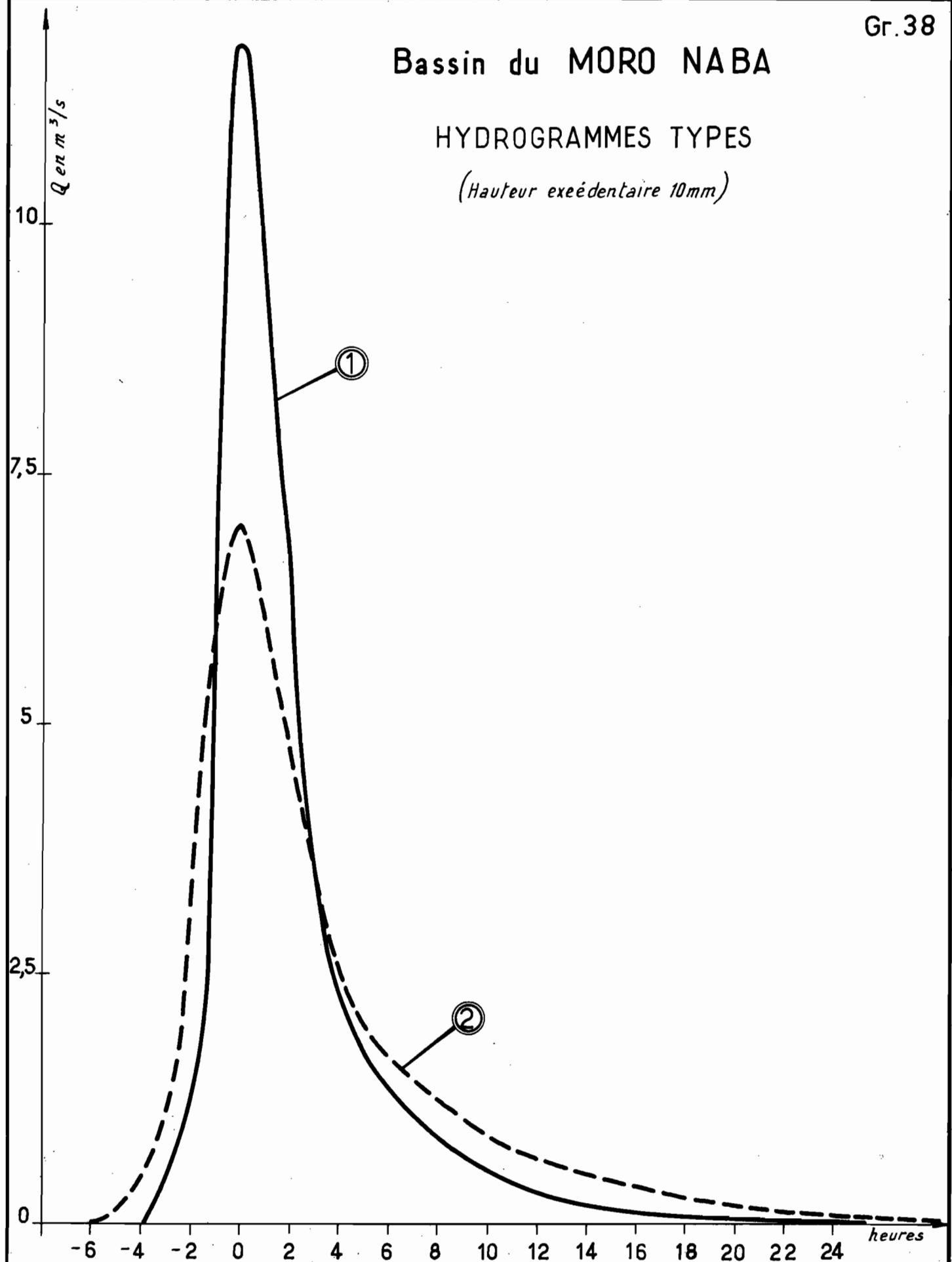
$$Q_M = 12 \times \frac{286 200}{180 000}$$

$$Q_M = 19,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bassin du MORO NABA

HYDROGRAMMES TYPES

(Hauteur excédentaire 10 mm)



		Date	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30
		13/6																					
		21/6																					
		27/6/61																					
1		13/7																					
		26/7																					
		Hydrogramme																					
		type																					
		24/8																					
		26/8																					
		31/8																					
2		4/9																					
		17/9																					
		Hydrogramme																					
		type																					

N° 1 Temps de montée 4 heures Temps de base 25 heures $Q_M = 12,0 \text{ m}^3/\text{s}$

N° 2 Temps de montée 6 heures Temps de base 36 heures $Q_M = 7,0 \text{ m}^3/\text{s}$

Hauteur excédentaire : 10 mm, soit un volume ruisselé de 180 000 m^3 .

Averse survenant en Août-Septembre :

On peut admettre $I_H = 35$, ce qui conduit à un coefficient de ruissellement égal à 50 %.

$$V_R = 53 \times 18 \times 10^3 \times 0,50 = 477 \ 000 \text{ m}^3$$

$$Q_M = 7,0 \times \frac{477 \ 000}{180 \ 000}$$

$$Q_M = 18,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

On retiendra, pour la crue médiane, $19 \text{ m}^3/\text{s}$ (1060 l/s.km^2).

Crue décennale :

On peut garder $K = 85 \%$

Soit, pour l'averse de fréquence décennale :

$$112,5 \times 0,85 = 95,5 \text{ mm.}$$

Cette averse n'est pas unitaire, mais nous la considérerons comme telle, ce qui joue dans le sens de la sécurité.

Début de la saison des pluies :

$$I_H = 25$$

$$K_R = 35 \%$$

$$V_R = 95,5 \times 18 \times 10^3 \times 0,35 = 601 \ 650 \text{ m}^3$$

$$Q_M = 12,0 \times \frac{601 \ 650}{180 \ 000}$$

$$Q_M = 40,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Averse survenant en Août-Septembre :

On a adopté $K_R = 60 \%$

$$V_R = 95,5 \times 18 \times 10^3 \times 0,60 = 1\ 031\ 400 \text{ m}^3$$

$$Q_M = 7,0 \times \frac{1\ 031\ 400}{180\ 000}$$

$$Q_M = 39,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

On retiendra, pour la crue décennale, $40 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2\ 200 \text{ l/s.km}^2$).

Il faut remarquer que l'état de saturation pour les crues observées en 1962 est exceptionnel et conduit à des coefficients de ruissellement très élevés. Rappelons, en effet, que la pluviométrie enregistrée à OUAGADOUGOU est en augmentation de 70,5 % en Juin et de 44,6 % en Août par rapport à la normale, c'est pourquoi les valeurs des crues médianes trouvées paraissent faibles, mais notons qu'elles sont plus fortes que les valeurs maximales observées en 1961 et 1962.

D'autre part, il ne semble pas y avoir de fortes différences entre les crues se produisant en fin et en début de saison des pluies, en ce qui concerne Q_M .

4.1.8 - Bilan de surface -

L'écoulement permanent ne s'établit qu'à partir de la fin de Juillet et dure jusqu'au 26 Septembre (graphique 38).

Rappelons que les débits moyens mensuels entrant dans la retenue sont, de Mai à Octobre :

Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
0,04	0,30	0,31	0,88	0,62	0,01

Module $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$

Lame d'eau équivalente H_e : $315,5 \text{ mm}$

Déficit d'écoulement $D_e = P - H_e$

$D_e = 1\ 080 - 315,5$

$D_e = 765 \text{ mm}$, ce qui est normal.

Ce qui donne un coefficient d'écoulement, en 1962, de 29 %, chiffre élevé, mais il est certainement nettement supérieur à la moyenne interannuelle.

Le tableau suivant donne les apports déversés par mois et le total des apports naturels. Les apports naturels correspondent aux apports déversés augmentés du volume stocké par la retenue considérée comme vide à la fin de la saison sèche.

Mois	M	J	J	A	S	O	Volume total
Apports observés:	107	777	830	2 357	1 607	27	5 705
en 10^3 m^3							
Apport naturels							5 723
en 10^3 m^3							

Pour l'année 1961, nous pouvons estimer le module à $0,038 \text{ m}^3/\text{s}$. Soit une lame d'eau écoulée $H_e = 68 \text{ mm}$. Apports naturels : $1\ 200\ 000 \text{ m}^3$.

Le déficit d'écoulement $D_e = P - H_e = 800 - 68$

$D_e = 732 \text{ mm}$.

Le coefficient d'écoulement est de 8,5 %.

L'augmentation des apports naturels en 1962 suit l'augmentation de la pluviométrie qui est supérieure de 280 mm à celle de 1961.

La valeur moyenne brute du module calculée sur 2 ans est de $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

BASSIN VERSANT de ZAGTOULI

$$(S = 11 \text{ km}^2)$$

4.2.1 - Etalonnage du déversoir

Un jaugeage effectué le 11 Septembre 1963 à la cote $h = 0,97 \text{ m}$
 $Q = 0,40 \text{ m}^3/\text{s}$ n'apporte pratiquement rien de nouveau à la connaissance de la courbe de tarage et l'on doit se contenter de la courbe de 1961, tracée à partir de la formule

$$Q = m \sqrt{2g} \left[55 h^{3/2} + 32 h^{5/2} - 28 (h - 0,25)^{5/2} \right]$$

$$h = H - 0,935$$

4.2.2 - Débits journaliers - Débits moyens mensuels

A partir des hydrogrammes, nous avons calculé les débits journaliers entrant dans la retenue de ZAGTOULI.

Ces débits sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

Jours	J	A	S	O	Jours	J	A	S	O
1			3,65	0,01	16		0	0	0
2		0,01	0,11	0,01	17		0	2,42	
3		0,02	2,68	0,02	18		0	0,13	
4		0,29	1,24	0	19		0,06	0	
5		0,36	0,05	0	20		1,94	0	
6		0	0	0	21		0	0	
7		0,04	0	0	22		0	0	
8		0,02	0	0	23		0,05	0	
9		0,01	0,06	0	24		0,63	0	
10		0	0	0	25		0	0	
11		0	0	0	26	0	1,44	0	
12		0	0	0,95	27	0	0,46	0	
13		0,92	0	0	28	0	0,04	0	
14		0	0	0	29	0	0	0	
15		0	0	0,05	30	0	0	0	
					31	0	0,17		

Ces débits journaliers nous ont permis de calculer les débits moyens mensuels que nous avons exprimés en m^3/s et en volumes mensuels entrant dans la retenue.

	J	A	S	O
m^3/s		0,20	0,34	0,01
Volume en $10^3 m^3$		402	880	27

4.2.3 - Description des averses et des crues

Le limnigraphie de ZAGTOULI ayant été endommagé au début de la saison des pluies, les enregistrements ne débutent que le 27 Juillet. Parmi les averses, certaines ont été observées aux postes voisins car le pluviographe de ZAGTOULI a fait défaut dans la dernière partie du mois d'Août.

Ce bassin ne comporte qu'un pluviographe, aussi avons-nous pris comme coefficient de réduction $K = 85\%$ en nous basant sur la superficie ($11 km^2$) et sur les coefficients d'abattement du MORO NABA.

13 Août - Averse n° 1 :

Pluie de mousson étalée sur 6 heures présentant deux maximums.

Intensité maximale : 60 mm/h. Durée de la pluie utile : 60 minutes.

$$P_M = 67,5 \text{ m}$$

$$t_m = 2 \text{ h.30}$$

$$P = 57,3 \text{ mm}$$

$$Q_M = 6,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

20 Août - Averse n° 2 :

Tornade - Intensité maximale 180 mm/h. Durée de la pluie utile 15 minutes.

$$\begin{aligned} P_M &= 35,0 \text{ mm} \\ t_m &= 4 \text{ h.30} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 29,7 \text{ mm} \\ Q_M &= 9,9 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

24 Août - Averse n° 3 :

Enregistrée aux pluviographes de MORO NABA. Pluie de mousson s'étalant sur 6 heures.

$$P_M = 30,0 \text{ mm}$$

$$P = 25,5 \text{ mm}$$

Crues à deux pointes :

$$t_{m1} = 4 \text{ h.00}$$

$$Q_{M1} = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t_{m2} = 7 \text{ h.00}$$

$$Q_{M2} = 1,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

26 Août - Averse n° 4 :

Enregistrée à ZEKOUNGA. Tornade, durée de la pluie utile 40 minutes.

$$P_M = 40,0 \text{ mm}$$

$$P = 34,0 \text{ mm}$$

$$t_m = 6 \text{ h.00}$$

$$Q_M = 6 \text{ m}^3/\text{s}$$

1er Septembre - Averse n° 5 : (Graphique 39)

Averse fractionnée en trois parties s'étalant du 31 Août à 18 h au 1er Septembre à 1 heure. La première partie (7,5 mm) correspond à une pluie d'imbibition. Seules, les deux autres ondées ont donné lieu à ruissellement.

Durée de la pluie utile 45 minutes. Intensité maximale : 132 mm/h.

$$P_M = 43,5 \text{ mm}$$

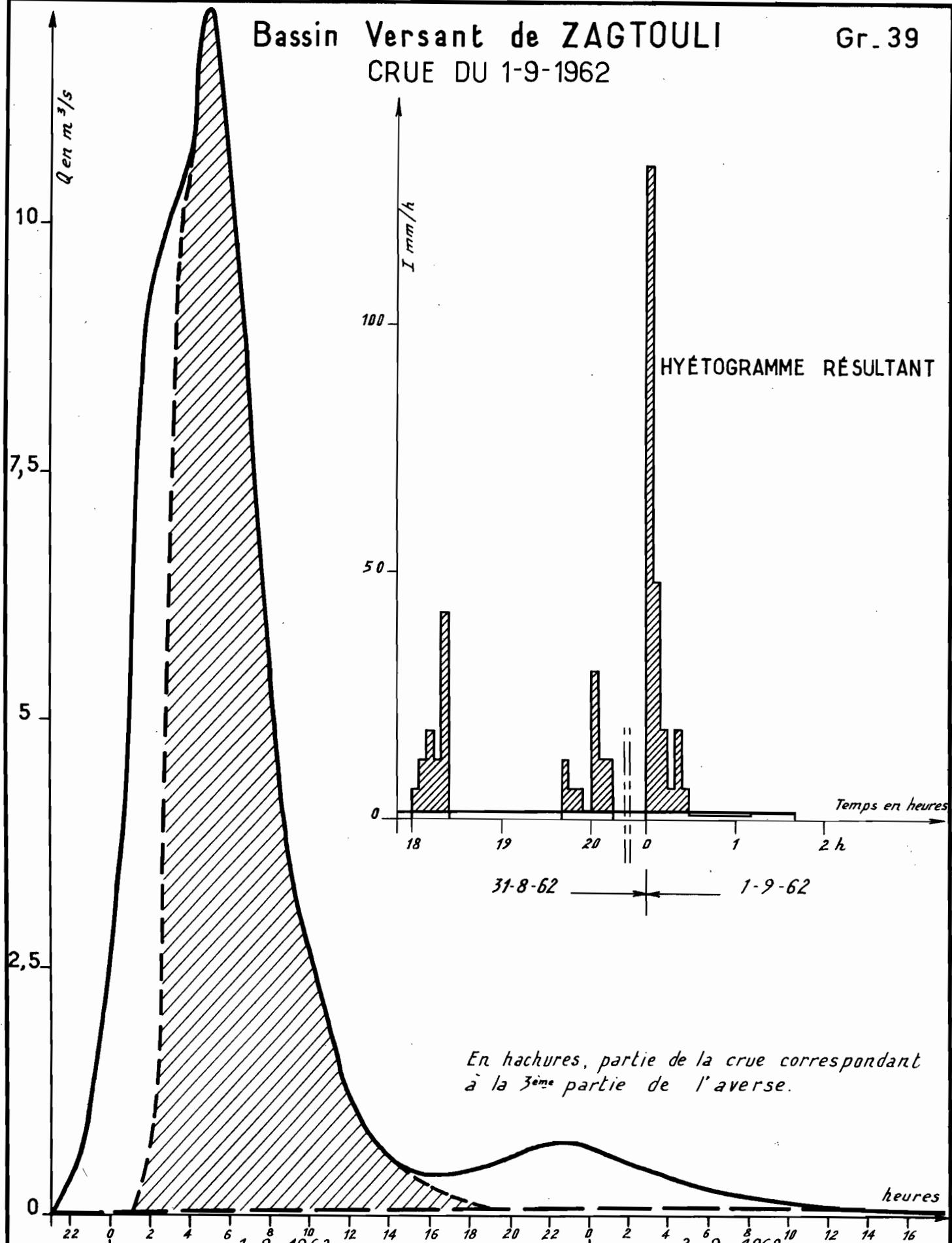
$$P = 36,5 \text{ mm}$$

$$t_m = 8 \text{ h.00}$$

$$Q_M = 12,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bassin Versant de ZAGTOULI
CRUE DU 1-9-1962

Gr. 39



ORSTOM

Ao DATE:

DESSINÉ:

VOL. 61.130

3 Septembre - Averse n° 6 :

Pas d'enregistrement.

$$P_M = 29,0 \text{ mm}$$

$$P = 26,0 \text{ mm}$$

$$t_m = 5 \text{ h.00}$$

$$Q_M = 11,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

4 Septembre - Averse n° 7 :

Enregistrée à BAZOULE et ZEKOUNGA. Elle présente deux parties séparées par un intervalle de 2 heures. Intensité maximale 84 mm/h. Durée de la pluie utile 35 minutes.

$$P_M = 14,5 \text{ mm}$$

$$P = 12,3 \text{ mm}$$

$$t_m = 6 \text{ h.00}$$

$$Q_M = 3,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

La crue présente une petite pointe secondaire correspondant à la première averse.

Les averses n° 5, 6 et 7 se succédaient dans un intervalle de 4 jours, bénéficiant de conditions de saturation très fortes et les crues auront des coefficients de ruissellement atteignant 79 %.

17 Septembre - Averse n° 8 : (Graphique 40)

Elle s'étale sur 5 heures. Intensité maximale 44 mm/h. Durée de la pluie utile 50 minutes.

$$P_M = 39,0 \text{ mm}$$

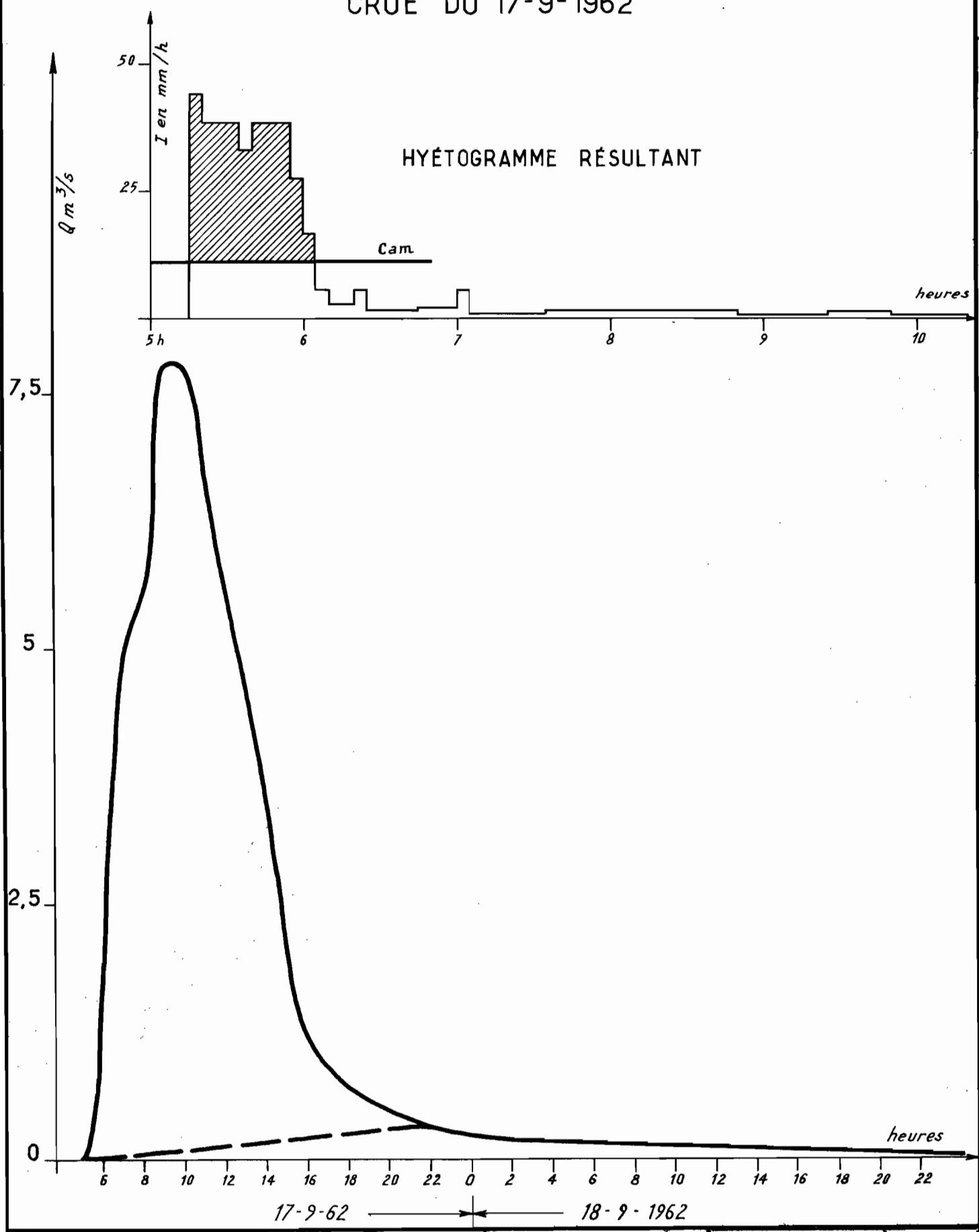
$$P = 33,0 \text{ mm}$$

$$t_m = 3 \text{ h.30}$$

$$Q_M = 7,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bassin Versant de ZAGTOULI
CRUE DU 17-9-1962

Gr. 40



C.R.S.T.O.M.

Ao

DATE:

DESSINÉ:

VOL 61 152

4.2.4 - Caractéristiques des crues :

Les caractéristiques des crues étudiées sont rassemblées dans le tableau ci-après.

Nous avons fait, à partir des données de ce tableau, une étude du ruissellement et recherché un hydrogramme-type pour le bassin versant de ZAGTOULI. Mais étant donné l'imprécision de la courbe de tarage et le faible équipement pluviométrique, les données du tableau ne doivent être considérées que comme des ordres de grandeur.

4.2.5 - Etude du ruissellement :

Nous avons estimé la précipitation limite d'écoulement en portant en ordonnées la hauteur ruisselée H_r en fonction de la précipitation moyenne. Nous avons ajusté une droite à partir des points obtenus, ce qui nous donne une précipitation limite de 8 à 9 mm pour $H_r = 0$, ce qui correspond sensiblement à un intervalle sans pluie de 2 jours.

Etant donné le faible nombre de crues observées, nous n'avons pas tracé le réseau de courbes donnant le coefficient de ruissellement en fonction de la pluie moyenne pour un I_H donné. Cependant, on peut affirmer, en se basant sur la valeur de la précipitation limite et les quelques points observés, que la réaction du bassin est très comparable à celle du MORO NABA. Il ruisselle peut-être même plus facilement encore. Nous nous contenterons d'une estimation du coefficient de ruissellement en remarquant qu'il croît très rapidement en fonction de la pluie moyenne et de I_H et qu'il atteint un maximum (80 %) quand I_H atteint 40 - 50, l'influence de la pluie moyenne étant alors assez faible.

4.2.6 - Recherche d'un hydrogramme-type :

Malgré le faible nombre de crues importantes, nous avons tenté de définir un hydrogramme-type.

Malheureusement, ces crues ont des temps de montée variant entre 8 h et 4 h.30. La crue n° 5, provoquée par une averse double avec un arrêt de 4 heures, ne doit pas être prise en compte, non plus que l'averse n° 7 présentant deux parties séparées par un intervalle de 2 heures. Cependant, la forte crue n° 5 nous montre que le temps de réponse pour la 3ème pointe du hyéogramme responsable du maximum est de 5 h, ce qui conduit pour cette troisième pointe à un temps de montée de 4 heures, normal pour un bassin de 11 km^2 .

BASSIN VERSANT de ZAGTOULI ($S = 11 \text{ km}^2$)

Caractéristiques des crues

	N°	Date	P_M	$P_{(1)}$	K	V_R	H_R	K_R	I_H	t_m	t_p	T_b	Q_M	Q_M/HR	$q_{\text{max.}}$
	1	13/8	67,5	57,3	0,85	72,0	6,5	11,4	12,4	2 h.30	2 h.30	1	6,2	0,99	564
	2	20/8	35,0	29,7	0,85	151,0	13,7	46,2	18,6	4 h.30	4 h.00	1	9,9	0,72	900
	3	24/8	30,0	25,5	0,85	54,7	5,0	19,5	21,9	(4 h.00)	(4 h.00)	1	2,5	0,50	228
1962	4	26/8	40,0	34,0	0,85	158,4	14,4	42,5	32	6 h.00	(6 h.00)	1	6,0	0,41	546
	5	1/9	43,5	36,5	0,85	315,0	28,7	78,0	40,0	(8 h.00)	(5 h.00)	1	12,2	0,43	1110
	6	3/9	29,0	26,0	0,85	226,8	20,6	79,0	46,0	5 h.00		1	11,7	0,57	1065
	7	4/9	14,5	12,3	0,85	100,8	9,8	79,0	50,0	6 h.00	(6 h.00)	1	3,6	0,37	327
	8	17/9	39,0	33,1	0,85	215,9	19,6	59,0	18,0	4 h.30	4 h.00	1	7,8	0,40	710
1961	9	11/9	85	75	0,85	330	30	40	20,5	2 h.00	2 h.00	1,5	23	0,77	2100
			:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

(1) Calculé en prenant $P_M \times 0,85$

Le tableau suivant donne les débits de ruissellement à différents intervalles pour les crues n° 4 et n° 8.

Hauteur excédentaire 10 mm, soit un volume ruisselé de 110 000 m³.

Intervalle en heure	- 6	- 5	- 4	- 3	- 2	0	1	2	3	4	5	6	7	10	12	15
26/8	0	1,4	2,4	2,8	3,5	4,0	4,1	3,8	2,8	1,7	1,2	0,80	0,70	0,60	0,07	0
17/9	0	1,3	2,5	2,9	3,9	3,8	3,1	2,6	2,1	1,6	0,85	0,55	0,30	0,05	0	
Hydrogramme-type	0	0,7	1,8	2,0	3,0	3,4	4,0	3,8	2,9	2,1	1,6	1,2	0,77	0,57	0,18	0,02

Nous prendrons comme hydrogramme-type un hydrogramme présentant un temps de montée de 4 heures, un temps de base de 14 heures avec un $Q_M = 4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ (Graphique 41) .

Mais l'exemple de la crue n° 5 tend à indiquer que, pour les fortes crues, le Q_M serait plutôt de l'ordre de $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.2.7 - Estimation des crues médianes et décennales :

Crue médiane :

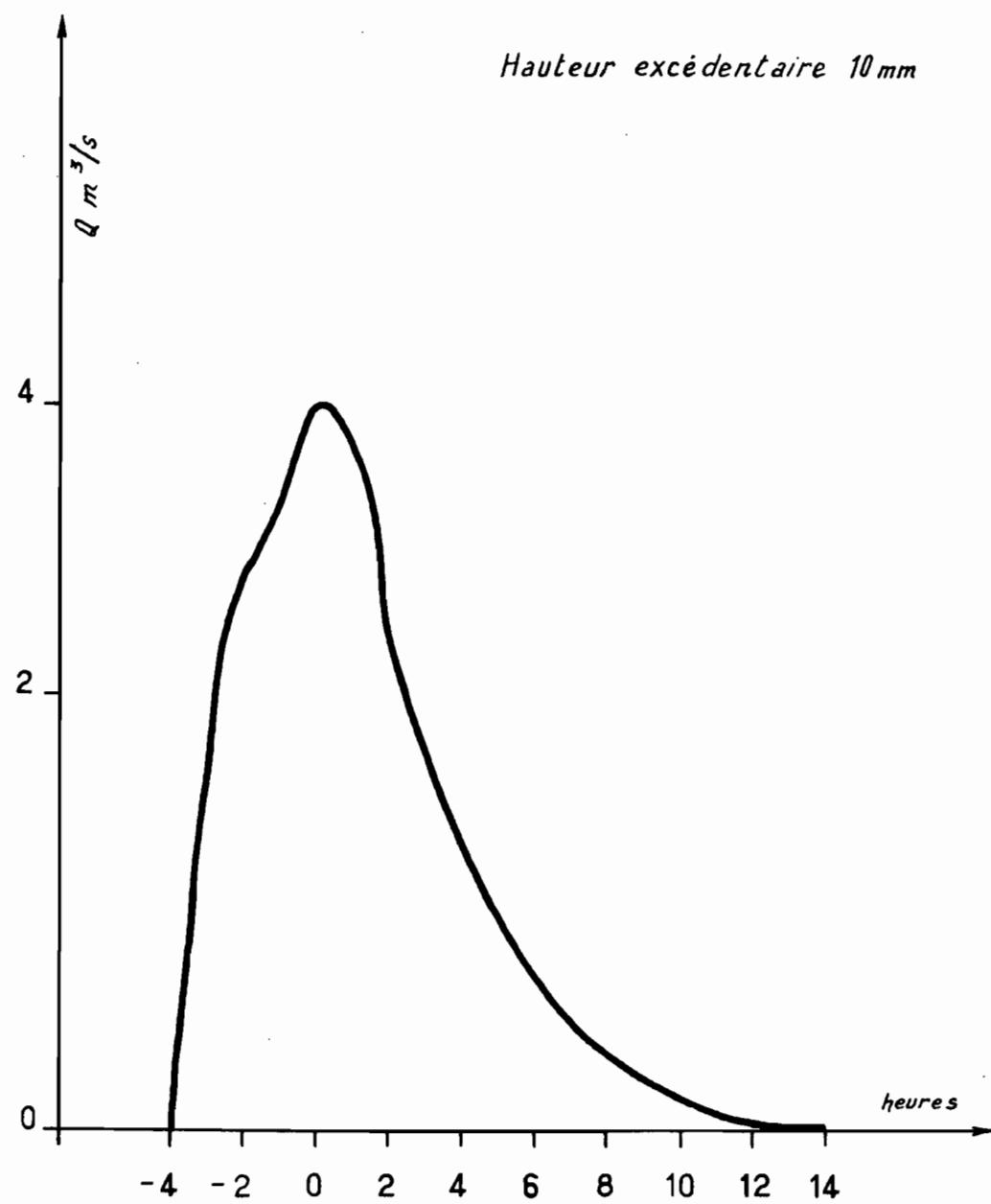
Nous prendrons comme coefficient de réduction $K = 90\%$ ce qui, pour une averse de fréquence médiane donne :

$$62,5 \times 0,9 = 56 \text{ mm}$$

Bassin Versant de ZAGTOULI

Gr. 41

HYDROGRAMME TYPE —



En estimant le coefficient de ruissellement à 50 %, on obtient :

$$V_R = 56 \times 11 \times 10^3 \times 0,5 = 308\ 000 \text{ m}^3$$

$$Q_M = 4,0 \times \frac{308\ 000}{110\ 000}$$

$$Q_M = 11,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

On retiendra, pour la crue médiane : $11 \text{ m}^3/\text{s}$ ($q = 1000 \text{ l/s.km}^2$).

Crue décennale :

Nous conservons $K = 90 \%$, ce qui pour une averse décennale nous donne : $112,5 \times 0,9 = 101,2 \text{ mm}$.

En estimant K_R à 60 %, le volume ruisselé sera égal à

$$V_R = 101,2 \times 11 \times 10^3 \times 0,6 = 667\ 920 \text{ m}^3$$

$$Q_M = 4,0 \times \frac{667\ 920}{110\ 000}$$

$$Q_M = 24,2$$

On retiendra pour la crue décennale : $25 \text{ m}^3/\text{s}$ ($q = 2300 \text{ l/s.km}^2$).

4.2.8 - Bilan de surface :

L'écoulement n'est pas permanent entre les crues. Il y a 29 jours d'écoulement durant la période allant d'Août à mi-Octobre.

Les débits moyens mensuels calculés à partir des limnigrammes sont :

Août : $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ Septembre : $0,34 \text{ m}^3/\text{s}$ Octobre : $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$

Module : $0,045 \text{ m}^3/\text{s}$ (calculé à partir de trois mois de relevés)

Lame d'eau équivalente : 129 mm.

La pluviométrie moyenne estimée est de 900 mm, d'où un déficit d'écoulement $D_e = P - H_e$ égal à 771 mm.

Coefficient d'écoulement : 14 %

Le tableau suivant donne les apports déversés mensuels et le total des apports naturels dans la retenue de ZAGTOULI, considérée comme vide à la fin de la saison sèche.

Mois	Août	Septembre	Octobre	Volume total
Apports déversés en 10^3 m^3	402	881	27,0	1310
Apports naturels en 10^3 m^3				1374

En 1961, le limnigraphie n'a pu être installé que le 9 Septembre. Nous ne pouvons donc pas établir de bilan pour cette année.

BASSIN VERSANT de OUAGADOUGOU I

$$(S = 285 \text{ km}^2)$$

4.3.1 - Etalonnage du déversoir

Huit jaugeages ont été effectués de 1961 à 1963 (graphique 42)

:	N°	:	H (cm)	:	Q (m ³ /s)	:	N°	:	H (cm)	:	Q (m ³ /s)	:
:	1	:	218,5	:	1,1	:	5	:	235,5	:	11	:
:	2	:	223,5	:	2,9	:	6	:	258	:	36	:
:	3	:	229,5	:	6,0	:	7	:	246	:	25,3	:
:	4	:	231	:	7,2	:	8	:	246,5	:	20,7	:

Les vitesses mesurées lors du jaugeage n° 7 semblent un peu trop fortes.

On conservera la courbe tracée pour le rapport 1961 et la formule

$$Q = m \sqrt{2g} (60 h^{3/2} + 16,8 h^{5/2})$$

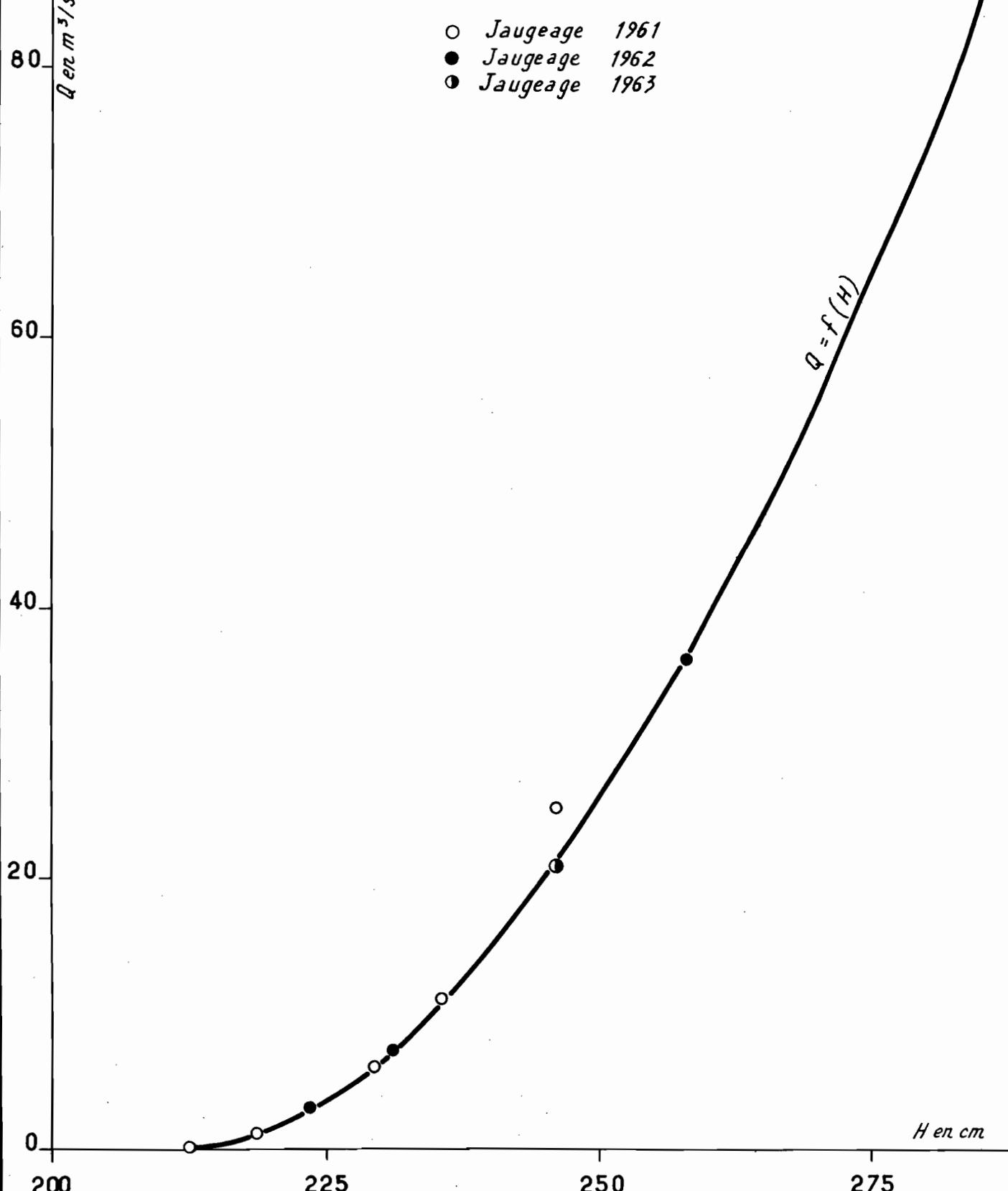
$$h = H - 2,125 \quad 0,31 < m < 0,33$$

4.3.2 - Débits journaliers - Débits moyens mensuels

Les débits journaliers entrant dans la retenue, calculés à partir des limnigrammes, sont rassemblés dans le tableau ci-après.

Déversoir de OUAGADOUGOU I

COURBE D'ÉTALONNAGE



N°	J	J	A	S	O
1	0	1,6	11,4	0,5	
2	0	1,6	15,1	0,4	
3	0,4	1,6	6,5	0,6	
4	0	1,3	14,7	1,2	
5	0	0,9	10,9	1,5	
6	0	0	5,6	1,7	
7	0	0	3,1	1,6	
8	0	1,2	2,3	1,1	
9	0	0,8	2,2	1,0	
10	0	0,5	2,0	0,8	
11	0	0,8	1,7	0,7	
12	3,2	0	0	1,5	0,6
13	1,5	0,4	66,7	1,4	0,6
14	0,6	0,1	31,4	1,3	0,6
15	0,3	0,1	17,2	1,2	0,5
16	0,2	0,1	7,8	1,1	0,4
17	0,1	0,1	4,8	4,1	0,3
18	0	0,1	4,3	5,9	0,3
19	0	0,1	0,8	6,1	0,3
20	0	0,1	3,5	2,9	0,2
21	0,6	0,1	3,3	2,1	0,2
22	0,7	0,1	1,7	1,9	0,2
23	0	0,1	1,5	1,7	0,1
24	0	0	1,2	1,2	0,1
25	0	2,4	1,7	1,0	0,1
26	0	1,3	5,9	1,0	0,1
27	0	0,4	14,5	0,9	0,1
28	0	0,3	6,9	0,8	0
29	0,7	0,3	3,8	0,8	0
30	0	0,1	2,7	0,7	0
31	0,2	2,7		0	

A partir de ces débits, nous avons calculé les débits moyens mensuels en m^3/s ainsi que les volumes entrant dans la retenue du lac de Juin au mois d'Octobre 1962.

:	J	J	A	S	O	:
: m^3/s	: 0,26	: 0,21	: 6,2	: 3,7	: 0,5	:
:	:	:	:	:	:	:
: Volumes en $10^3 m^3$: 674	: 562	: 16 606	: 9 771	: 1 339	:
:	:	:	:	:	:	:

4.3.3 - Description des averses et des crues :

Notre étude porte sur neuf couples averse-crue; deux averses dépassent la hauteur ponctuelle de fréquence médiane.

13 Juin - Averse n° 1 :

Averse présentant deux pointes avec une intensité moyenne maximale de 47 mm/h. La durée de la pluie utile est de 55 minutes. Averse homogène.

$$P_M = 57,7 \text{ mm}$$

$$P = 42,7 \text{ mm}$$

La crue est double.

$$t_m = 6 \text{ h.00}$$

$$Q_M = 6,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

26 Juillet - Averse n° 2 :

Averse assez homogène d'intensité maximale moyenne 44,5 mm/h. Durée de la pluie utile 30 minutes, mais il est très probable que la partie aval du bassin, la retenue en particulier, ait été soumise à l'influence de la tornade de OUAGADOUGOU très forte, ce qui fausse complètement l'hydrogramme.

$$P_M = 20,0 \text{ mm}$$

$$P = 15,6 \text{ mm}$$

$$t_m = 4 \text{ h.00}$$

$$Q_M = 13,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

1er Août - Averse n° 3 :

Averse hétérogène d'intensité maximale moyenne 41 mm/h. Durée de la pluie utile 15 minutes.

$$\begin{array}{ll} P_M = 15,5 \text{ mm} & P = 7,1 \text{ mm} \\ t_m = 3 \text{ heures} & Q_M = 11,5 \text{ m}^3/\text{s} \end{array}$$

2-3 Août - Averse n° 4 :

Averse homogène présentant deux pointes avec une intensité maximale moyenne de 105 mm/h. Durée de la pluie utile 25 minutes.

La crue résultante est double.

$$\begin{array}{ll} P_M = 43,5 \text{ mm} & P = 31,3 \text{ mm} \\ t_m = 6 \text{ h.}30 & Q_M = 9,2 \text{ m}^3/\text{s} \end{array}$$

13 Août - Averse n° 5 :

Cette averse très homogène s'étale sur 8 heures. L'intensité maximale moyenne est de 59 mm/h et se produit 4 h.30 après le début de la pluie. Il y a donc saturation de terrain en cours d'averse et la partie la plus importante de celle-ci tombe sur un terrain gorgé d'eau, ce qui explique le coefficient de ruissellement exceptionnel de 55 % (graphique 43).

$$\begin{array}{ll} P_M = 67,5 \text{ mm} & P = 57,2 \text{ mm} \\ t_m = 8 \text{ h.}00 & Q_M = 96 \text{ m}^3/\text{s} \end{array}$$

26 Août - Averse n° 6 :

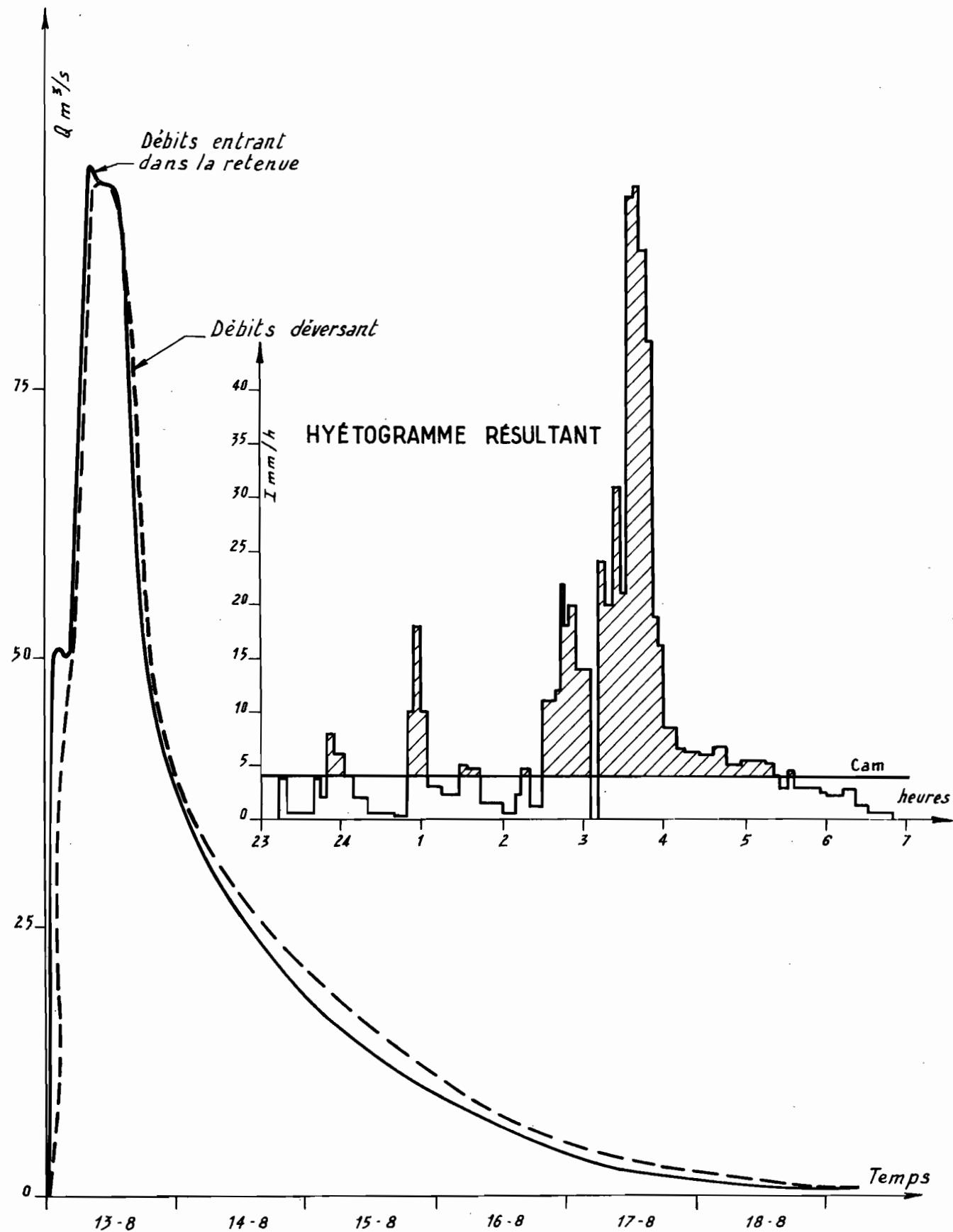
Averse homogène d'intensité maximale moyenne 102 mm/h. La durée de la pluie utile est de 45 minutes à l'unique pluviographe observé.

$$\begin{array}{ll} P_M = 58,0 \text{ mm} & P = 46,2 \text{ mm} \\ t_m = 8 \text{ h.}30 & Q_M = 22,3 \text{ m}^3/\text{s} \end{array}$$

Bassin Versant de OUAGADOUGOU I

Gr:43

CRUE DU 13-8-1962



31 Août - 1er Septembre - Averse n° 7 :

Averse peu homogène. Cette averse fractionnée en trois parties s'étale sur 7 heures. L'intensité maximale moyenne est de 53 mm/h. La durée de la pluie utile est de 75 minutes.

$$\begin{aligned} P_M &= 61,5 \text{ mm} \\ t_m &= 25 \text{ heures} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 38,9 \text{ mm} \\ Q_M &= 22,0 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

4 Septembre - Averse n° 8 :

Averse homogène, double avec un intervalle de 2 heures. L'intensité maximale moyenne est de 59 mm/h. La durée de la pluie utile est de 30 minutes.

$$\begin{aligned} P_M &= 27,5 \text{ mm} \\ t_m &= 12 \text{ heures} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 19,7 \text{ mm} \\ Q_M &= 19,4 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

19 Septembre - Averse n° 9 :

Averse homogène s'étalant sur 7 heures, mais présentant un maximum au début de la pluie avec une intensité maximale moyenne de 24 mm/h. Durée de la pluie utile 65 minutes.

$$\begin{aligned} P_M &= 39,0 \text{ mm} \\ t_m &= 19 \text{ heures} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 27,1 \text{ mm} \\ Q_M &= 8,6 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Toutes ces averses ont des durées de pluie utile qui peuvent être considérées comme unitaires sauf pour l'averse n° 5.

Mais la superficie du bassin versant atteignant 285 km^2 , la répartition spatiale de l'averse, en particulier la position de l'épicentre, a une grande influence sur la forme de l'hydrogramme, ce qui explique les temps de montée allant de 4 à 25 heures.

4.3.3 - Caractéristiques des crues :

Le tableau ci-après rassemble les caractéristiques des crues observées en 1962.

4.3.4 - Etude de ruissellement :

La recherche de la précipitation limite d'écoulement a été faite de deux façons. D'une part, en traçant une courbe donnant les hauteurs ruisselées en fonction des hauteurs de précipitation moyenne, et, d'autre part, en pointant sur un graphique les averses qui ont donné lieu à un ruissellement et celles qui n'ont rien donné en fonction de la hauteur moyenne de l'averse étudiée et de la somme des précipitations antérieures (graphique 44).

Par la première méthode, on obtient une précipitation limite pour $H_r = 0$, de l'ordre de 6 à 10 mm correspondant sensiblement à un intervalle de 2 jours sans pluie.

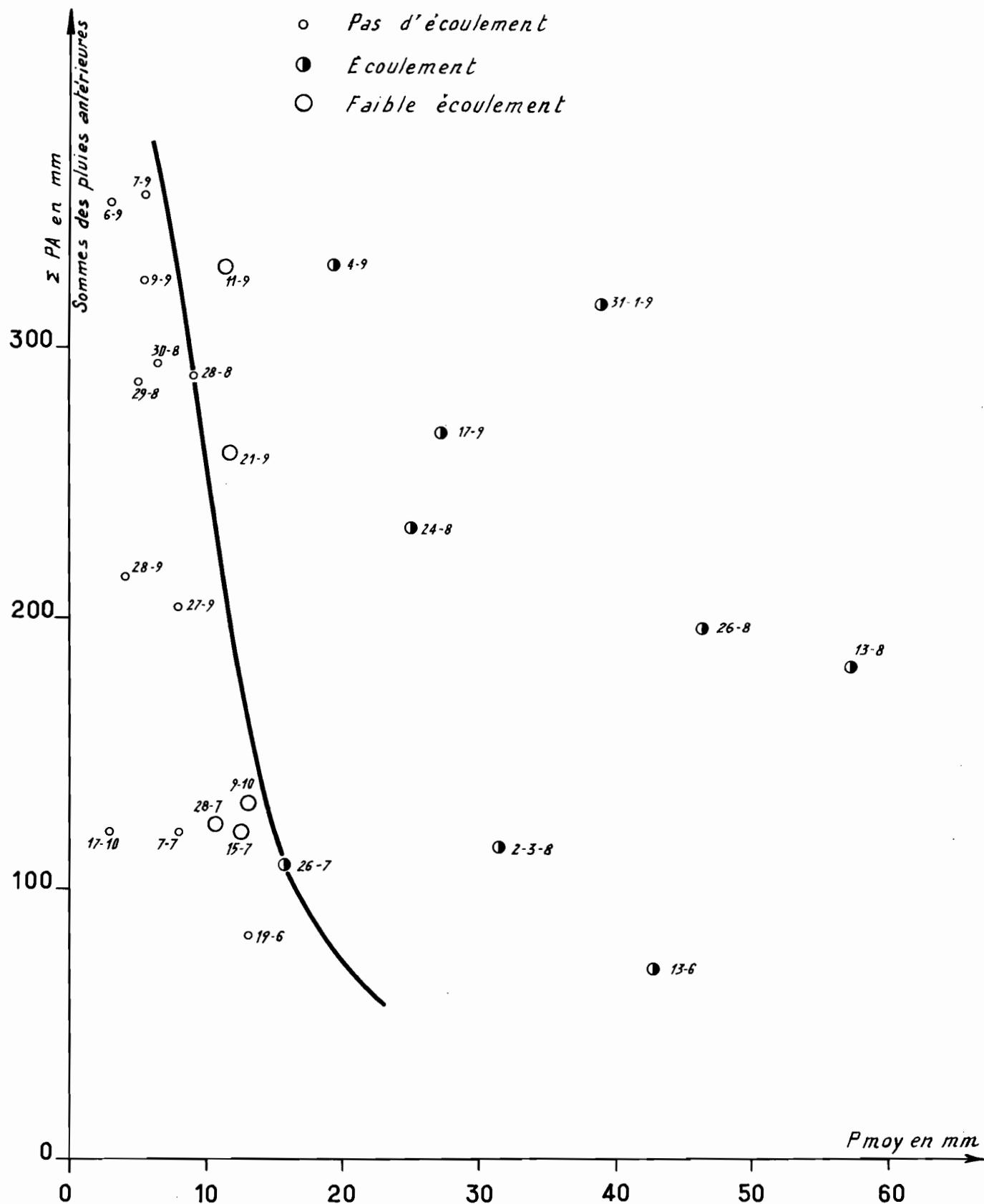
Par la seconde méthode, on voit que cette précipitation limite d'écoulement de 6 mm à 10 mm ne donnera un ruissellement que s'il est déjà tombé, en moyenne, sur le bassin 350 mm ; la précipitation limite passe à environ 12 mm pour une hauteur de précipitation antérieure égale à 100 mm, ce qui montre que l'ensemble du bassin est nettement plus perméable que ceux du MORO-NABA et de ZAGTOULI.

L'examen du tableau met en évidence des coefficients de ruissellement généralement compris entre 20 et 35 % pour de fortes averses avec d'assez bonnes conditions de saturation.

L'averse n° 5, malgré des conditions de saturation générale médiocre a une forme de hyéogramme exceptionnellement favorable et le coefficient de ruissellement obtenu, 55 %, est tout à fait exceptionnel. Il ne serait pas raisonnable de prendre un coefficient de cet ordre pour l'averse décennale. L'averse n° 10, au contraire, a un hyéogramme particulièrement défavorable avec une interruption de quelques heures en plein après-midi, ce qui explique un coefficient de ruissellement anormalement faible : 20 %.

Bassin Versant de OUAGADOUGOU I

PRÉCIPITATION LIMITÉE D'ÉCOULEMENT



Caractéristiques des crues
BASSIN VERSANT de OUAGADOUGOU I
 $(S = 285 \text{ km}^2)$

	N°	Date	P_M	P	K	V_R	H_R	K_R	I_H	t_m	t_p	T_b	Q_M	Q_M/H_R		
	1	13/6	57,7	42,7	0,74	381,0	1,36	3,2	6,0	6	5 1/2	3 1/2	6,4	4,7	22,4	
	2	26/7	20,0	15,6	0,78	361,8	1,27	8,1	11,7	4	3	3	13,3	10,0	46	R.P.
	3	1/8	15,5	7,1	0,45	172,8	0,6	8,5	15,8	3	3	3	11,5	19,1	40	R.P.
	4	23/8	43,5	31,3	0,71	293,0	1,02	3,3	14,1	(2 1/2)	6 1/2	3	9,2	9,0	32	C.
1962	5	13/8	67,5	57,2	0,84	9018	31,6	55,0	16,9	8	5	4	96,0	3,04	337	p.U.
	6	26/8	58,0	46,2	0,79	1962	6,9	14,9	30,0	8 1/2	8	3 1/2	22,3	3,20	78	p.U.
	7	31/8 - 1/9	61,5	38,9	0,63	2311	8,1	20,8	51,6	25	12	4	22,0	2,70	77	C.
	8	4/9	27,5	19,7	0,71	1980	6,9	35,0	64,5	12	9	4	19,4	2,80	68	
	9	17/9	39,0	27,1	0,69	1162	4,05	15,2	20,7	19	18	4	8,6	2,10	30	C.
	10	2/9	145,5	100	0,69	5700	20	20	24	6	12	3	112	5,2	370	C.
	11	11/9	82,5	75	0,91	5300	18,5	25	27	13	12	4	80	4,3	280	

R.P. : Ruissellement partiel

C : Crue complexe

P.U : Pratiquement unitaire

4.3.5 - Recherche d'un hydrogramme-type :

Nous avons vu que les temps de montée des crues étaient fort variables et il ne nous est pas possible de déterminer correctement la position du point d'impact de la pluie sur un bassin de 285 km^2 avec quatre postes pluviométriques. En outre, la méthode de l'hydrogramme unitaire n'est rigoureusement valable que lorsque l'averse est uniforme et ne s'applique pas au cas d'un bassin possédant un coefficient de stockage important avec un réseau hydrographique comportant de nombreuses plaines d'inondation.

Nous avons donc cherché une méthode qui relierait d'une manière logique la forme de l'hydrogramme à la forme du bassin versant.

La méthode de CLARKE répond à cet impératif en rendant possible la construction d'un hydrogramme possédant un temps de base quelconque à partir de l'enregistrement de quelques crues caractéristiques du bassin, sans rien connaître de la distribution de l'averse produisant la crue étudiée, excepté l'heure de la fin de l'averse.

4.3.5.1 - Fondements de la méthode de CLARKE :

Cette méthode s'attache en premier lieu à définir le temps de cheminement d'une impulsions rectangulaire provenant de la partie la plus éloignée du bassin, sans tenir compte de l'effet de stockage.

Ce temps de cheminement est égal au temps qui sépare l'instant de la fin de l'averse qui produit la crue de l'instant où apparaît sur l'hydrogramme un point d'infexion que nous considérerons comme marquant l'arrivée à la station de l'impulsion rectangulaire provenant du point le plus éloigné du bassin. Il s'agit là d'une simple hypothèse de travail que seuls justifient les résultats obtenus lors de la reconstitution d'un hydrogramme à partir d'un hyéogramme. On supposera en outre, comme hypothèse simplificatrice, que ce temps est proportionnel à la distance le long du cours d'eau à partir de la station ; il est alors possible de tracer sur une carte du bassin des courbes isochrones d'écoulement.

La surface comprise entre deux de ces courbes, multipliée par la hauteur de pluie nette tombant sur cette surface, donne la fraction du débit à laquelle on attribuera un temps d'acheminement égal à la moyenne des temps d'isochronisme des deux courbes délimitant cette surface.

De ce fait, une courbe surface-temps, avec un temps de base égal au temps de cheminement maximal, est équivalente à un hydrogramme instantané du bassin qui ne tiendrait pas compte de l'effet de stockage. Il faut souligner que ce sont là des temps fictifs non observables et introduits comme moyens intermédiaires de calcul.

Le point d'inflexion limitant la concentration fictive du ruissellement ne peut être déterminé qu'approximativement, cette approximation étant généralement suffisante dans la pratique.

Le débit qui correspond à la partie de la courbe de décrue située à la droite du point d'inflexion provient de l'effet de stockage dans le réseau augmenté du ruissellement hypodermique et du débit de base. En second lieu, on introduit l'effet de stockage dans le réseau, qui produit une modulation de l'impulsion rectangulaire initiale. Cet effet est appliqué à chacune des fractions de débits correspondant aux différentes surfaces délimitées par les lignes isochrones, ce qui permet finalement d'aboutir à un hydrogramme instantané du bassin considéré, hydrogramme qui, cette fois, tient compte du stockage.

Pour un point quelconque de l'hydrogramme, à partir du moment où l'apport d'eau de ruissellement dans le réseau hydrographique a cessé, c'est-à-dire pour tout point situé à la droite du point d'inflexion, on peut écrire S la quantité d'eau stockée dans le bassin :

$$\frac{dS}{dt} = -Q \quad (1)$$

S en m^3 Q en m^3/s

Dans le cas où l'on peut appliquer la théorie de l'hydrogramme unitaire, on a approximativement $S = KQ$, donc $dS = K dQ$.

Si l'on remplace dS par $K dQ$ dans l'équation (1), on obtient

$$\frac{K dQ}{dt} = -Q$$

$$\text{d'où } K = \frac{-Q}{\frac{dQ}{dt}} .$$

Si dQ/dt est exprimé en m^3/s par heure, K sera donné en heures et sera positif quand dQ/dt est négatif.

L'effet de stockage est donc introduit par un coefficient dimensionnel exprimé en heures correspondant, aux signes près, au rapport du débit au point d'infexion de l'hydrogramme enregistré à la pente à ce même point.

Pour déterminer K , il faut analyser plusieurs hydrogrammes et faire la moyenne des valeurs obtenues.

4.3.5.2 - Construction de l'hydrogramme instantané :

La construction de notre hydrogramme est basée sur la méthode dite de MUSKINGUM décrite par MAC CARTHY.

Durant un intervalle de temps T , le bilan dans un bief considéré peut s'écrire, d'après MAC CARTHY :

$$Q_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 Q_1 \quad (\text{équation de base})$$

Q désigne les débits à la sortie du bief,

Q_2 débit à la fin de l'intervalle de temps, débit cherché

Q_1 débit au début de l'intervalle de temps, débit connu

I_1 et I_2 sont les apports dans le biefs, connus au début et à la fin de l'intervalle de temps T , que l'on se donne égal à 1 heure par exemple.

C_0 , C_1 et C_2 sont des constantes qui, d'après MAC CARTHY, peuvent être calculées pour un effet de stockage donné par les équations suivantes :

$$C_0 = C_1 = - \frac{0,5 T}{K + 0,5 T}$$

$$C_2 = \frac{K - 0,5 T}{K + 0,5 T}$$

I_1 et I_2 sont les ordonnées de la courbe surface-temps multipliées par la pluie nette, et si cette dernière est présentée sous la forme d'une courbe en paliers, on a $I_1 = I_2$ et l'équation de base s'écrit :

$$Q_2 = I \frac{T}{K + 0,5 T} + Q_1 \frac{K - 0,5 T}{K + 0,5 T}$$

Il faut donc, pour construire l'hydrogramme instantané du bassin :

- 1 - Déterminer T_B qui est le temps en heures séparant la fin de la pluie du point d'inflexion.
- 2 - Déterminer K , rapport entre volume de stockage et débit correspondant, estimé par $\frac{V/dQ}{dt}$ pris au point d'inflexion de la courbe de récession.
- 3 - Construire la courbe surface-temps et pour cela diviser le cours principal en T_B parties égales et porter le long de chaque tributaire autant de fois qu'il est possible la longueur de base ainsi trouvée.

On joint ensuite les points obtenus par des courbes isochrones, puis par planimétrage on détermine la surface comprise entre deux courbes. On peut ensuite tracer la courbe surface-temps.

4 - Calculer $C_0 = C_1$ et C_2 en fonction de K et T

5 - On dresse ensuite un tableau comportant six colonnes

- 1 - Heure
- 2 - Surface planimétrée, c'est l'ordonnée de la courbe surface-temps en km^2
- 3 - Surface en km^2 multipliée par C_1
- 4 - Produit du résultat de la 5ème colonne par C_2 pour l'intervalle de temps précédent.
- 5 - Somme des colonnes 3 et 4.
- 6 - Produit de la colonne 5 par le débit spécifique en m^3/s correspondant à une pluie excédentaire de $x \text{ mm}$ en T heures sur 1 km^2 . Les chiffres de la colonne 6 sont les ordonnées de l'hydrogramme instantané.

Remarque : Pour obtenir les résultats de la colonne 4, il faut prendre le résultat inscrit dans la colonne 5 pour la 2ème heure par exemple le multiplier par C_2 et l'inscrire dans la colonne 4 mais à la 3ème heure.

Nous pouvons maintenant, à partir de cet hydrogramme instantané, construire un hydrogramme correspondant à un intervalle de temps T quelconque, c'est-à-dire à une pluie de durée T quelconque, par exemple 4 heures. Il suffit pour cela de diviser l'hydrogramme instantané en période de 4 heures et de prendre l'ordonnée moyenne de chaque période que l'on affecte à l'instant terminant chaque période de 4 heures. Nous obtenons ainsi les ordonnées de notre hydrogramme à la 4ème, 8ème, 12ème etc.. heure.

BASSIN VERSANT de OUAGADOUGOU I

Hydrogramme instantané calculé par la méthode
de CLARKE

1	2	3	4	5	6
Heure	S km ²	(2) x 0,134	(5) x 0,866	(3) + (4)	(5) x 0,278 m ³ /s
0	0	0	0	0	0
1	3,2	0,428	0	0,428	0,11
2	12,8	1,715	0,370	2,085	0,58
3	24,0	3,216	1,805	5,021	1,40
4	28,8	3,859	4,348	8,207	2,30
5	30,4	4,073	7,107	11,180	3,10
6	33,6	4,502	9,681	14,183	3,94
7	44,8	6,003	12,282	18,285	5,10
8	44,8	6,003	15,834	21,837	6,10
9	36,8	4,931	18,910	23,841	6,62
10	28,8	3,859	20,646	24,505	6,81
14					3,82
18					2,15
24					0,90
30					0,38
36					0,15
42					0,06
48					0,02

4.3.5.3 - Application au bassin versant de OUAGADOUGOU I :

A partir de quatre crues caractéristiques, nous obtenons les valeurs de C et de K suivantes :

Crue	T _b	K _h
2/9/1961	12	6,4
11/9/1961	9	8
13/8/1962	9	6,2
26/8/1962	9	9
Moyenne	10	7

Les valeurs de C₀ = C₁ et de C₂ sont les suivantes :

$$C_0 = C_1 = \frac{1}{7,5} = 0,134$$

$$C_2 = \frac{6,5}{7,5} = \frac{0,866}{1,000} \text{ (vérification)}$$

Le tableau ci-après montre un exemple de calcul, en prenant comme pluie excédentaire 1 mm/h soit 1 mm/h.km² = 0,278 m³/s.

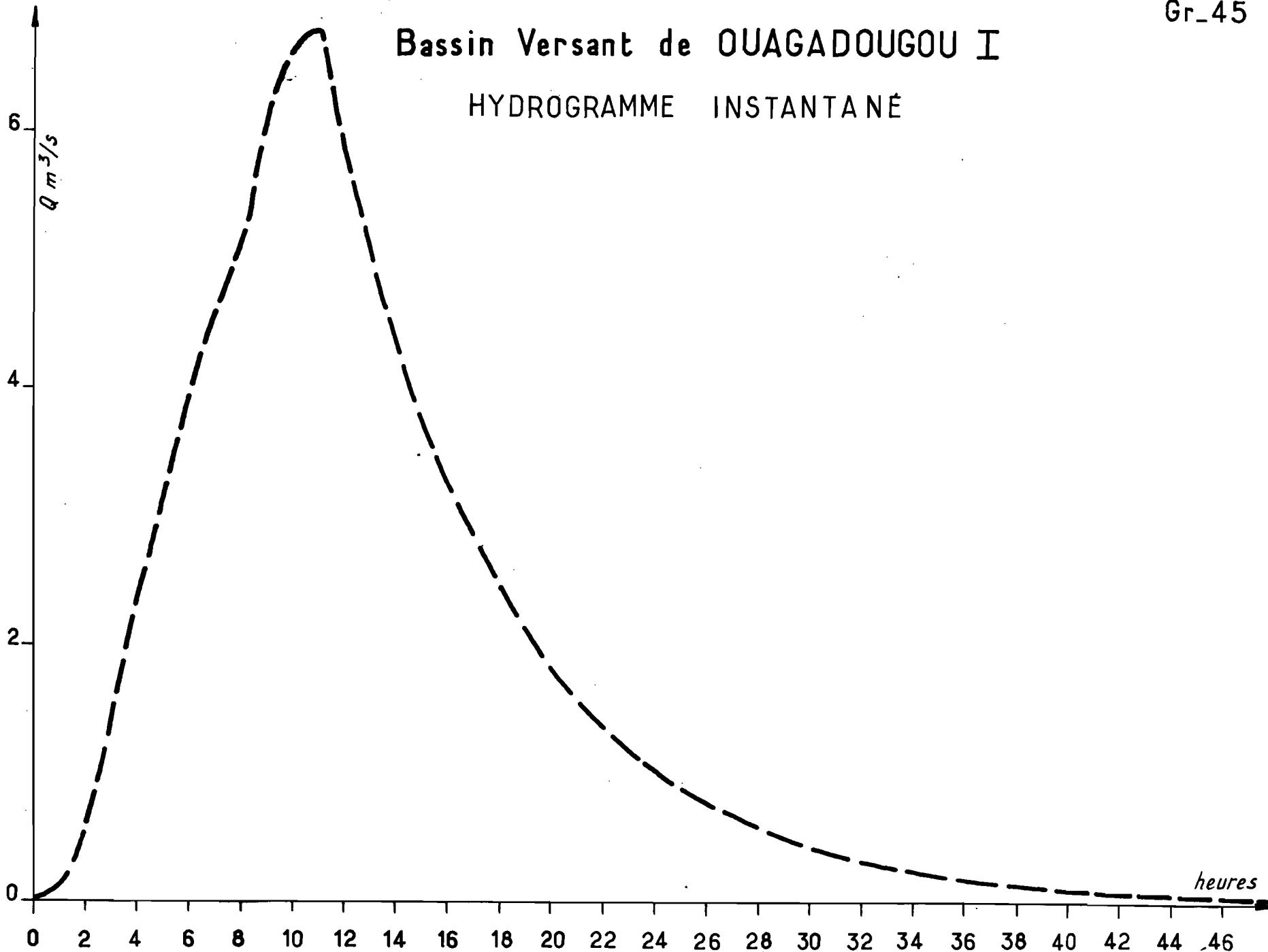
Il faut remarquer qu'au-delà de la 10^è heure, on obtient les résultats inscrits dans la colonne 6 en multipliant chaque valeur inscrite à la ligne précédente par 0,866 si on veut avoir l'ordonnée de l'heure suivante ou par (0,866)⁶ si l'on veut par exemple avoir l'ordonnée de l'hydrogramme six heures plus tard.

A partir des résultats obtenus, nous avons construit l'hydrogramme instantané du bassin versant de OUAGADOUGOU (graphique 45).

Gr_45

Bassin Versant de OUAGADOUGOU I

HYDROGRAMME INSTANTANÉ



CO 32 30 29

Ac

DATE:

DESSINE:

VOL-61.157

A titre de vérification, nous avons recalculé les débits de pointe des crues du 2 et du 11 Septembre 1961.

La crue du 2 était une crue complexe produite par une averse de 3 heures, suivie 5 heures plus tard d'une nouvelle pluie de 7 heures. Les hydrogrammes résultant de ces averses ont été composées et nous donnent un débit maximal de $116 \text{ m}^3/\text{s}$ contre $112 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un écart de $3,6\%$ en plus sur la crue réellement observée.

Pour la crue du 11 Septembre consécutive à une averse de 5 heures, on obtient un temps de montée de 13 heures équivalent au temps de montée réel et un Q_M de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ contre $80 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un écart de 20% en plus.

Il semble donc que cette méthode puisse conduire à des résultats valables et nous l'avons appliquée à l'estimation des crues médianes et décennales.

4.3.6 - Estimation des crues médianes et décennales

Sur 11 crues observées en 1961 et 1962, six ont un coefficient de réduction égal ou supérieur à 70% ; en conséquence, nous prendrons comme base $K = 70\%$.

Crue médiane :

En prenant $62,5 \text{ mm}$ comme valeur de pluie ponctuelle médiane, nous obtenons $62,5 \times 0,70 = 43,7 \text{ mm}$ comme pluie moyenne.

En estimant I_H à 40, on peut choisir $K_R = 20\%$. L'averse n° 5 correspond à une forme de hyéogramme exceptionnellement favorable.

Si nous prenons le cas d'une pluie de mousson étalée sur 6 heures et si nous appliquons la méthode de CLARKE, on constate que le débit de pointe relatif à une pluie excédentaire de 1 mm par km^2 et par heure est de $5,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Soit :

$$Q_M = 43,7 \times 0,20 \times 5,8$$

$$Q_M = 50,7 \text{ m}^3/\text{s} \quad q = 180 \text{ l/s.km}^2$$

On retiendra pour la crue médiane $51 \text{ m}^3/\text{s}$ ($q = 180 \text{ l/s.km}^2$).

Crue décennale :

Nous conserverons le coefficient de réduction $K = 70 \%$, ce qui nous donne une pluie moyenne $P = 112,5 \times 0,70 = 78,5 \text{ mm}$.

Le coefficient de ruissellement sera pris égal à 30 %, correspondant peut-être à une valeur de I_H de l'ordre de 50, ce qui est probablement pessimiste.

$$Q_M = 78,5 \times 0,3 \times 5,8$$

$$Q_M = 136 \text{ m}^3/\text{s} \quad q = 480 \text{ l/s.km}^2$$

La crue du 2 Septembre 1961 avait donné pour une pluie moyenne de 100 mm, donc plus que décennale, un maximum Q_M de $112 \text{ m}^3/\text{s}$, mais il ne faut pas oublier que les conditions de saturation étaient déficitaires $I_H = 24$.

On retiendra, pour la crue décennale, $140 \text{ m}^3/\text{s}$ ($q = 490 \text{ l/s.km}^2$).

4.3.7 - Bilan de surface :

L'écoulement permanent s'établit à partir du 13 Août et se poursuit jusqu'à la fin Octobre.

Les débits moyens mensuels entrant dans la retenue et calculés à partir des hydrogrammes sont, pour les mois de Juin à Octobre :

:	Mois	:	J	:	J	:	A	:	S	:	O	:
:		:		:		:		:		:		:
:	Débit en m^3/s	:	0,26	:	0,21	:	6,2	:	3,7	:	0,5	:
:		:		:		:		:		:		:

Le module est donc de $0,91 \text{ m}^3/\text{s}$ pour 1962.

Hauteur de la lame d'eau équivalente $H_e = 101 \text{ mm}$.

Le déficit d'écoulement $D_e = P - H_e$, sera donc, en prenant comme pluviométrie moyenne 850 mm :

$$D_e = 749 \text{ mm}$$

Le coefficient d'écoulement est de 11,9 %.

Le tableau suivant donne les apports déversés par mois et le total des apports naturels égal au volume des apports déversés augmentés du volume de la retenue à sa cote de déversement.

Mois	J	J	A	S	O	Volume total
Apports déversés	674	562	16 606	9 771	1 339	28 952
10^3 m^3						
Apports naturels						29 697
10^3 m^3						

Rappelons qu'en 1961 on avait obtenu les résultats suivants :

Module : $0,53 \text{ m}^3/\text{s}$ - Apports naturels : $16 965 \cdot 10^3 \text{ m}^3$

Lame d'eau équivalente : $H_e = 60 \text{ mm}$.

Déficit d'écoulement : $D_e = P - H_e$

$$D_e = 755 \text{ mm}$$

Coefficient d'écoulement : 7,4 %.

La valeur moyenne brute du module calculée sur deux années est de $0,72 \text{ m}^3/\text{s}$.

BASSIN VERSANT de OUAGADOUGOU III

$$(S = 350 \text{ km}^2)$$

En 1962, on a surélevé les digues de OUAGADOUGOU II et de OUAGADOUGOU III.

La cote de déversement de OUAGADOUGOU II est maintenant de 2,63 m (comptée par rapport à l'échelle de OUAGADOUGOU III).

La nouvelle cote de déversement de OUAGADOUGOU III est de 3,065 m (ancienne cote 2,26).

On a tracé la courbe de remplissage de la retenue OUAGADOUGOU II + III valable à partir de la cote 2,63 m (soit 282,7 nivelllement général) (graphique 46).

4.4.1 - Etalonnage du déversoir de OUAGADOUGOU III -

Deux jaugeages effectués en 1962 dans des conditions assez défavorables (jaugeages en crête du déversoir) donnent les résultats suivants :

$$\begin{array}{lll} 11/8/1962 & H = 3,165 & Q = 6,7 \text{ m}^3/\text{s} \\ 13/8/1962 & H = 3,3025 & Q = 26,3 \text{ m}^3/\text{s} \end{array}$$

En l'absence de jaugeages supplémentaires, nous sommes obligés d'adopter une formule qui, en tenant compte de la régularité et du type du déversoir, conduise à une précision acceptable.

$$Q = 1 \times 4,43 \times l_m \times H^{3/2}$$

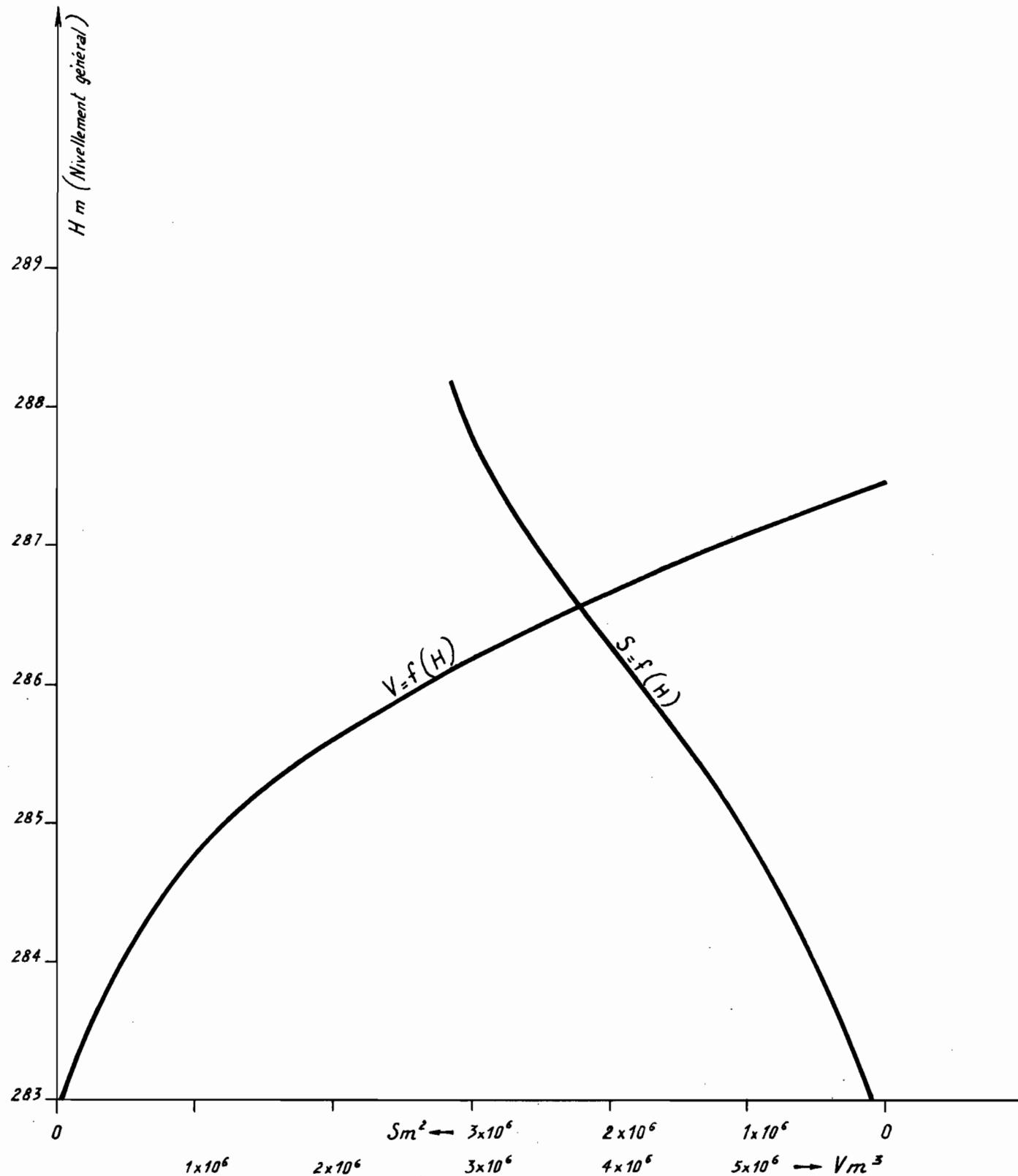
$$k = H - 3,065 \text{ m}$$

$$l_m = 108 \text{ m}$$

La courbe d'étalement a été tracée à partir de cette formule et des deux jaugeages (graphique 47).

Retenues de OUAGADOUGOU II+III

COURBES DE REMPLISSAGE



Déversoir de OUAGADOUGOU III
COURBE D'ÉTALONNAGE

Gr : 47

$Q \text{ m}^3/\text{s}$

80

60

40

20

0

$Q = f(H)$

● Valeur calculée

○ Jaugeage

$H \text{ en cm}$

310

320

330

340

350

360

370

4.4.2 - Etude des crues :

La reconstitution des crues naturelles de OUAGADOUGOU III étant pratiquement impossible vu la multiplicité des phénomènes entrant en jeu, nous nous contenterons, pour cette station, de calculer les apports déversés, apports directement récupérables.

L'étude des crues observées en 1962 à OUAGADOUGOU III ne nous donne guère de résultats intéressants. En effet, le plus fort débit observé en 1962 est de $31,9 \text{ m}^3/\text{s}$ le 26 Août, entre $60 \text{ m}^3/\text{s}$ le 2 Septembre 1961 et $50 \text{ m}^3/\text{s}$ le 11 Septembre de la même année.

4.4.3 - Bilan de surface :

Le volume total déversé en 1962 est de $27\ 540\ 000$ mètres cubes se répartissant sur 3 mois, comme le montre le tableau suivant.

Le déversement s'établit le 4 Août et se poursuit sans interruption jusqu'au 16 Octobre.

Mois	A	S	O	Volume total
Apports déversés	11 124	14 523	1 892	27 539
en 10^3 m^3				

Ce volume déversé correspond à une lame d'eau $He = 79 \text{ mm}$.

Le rapport de cette lame d'eau déversée à la hauteur pluviométrique moyenne sur le bassin de OUAGADOUGOU III est :

$$\frac{He}{P} = 8,3 \%$$

Ce rapport était de 4,9 % en 1961 avec un volume total observé de $14\ 000\ 000$ de m^3 .

Cette variation de près de 50 % des débits déversés pour une augmentation de la pluviométrie moyenne égale à 140 mm s'explique par la répartition temporelle des pluies, en 1962, plus favorable qu'en 1961.

Alors qu'en 1961 l'état de saturation était assez faible, nous obtenons en 1962 de fortes valeurs grâce à l'excédent du mois d'Août, dont la pluviométrie atteint presque la fréquence décennale, suivi par un mois de Septembre excédentaire.

En année décennale sèche, on peut conserver la valeur du rapport de 1961 : 2 millions de m³. En année décennale humide, l'exemple de l'année 1962 montre que l'on peut porter le volume déversé à 15 - 20 millions de m³.

Pour les déversements en année moyenne, il est délicat de présenter une estimation.

Le tableau ci-dessous reprend les valeurs observées depuis 1956 :

Année	Volume déversé m ³	Pluviométrie (mm)	
		OUAGADOUGOU Ville	OUAGADOUGOU Aéro
1956	11 700 000	1 102	924
1957	3 450 000	994	951
1958	2 550 000	767	763
1959	8 900 000	991	874
1960	(12 875 000)	803	867
1961	14 000 000	702	796
1962	27 539 000	1 112	1 168

L'irrégularité interannuelle élevée ne facilite pas l'estimation. Notons que l'année 1961, avec ses précipitations très groupées, donne certainement lieu à un volume excédentaire malgré un total pluviométrique légèrement déficitaire. Il semble que la valeur médiane serait de l'ordre de 10 millions de m³. Par prudence, nous conseillons de tabler sur 8 millions de m³. La grande dispersion des valeurs obtenues ne permet pas en effet de se baser de façon certaine sur une médiane calculée à partir de 7 années seulement.

En année décennale sèche, on peut conserver la valeur du rapport 1961 : 2 millions de m³.

En année décennale humide, l'exemple de l'année 1962 montre que l'on peut porter le volume déversé à 15 - 20 millions de m³.

BASSIN VERSANT de LOUMBILA (PK 20)

$$(S = 2120 \text{ km}^2)$$

4.5.1 ~ Etalonnage du déversoir (Graphique 48) :

La courbe d'étalonnage du déversoir de LOUMBILA a été extrapolée graphiquement à partir de huit jaugeages, dont la liste est donnée ci-dessous :

H	cm	Q	m^3/s	H	cm	Q	m^3/s
207,5	0,157	220	8,0				
210	0,895	230,5	19,35				
215,5	3,97	232,5	23,7				
219,5	6,55	265,5	79,0				

Il est pratiquement impossible d'effectuer des jaugeages à partir de la chaussée déversante au-dessus de la cote 270,0 cm. La vitesse du courant devient trop forte au-dessus de cette cote.

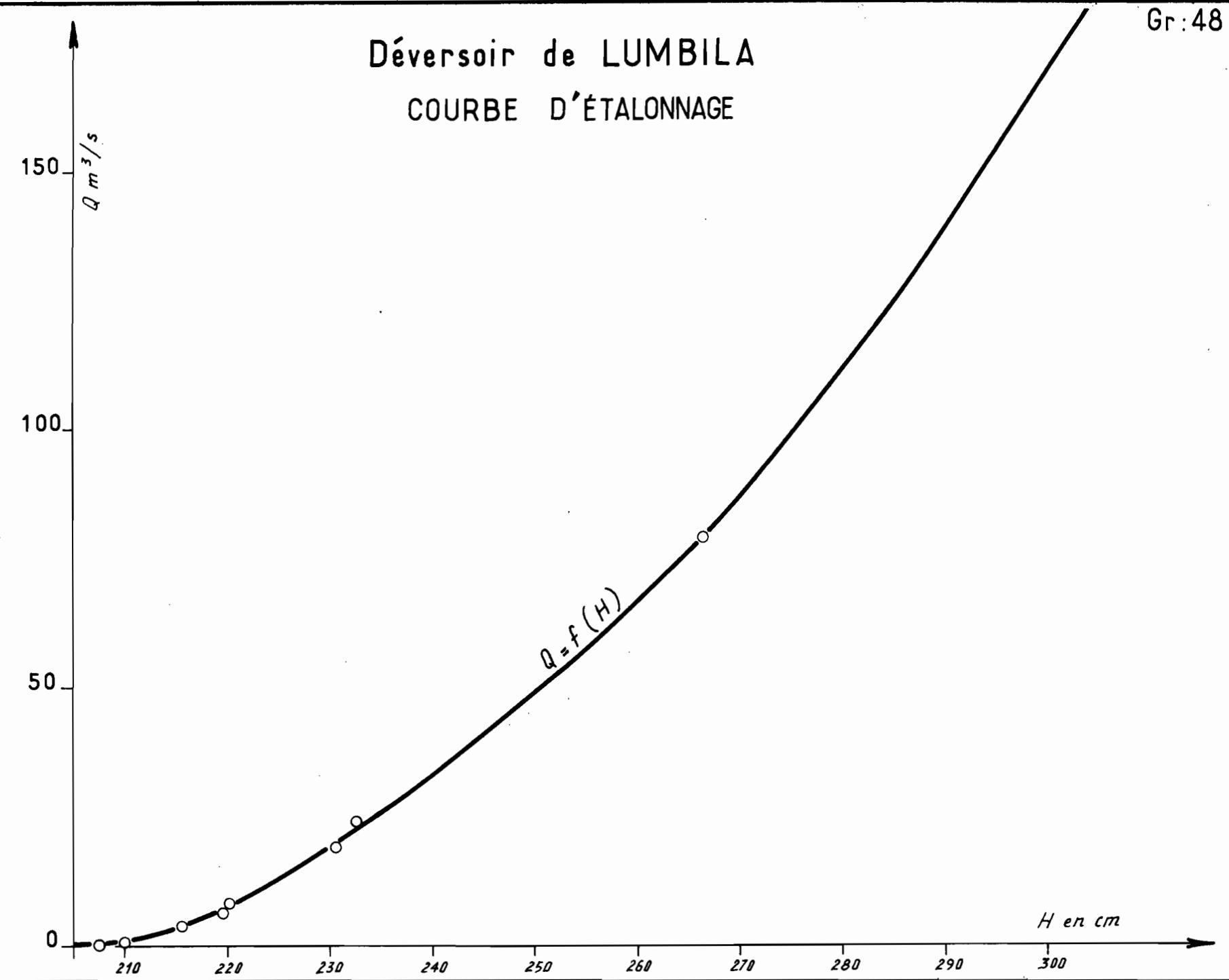
4.5.2 - Débits journaliers - Débits moyens mensuels :

Les débits journaliers calculés à partir des limnigraphes sont rassemblés dans le tableau ci-contre (en m^3/s).

Les débits moyens mensuels exprimés en m^3/s ainsi que les apports mensuels dans la retenue, calculés à partir des débits journaliers, se trouvent dans le tableau suivant :

	J	J	A	S	O
m^3/s	1,3	0,3	5,2	10,0	0,5
Volume en 10^3 m^3	3 369	803	13 927	25 920	1 392

CO 25 24 | A. DATE : DESSINÉ : VOL - 61.160



Jours	J	J	A	S	O
1	0,2	0	0,2	18,3	1,8
2	0,4	0	0,4	24,3	1,9
3	0,2	0	3,6	28,1	1,7
4	1,3	0	1,7	31,9	1,6
5	1,6	0	1,1	26,3	1,6
6	0,6	0	0,9	22,0	1,6
7	0	0	0,9	14,2	1,0
8	0	0	1,0	12,6	0,9
9	0	0	1,1	12,4	0,9
10	0	0	2,8	11,0	0,9
11	0	0	4,4	8,1	0,8
12	0	0	3,2	7,2	0,5
13	15,9	0	7,3	6,5	0,4
14	11,1	1,2	3,1	5,5	0,3
15	2,4	2,3	6,0	5,2	0,2
16	0,4	0,3	7,7	3,9	0,1
17	0,6	1,4	8,0	8,3	0
18	0	0,9	5,8	9,8	
19	0	0,9	5,0	8,4	
20	0,8	0,9	5,4	5,9	
21	2,1	0,9	4,8	7,6	
22	1,5	0,8	6,5	5,6	
23	2,2	0,2	5,3	4,0	
24	0,1	0	5,0	3,6	
25	0,1	0,1	6,0	1,9	
26	0,1	0	8,4	1,6	
27	0,1	0	17,4	1,6	
28	0,1	0,6	11,9	1,6	
29	0	0,3	8,2	2,1	
30	0	0,2	8,1	2,1	0
31		0,2	12,6		

4.5.3 - Description des averses et des crues :

Notre étude pour l'année 1962 porte sur 7 couples averse-crue. Pour chaque averse, nous avons tracé les isohyètes en nous appuyant sur les 23 postes pluviométriques du bassin.

Il n'est pas possible de fournir, pour ce bassin, une valeur repère quantitative de l'état d'humidité du sol avant chaque averse, cette valeur variant fortement d'une partie du bassin à l'autre et la notion d'état moyen d'humidité du sol, pour un bassin de plus de 2 000 km² de superficie, ne nous apporterait rien de valable. Aussi nous sommes-nous contentés d'indiquer, pour chaque averse, une valeur qualitative de l'état d'humidité du sol en étudiant particulièrement la région sur laquelle l'averse est centrée.

13 Juin - Averse n° 1

Centrée sur l'Est et le Sud-Est du bassin, c'est-à-dire sur les régions voisines de l'exutoire, cette averse décroît en intensité vers le Nord du bassin qui ne ruisselle pas.

$$P_M = 72,0 \text{ mm} \quad P = 30,0 \text{ mm}$$

Humidité du sol faible, la première pluie importante remontant à 8 jours.

La crue présente deux pointes, la première correspondant à la pluie tombant sur la retenue.

$$t_m = 15 \text{ heures} \quad Q_m = 22,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

13 Août - Averse n° 2

Elle est répartie sur l'ensemble du bassin, avec une dorsale pluviométrique sur le bassin de DONSE et la retenue du PK 20. Elle présente en outre un épicentre secondaire dans le Nord-Est du bassin et un creux pluviométrique couvrant le centre :

$$P_M = 70,0 \text{ mm} \quad P = 41,0 \text{ mm}$$

Le bassin de DONSE bénéficie de bonnes conditions d'humidité $I_H = 33,7$, alors que le reste du bassin n'a pas subi d'averses notables depuis 5 jours.

La crue enregistrée au PK 20 le 13 Août correspond en fait à une partie seulement de cette averse, celle qui est tombée sur la retenue et sur les bassins de DONSE, PABRE et KAMBOENSE : c'est ce qui explique le temps de montée de 4 heures 1/2 sans aucun rapport avec l'étendue de l'averse et la surface du bassin.

Le floc en provenance des parties plus éloignées du bassin se compose avec celui résultant de l'averse du 14 Août et donne la crue du 14 au 15 Août.

La crue n° 2 correspond donc à une faible partie du bassin ce qui explique un coefficient de ruissellement et un temps de montée anormalement faibles. Le débit de pointe atteint est $Q_M = 31,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

14 Août - Averse n° 3

L'averse est centrée sur le Nord-Ouest du bassin (partie la plus éloignée de l'exutoire) avec un maximum secondaire sur la région de la retenue.

$$P_M = 35,0 \text{ mm}$$

$$P = 12,5 \text{ mm}$$

Cette averse d'assez faible hauteur rencontre d'excellentes conditions de saturation. La crue consécutive à cette averse se superpose à la partie de la crue du 13 Août provenant de la moitié Nord du bassin ; on obtient donc un temps de montée supérieur à celui qui correspondrait à une averse simple répartie sur tout le bassin.

$$t_m = 37 \text{ heures}$$

$$Q_M = 10,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

La crue est complexe, présentant deux pointes dont la première correspond certainement à l'averse du 13 Août.

26 Août - Averse n° 4

La pluie est assez bien répartie sur le bassin avec un épicentre à la limite des bassins de KAMBOENSE et de OUAGADOUGOU I. Les régions situées au centre et au Nord sont peu arrosées, la bordure Nord ainsi que la région de l'exutoire bénéficie d'une pluviométrie moyenne de 30 mm.

$$P_M = 43,0 \text{ mm}$$

$$P = 28,0 \text{ mm}$$

Les conditions de saturation sont bonnes, sauf pour le centre où la pluie du 24 Août a été faible. C'est donc surtout la moitié Sud du bassin qui ruisselle, ce qui explique le temps de montée :

$$t_m = 23 \text{ heures} \quad Q_M = 19,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

1er Septembre - Averse n° 5

Elle est centrée sur la région de KAMBOENSE et de l'exutoire du bassin de LUMBILA, diminuant en intensité vers le Nord-Ouest.

$$P_M = 51,0 \text{ mm} \quad P = 25,0 \text{ mm}$$

Les conditions de saturation sont bonnes pour l'ensemble du bassin après les averses des 30-29-28 et 26 Août. Tout le bassin ruisselle :

$$t_m = 39 \text{ heures} \quad Q_M = 24,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

On observe à l'exutoire une série de quatre crues superposées : crue du 30 Août, crues des 1, 3 et 4 Septembre.

3 Septembre - Averse n° 6

Pluie faible sur l'ensemble du bassin avec un épicentre sur le Nord du bassin de DONSE et un sur KAMBOENSE.

$$P_M = 26,9 \text{ mm} \quad P = 14,0 \text{ mm}$$

Les conditions de saturation sont assez bonnes après l'averse du 1er Septembre, mais la hauteur de précipitations est trop faible par endroits, seule une partie du bassin ruisselle.

$$t_m = 16 \text{ heures} \quad Q_M = 31,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

A cette crue se superpose celle du 4 Septembre, correspondant à une averse de pluie moyenne faible, mais qui bénéficie de bonnes conditions d'humidité du sol. Cette crue du 4 atteint un Q_M de $34,0 \text{ m}^3/\text{s}$ et son coefficient de ruissellement est de 37,5 % avec un temps de base de 15 heures car le ruissellement est partiel. Malheureusement, la séparation de ces deux crues est assez délicate vu les temps de montée du bassin et il est probable que la crue du 4 Septembre est, comme la crue n° 3, une crue complexe qui résulte des averses du 3 et du 4 Septembre. Si l'on groupe ces deux crues, en admettant qu'elles proviennent d'une même averse avec un certain temps d'arrêt de la pluie, on obtient un coefficient de ruissellement de 17 %.

20 - 21 Septembre - Averse n° 7

Averse centrée sur la moitié Est du bassin avec un épicentre sur le Nord du bassin de DONSE.

La partie du bassin située à l'Ouest d'une ligne KAMBOENSE - TWEGEN ne ruisselle pratiquement pas, or, c'est la zone la mieux drainée.

$$P_M = 42,0 \text{ mm}$$

$$P = 22,5 \text{ mm}$$

Les conditions de saturation sont mauvaises sauf pour le bassin de DONSE où il y a eu deux pluies conséquentes 2 jours auparavant. Il en résulte un ruissellement partiel avec :

$$t_m = 11 \text{ heures}$$

$$Q_M = 8,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous rappelons les caractéristiques des deux averses et crues enregistrées et étudiées en 1961.

2 Septembre - Averse n° 8.

Averse centrée sur la partie Sud-Ouest du bassin et décroissant vers le Nord avec une pluviométrie moyenne de 60 mm sur le bassin de DONSE.

$$P_m = 128,0 \text{ mm}$$

$$P = 75,0 \text{ mm}$$

Les conditions de saturation du sol sont mauvaises mais l'averse étant double, la seconde partie rencontre de meilleures conditions de ruissellement que la première :

$$t_m = 36 \text{ heures}$$

$$Q_M = 200,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

11 Septembre - Averse n° 9

L'averse est centrée sur la partie Sud-Est du bassin, la pluie étant nulle sur la partie Nord :

$$P_M = 104,5 \text{ mm}$$

$$P = 55 \text{ mm}$$

Cette averse simple rencontre des conditions de saturation peu favorables car la seule averse conséquente remonte à 8 jours. Mais il faut noter que l'averse est centrée sur les parties du bassin proches de l'exutoire, ce qui explique, d'une part, le temps de montée de 17 heures, ce

qui est faible et, d'autre part, le fort coefficient de ruissellement ($K_R = 32 \%$). Si le maximum avait été centré sur le Nord du bassin, il est hautement probable que le volume arrivant à l'exutoire eût été plus faible et le K_R abaissé d'autant.

$$t_m = 17 \text{ heures} \quad Q_M = 125 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.5.4 - Caractéristiques des crues :

Le tableau ci-après rassemble les caractéristiques des crues observées en 1962 et 1961.

De l'examen de ce tableau, nous pouvons tirer les conclusions suivantes en nous appuyant sur les 4 crues qui correspondent à des averses couvrant tout le bassin, c'est-à-dire les crues n° 3, 4, 5 et 8.

Les temps de montée de ces crues varient entre 39 et 23 heures. Le temps de montée de 23 heures de la crue n° 4 correspond à un faible ruissellement de la partie Nord du bassin.

Le temps de montée de 39 heures de la crue n° 5 correspond à un ruissellement de tout le bassin et sans doute à des averses multiples, de même que le $t_m = 36$ heures de la crue du 2 Septembre 1961.

Les coefficients de ruissellement de ces crues varient entre 6,5 % et 32 %. Le coefficient de ruissellement de 6,5 %, qui correspond pourtant à de bonnes conditions de saturation, s'explique par le faible ruissellement de la partie Nord du bassin.

Le coefficient de 32 % de la crue n° 8 est certainement supérieur à la normale et correspond bien plus à la répartition spatiale de la pluie, centrée près de l'exutoire, qu'aux conditions de saturation peu favorables.

Le rapport Q_M/H_R de ces 4 crues varie de 7,7 pour la crue n° 3 à 11,2 pour la crue n° 5.

Nous pouvons donc estimer que la crue provoquée par une averse simple couvrant tout le bassin présenterait un temps de montée de l'ordre de 30 heures, avec un rapport Q_M/H_R que nous prendrons égal à 12,0. Le temps de base serait compris entre 8 et 10 jours.

CARACTERISTIQUES des CRUES

Bassin Versant de LUMBILA (PK 20) $S = 2120 \text{ km}^2$

		N°	Date	P_M	P	K	V_R	H_R	K_R	t_n	t_p	T_b	Q_M	Q_M/H_R	q_{\max}	
1962	1	13/6		72,0	30,0	0,42	1152	0,5	1,7	15			22,5	45,0	10,6	RP
	2	13/8		70,0	41,0	0,58	1476	0,7	1,7	4 1/2		5 1/2	31,0	44,1	14,6	RP
	3	14/8		35,0	12,5	0,35	2998	1,4	11,2	37		8 1/2	10,8	7,7	5,1	pU
	4	26/8		43,0	28,0	0,65	3798	1,8	6,5	23	21	7 1/2	19,2	10,6	9,1	RP
	5	1/9		51,0	25,0	0,49	4572	2,2	8,8	39	37	8	24,6	11,2	11,6	pU
	6	3/9		26,9	14,0	0,52	3384	1,6	11,4	16	9	8	31,0	19,4	14,6	C
	7	20-21/9		42,0	22,5	0,54	1116	0,5	2,2	11	5	5 1/2	8,7	17,0	4,1	RP
1961	8	2/9		128,0	75,0	0,59	40000	18,9	25,2	36	36	10	200,0	10,6	95,0	pU
	9	11/9		104,5	55,0	0,52	37500	17,7	32,0	17	14	11	125,0	7,1	59,0	RP

RP : Ruissellement partiel

C : Crue complète

pU:pratiquement unitaire

4.5.5 - Etude du coefficient de ruissellement

L'étude de la précipitation limite d'écoulement sur un bassin de 2 000 km² est dénuée d'intérêt, une précipitation moyenne très faible pouvant donner lieu à un ruissellement s'il existe des précipitations ponctuelles importantes près de l'exutoire.

Etant donné le faible nombre de crues dont nous possédons les données, et l'hétérogénéité des pluies, nous ne chercherons pas à établir de relations entre KR, P et l'humidité du sol. Nous nous bornerons, pour notre estimation des crues medianes et décennales, à prendre un coefficient de ruissellement en accord avec ceux observés pendant 2 ans, compte tenu du fait que, pendant cette période, de fortes crues ont pu être observées.

4.5.6 - Construction d'un hydrogramme-type

La méthode de l'hydrogramme unitaire n'étant raisonnablement plus applicable à un bassin d'une telle superficie et possédant d'autre part un fort coefficient de stockage, nous avons appliqué la méthode de CLARKE déjà décrite à propos du bassin versant de OUAGADOUGOU I.

En tenant compte de 5 averses et des crues qu'elles ont provoquées, on obtient :

TR = 38 heures (temps séparant la fin de l'averse du point d'inflexion)

K = 23 heures (rapport entre volume de stockage et débit correspondant)

A partir de la valeur de K et en prenant T = 1 heure, nous avons calculé les constantes C₀ = C₁ et C₂.

$$C_0 = C_1 = \frac{0,5 T}{K + 0,5 T} = 0,042$$

$$C_2 = \frac{K - 0,5 T}{K + 0,5 T} = 0,958$$

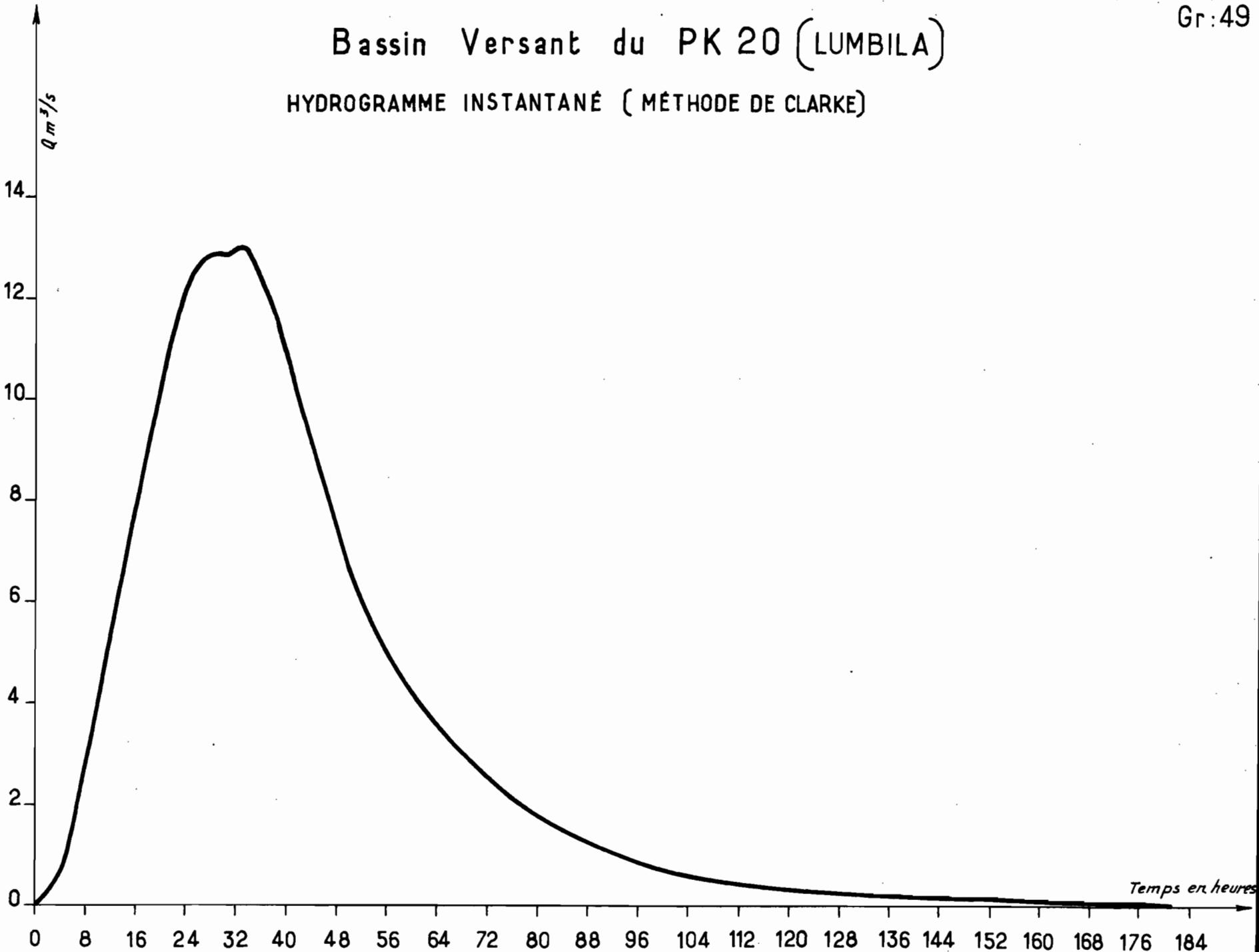
1,000 (vérification)

Nous construirons notre hydrogramme instantané pour une pluie excédentaire de 1 mm en 1 heure sur 1 km², soit Q = 0,278 m³/s (graphique 19).

Gr:49

CO 23-10 11 A0 DATE : DESSINÉ : VOL - 61.161

Bassin Versant du PK 20 (LUMBILA)
HYDROGRAMME INSTANTANÉ (MÉTHODE DE CLARKE)



Les valeurs obtenues sont rassemblées dans le tableau de la page suivante. A titre de vérification, nous avons calculé les débits de pointe de 4 crues observées en 1961 et 1962.

:	Date	:	Q _M réel	:	Q _M calculé	:	Ecart	:
:		:	m ³ /s	:	m ³ /s	:	%	:
:	2/9/1961	:	200,0	:	226	:	+ 13	:
:	11/9/1961	:	125,0	:	(212)	:	+ 69	:
:	26/8/1962	:	19,1	:	18,9	:	- 1	:
:	20-21/9/1962	:	8,7	:	8,4	:	- 2,9	:

L'erreur importante sur le débit maximal de la crue du 11/9/1961 tient au fait que cette crue correspond à une averse très hétérogène, la partie Nord du bassin n'ayant pas été touchée par l'averse.

4.5.7 - Estimation des crues médianes et décennales

Nous nous servirons, pour notre estimation des crues médianes et décennales, de l'hydrogramme instantané construit par la méthode de CLARKE.

Le débit de pointe correspondant à une pluie de mousson s'établant sur 6 heures et couvrant tout le bassin est $Q_M = 12,0 \text{ m}^3/\text{s}$ pour $HR = 1 \text{ mm}$. Le temps de montée d'une telle crue serait de 34 heures, son temps de base de 8 jours.

Pour l'estimation de la crue médiane, il nous faut tenir compte de la superficie du bassin. En effet, la simplification habituelle qui consiste à considérer la crue médiane comme résultant d'une averse de même fréquence n'est plus valable, car tous les ans on peut avoir, en un point quelconque du bassin, une précipitation ponctuelle de fréquence quinquennale ou décennale.

Il nous paraît donc préférable de prendre comme précipitation ponctuelle pour l'estimation de la crue médiane non pas 62,5 mm mais 80,0 mm (valeur adoptée pour BOULSA, bassin de 1 000 km² situé sur l'isohyète interannuelle 800 comme le PK 20).

Hydrogramme instantané (méthode de CLARKE)

Heure	S km ²	(2) x 0,042	(5) x 0,958	(3) + (4)	(5) x 0,278 m ³ /s
0	0	0	0	0	0
1	3,2	0,134	0	0,134	0,037
2	12,8	0,537	0,128	0,665	0,18
3	17,6	0,739	0,637	1,376	0,38
4	27,2	1,142	1,318	2,460	0,68
5	36,8	1,545	2,356	3,901	1,08
6	48,0	2,016	3,737	5,753	1,59
7	48,0	2,016	5,511	7,527	2,09
8	56,0	2,352	7,210	9,562	2,65
9	62,4	2,620	9,160	11,780	3,27
10	67,2	2,822	11,285	14,107	3,92
11	72,0	3,024	13,514	16,538	4,59
12	80,0	3,360	15,843	19,203	5,33
13	67,2	2,822	18,396	21,218	5,89
14	94,4	3,964	20,326	24,290	6,75
15	88,0	3,696	23,269	26,965	7,49
16	73,6	3,091	25,832	28,923	8,04
17	86,4	3,628	27,708	31,336	8,71
18	83,2	3,494	30,019	33,513	9,31
19	80,0	3,360	32,105	35,465	9,85
20	72,0	3,024	33,975	36,999	10,3
21	73,6	3,091	35,445	38,536	10,7
22	64,0	2,688	36,917	39,605	11,0
23	94,4	3,964	37,941	41,905	11,6
24	96,0	4,032	40,144	44,176	12,2
25	36,8	1,545	42,320	43,865	12,2
26	86,4	3,628	42,022	45,650	12,7
27	60,8	2,553	43,732	46,285	12,8
28	40,0	1,680	44,341	46,021	12,8
29	57,6	2,419	44,088	46,507	12,9
30	35,2	1,478	44,553	46,031	12,8
31	56,0	2,352	44,097	46,449	12,9
32	52,8	2,217	44,498	46,715	13,0

Hydrogramme instantané (méthode de CLARKE)

(Suite)

Heure	S km ²	(2) x 0,042	(5) x 0,958	(3) + (4)	(5) x 0,278 m ³ /s
33	40,0	1,680	44,752	46,432	12,9
34	40,0	1,680	44,481	46,161	12,8
35	32,0	1,344	44,222	45,566	12,6
36	24,0	1,008	43,652	44,660	12,4
37	24,0	1,008	42,784	43,792	12,2
38	16,0	0,672	41,952	42,624	11,8
39					11,3
40					10,8
41					10,3
42					9,8
48					7,3
54					5,6
60					4,3
66					3,3
72					2,5
78					1,9
84					1,4
90					1,08
96					0,83
102					0,64
108					0,49
114					0,37
120					0,28
126					0,21
132					0,16
138					0,12
144					0,09
150					0,07
156					0,05
162					0,04
168					0,03
180					0,01

En adoptant un coefficient de réduction de 0,5, nous obtenons une pluie moyenne $P = 80 \times 0,5 = 40 \text{ mm}$.

Nous estimons à 20 % le coefficient de ruissellement à prendre en considération pour la crue médiane se produisant dans d'assez bonnes conditions de saturation du sol.

$$H_R = 40 \times 0,2 = 8 \text{ mm}$$

$$Q_M = 12,0 \times 8$$

$$\underline{Q_M = 96 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Nous retiendrons pour la crue médiane $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ($q = 47 \text{ l/s.km}^2$).

Cette valeur peut sembler forte mais vu l'imprécision de l'estimation d'une crue annuelle sur un bassin de $2\ 000 \text{ km}^2$, il nous paraît raisonnable de la retenir comme une première approximation.

Crue décennale :

Le coefficient de réduction sera pris égal à 0,6, il en résulte une pluie moyenne :

$$P = 112,5 \times 0,6 = 67,5 \text{ mm}$$

En prenant par mesure de sécurité $K_R = 35 \%$, nous obtenons une hauteur ruisselée :

$$H_R = 67,5 \times 0,35 = 23,5 \text{ mm}$$

$$Q_M = 12,0 \times 23,5$$

$$\underline{Q_M = 282 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Nous retiendrons pour la crue décennale $280 \text{ m}^3/\text{s}$ $q = 130 \text{ l/s.km}^2$.

4.5.8 - Bilan de surface :

Les débits moyens mensuels en m^3/s , arrivant dans la retenue du mois de Juin au mois d'Octobre, sont les suivants :

:	J	:	J	:	A	:	S	:	O	:
:	1,3	:	0,3	:	5,2	:	10,0	:	0,5	:

Ils nous permettent de calculer le module pour 1962.

Module : 1,5 m³/s

Hauteur de la lame d'eau équivalente $H_e = 22,4$ mm

Déficit d'écoulement $D_e = P - H_e$

$$D_e = 800 - 22,4$$

$$D_e = 777 \text{ mm}$$

Le coefficient d'écoulement est de 2,8 %.

Le tableau suivant donne les apports déversés par mois et le total des apports naturels et des apports déversés :

Mois	J	J	A	S	O	Volume total
Apports déversés en 10 ³ m ³	43	803	13 927	25 920	1 392	42 085
Apports naturels en 10 ³ m ³	3 369	803	13 927	25 920	1 392	47 535

Rappelons qu'en 1961 nous avions obtenu les résultats suivants :

Pluviométrie moyenne : 770 mm

Module : 3,2 m³/s - Apports naturels : 101 322 000 m³

Hauteur de la lame d'eau équivalente : $H_e = 47,6$ mm

Déficit d'écoulement $D_e = 722$ mm.

Coefficient d'écoulement 6,1 %

La valeur moyenne brute du module calculée sur deux ans est 2,24 m³/s.

Il apparaît donc que malgré une pluviométrie légèrement supérieure en 1962 par rapport à l'année 1961 (30 mm), le volume des apports naturels de 1961 est supérieur au double de ceux de l'année 1962. (la pluviométrie de l'année 1962 est inférieure de 25 mm à la pluviométrie en année normale).

L'excédent de 1961 correspond aux deux très fortes crues des 2 et 11 Septembre, qui se produisent en fin de saison des pluies et dans un intervalle de temps relativement court, représentant à elles seules 77 500 103 m³. On vérifie que, pour ce régime et particulièrement sur de grands bassins, une même hauteur de précipitation annuelle peut conduire à des volumes annuels très différents. Il importe surtout de voir de très près le volume de chaque forte averse élémentaire et les conditions de saturation pour estimer le volume annuel.

BASSIN VERSANT de DONSE

($S = 175 \text{ km}^2$)

4.6.1 - Etalonnage du déversoir

Aucun jaugeage n'ayant pu être fait depuis la rédaction du premier rapport, nous conserverons la courbe d'étalonnage figurant dans le rapport 1961, courbe établie à partir de trois jaugeages de basses eaux et de la formule suivante :

$$Q = m x \sqrt{2g} (200 h^{3/2} + 59 x h^{5/2})$$

h = H - 5, 18

n compris entre 0,308 et 0,328

4.6.2 - Débits journaliers - Débits moyens mensuels

Les débits journaliers entrant dans la retenue de DONSE ont été calculés à partir des limnigrammes. Ces débits sont rassemblés dans le tableau ci-après.

Ces débits journaliers permettent de calculer les débits moyens mensuels en m³/s, ainsi que les volumes entrant dans la retenue des mois de Juin à Octobre.

	J	J	A	S	O
m^3/s	0,15	0,28	1,82	1,34	0,01
Volumes en 10^3 m^3	389	750	4 875	3 473	27

Débits moyens journaliers à DONSE

(m³/s)

Jours	J	J	A	S	O
1		0	1,26	2,46	0,14
2		0	1,38	7,30	0,12
3		0	1,92	3,60	0,09
4		0	1,07	1,30	0,07
5		0	0,15	1,10	0
6		0	0,11	1,45	
7		0	0,07	2,70	
8		0	0,23	5,10	
9		0	0,08	1,37	
10		0	0,15	0,38	
11		0,06	1,14	0,21	
12	0	0	7,10	0,27	
13	0	0,14	11,70	0,25	
14	0,19	0,20	4,30	0,05	
15	0,06	0,40	0,46	0,05	
16	0	0	0,31	0,04	
17	0	0	0,52	1,97	
18	0	0,21	0,97	1,60	
19	0,06	0	2,45	1,16	
20	0	0	1,70	0,56	
21	0,57	0	0,90	1,30	
22	3,10	0	0,47	3,90	
23	0,67	0	0,30	1,20	
24	0,03	0	1,27	0,47	
25	0	0	2,82	0,21	
26	0	5,10	7,00	0,19	
27	0	0,77	0,90	0,53	
28	0	0,37	1,38	0,40	
29	0	0,42	1,92	0,17	
30	0	0,23	1,88	0,11	
31		0,91	0,63		

4.6.3 - Description des averses et des crues

Notre étude porte sur 8 couples averse-crue pour l'année 1962, une averse dépassant la précipitation ponctuelle de fréquence médiane.

21 Juin - Averse n° 1

Nous ne possédons pas l'enregistrement de cette averse aux pluviographes. Les relevés des postes pluviométriques nous montrent cependant que l'averse est bien répartie sur l'ensemble du bassin et qu'il a plu sur la retenue.

$$P_M = 33,5 \text{ mm}$$

$$P = 30,0 \text{ mm}$$

La crue dont le début est mal enregistré présente les caractéristiques suivantes, deux pointes :

1ère pointe : $t_m = 6 \text{ h.30}$ $Q_M = 5,9 \text{ m}^3/\text{s}$

2ème pointe : se produisant 7 heures après la première avec :

$$Q_M = 5,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le temps de montée total de la crue est de 13 h.30.

25-26 Juillet - Averse n° 2

L'averse est homogène. Durée de la pluie utile : 25 minutes.

$$P_M = 37,5 \text{ mm} \quad P = 31,0 \text{ mm} \quad I_m = 114 \text{ mm/h}$$

L'épicentre de l'averse est centré sur YAOGEN et sur DONSE. La crue résultante présente deux pointes. Le temps de montée de la première pointe est imprécis car le limnigraphes s'est bloqué au début de la crue. Une seconde pointe se produit 6 heures après.

La première pointe avec : $Q_M = 8,5 \text{ m}^3/\text{s}$

La deuxième pointe avec : $Q_M = 12,0 \text{ m}^3/\text{s}$

13 Août - Averse n° 3

Nous ne possédons que le hyéogramme enregistré à YAOGEN. L'averse était centrée sur YAOGEN et diminuait en intensité vers le Nord du bassin qui ne ruisselle pas. Durée de la pluie utile : 35 minutes.

$$P_M = 66,0 \text{ mm}$$

$$P = 44,0 \text{ mm}$$

La crue présente deux pointes :

1ère pointe :

$$t_m = 2 \text{ h.30}$$

$$Q_M = 10,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

2ème pointe :

$$t_m = 9 \text{ h.30}$$

$$Q_M = 14,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

(maximum annuel correspondant à la plus forte précipitation ponctuelle de l'année).

24 Août - Averse n° 4.

Averse peu homogène, forte sur YAOGEN et le Nord du bassin avec un creux pluviométrique sur le centre. On note tout d'abord une forte précipitation pendant près d'une heure, un arrêt de 2 heures, puis reprise de la pluie. La durée de la pluie utile est de 70 minutes.

$$P_M = 47,8 \text{ mm} \quad P = 29,5 \text{ mm} \quad I_m = 47,5 \text{ mm/h}$$

La crue débute par une montée rapide, puis le débit reste sensiblement constant et augmente à nouveau pour atteindre :

$$Q_M = 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t_m = 21 \text{ heures}$$

25-26 Août - Averse n° 5

Le fonctionnement des pluviographes a été défectueux. La pluie moyenne est faible mais l'averse est bien répartie et bénéficie de bonnes conditions d'humidité du sol. Le maximum est centré sur la retenue même :

$$P_M = 35,3 \text{ mm}$$

$$t_m = 12 \text{ heures}$$

$$P = 12,5 \text{ mm}$$

$$Q_M = 9,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

28 Août - Averse n° 6

Le fonctionnement des pluviographes reste défectueux, mais la crue correspond à un ruissellement partiel :

$$P_M = 10,0 \text{ mm}$$

$$t_m = 9 \text{ heures}$$

$$P = 7,3 \text{ mm}$$

$$Q_M = 2,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

29 Août - Averse n° 7

Averse très homogène, centrée tout d'abord sur YAOGEN et se déplaçant ensuite vers le Nord. Elle présente trois parties : la première partie ne ruisselle pas, la seconde fait démarrer la crue et la troisième partie donne la part la plus importante du ruissellement.

Durée de la pluie utile : 50 minutes.

$$P_M = 22,0 \text{ mm}$$

$$t_m = 16 \text{ heures}$$

$$P = 20,0 \text{ mm}$$

$$I_m = 42 \text{ mm/h}$$

$$Q_M = 3,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

7 Septembre - Averse n° 8

Nous ne possédons que le hyérogramme de YAOGEN. Il est probable que la pluie a débuté dans le Nord du bassin.

Durée de la pluie utile à YAOGEN : 35 minutes

$$P_M = 25,5 \text{ mm}$$

$$t_m = 14 \text{ heures}$$

$$P = 16,0 \text{ mm}$$

$$Q_M = 7,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous rappelons les caractéristiques des crues et averses de 1961.

2 Septembre - Averse n° 9

Plusieurs averses inégalement réparties sur le bassin et échelonnées de 8 heures à 23 heures donnent une crue complexe :

$$P_M = 73,5 \text{ mm} \quad P = 60,0 \text{ mm}$$

1ère pointe :

$$t_m = 17 \text{ heures} \quad Q_M = 16,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

2ème pointe :

$$t_m = 28 \text{ heures} \quad Q_M = 16,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

11 Septembre - Averse n° 10

La pluie débute sur le centre et le Nord du bassin

$$P_M = 104,5 \text{ mm} \quad P = 75,0 \text{ mm}$$

La crue est double :

1ère pointe : $t_m = 6 \text{ heures}$ $Q_M = 65 \text{ m}^3/\text{s}$

2ème pointe : $t_m = 13 \text{ heures}$ $Q_M = 75 \text{ m}^3/\text{s}$

Cette crue a bénéficié d'excellentes conditions d'humidité du sol.

4.6.4 - Caractéristiques des crues

Les caractéristiques des crues étudiées en 1961 et 1962 sont rassemblées dans le tableau ci-après :

BASSIN VERSANT de DONSE (S = 175 km²)

Caractéristiques de crues

	N°	Date	P _M	P	K	V _R	H _R	K _R	I _H	t _m	t _p	T _b	Q _M	Q _M /H _R	q _{max}	
1962	1	22/6	33,5	30,0	0,90	265	1,5	5,0	11,8	6 1/2				5,2	3,9	34
	2	25-26/7	37,5	31,0	0,82	486	2,8	9,0	8,8	12 1/2	10	2	12,0	4,3	69	
	3	13/8	70,0	40,0	0,57	1278	7,3	18,3	33,7	9 1/2	(5)	3	14,8	2,0	85	
	4	24/8	47,8	29,5	0,62	234	1,3	4,3	19,6	21	16	2 1/2	3,0	2,3	17	
	5	25-26/8	35,3	12,5	0,35	774	4,4	35,5	60,0	12		2 1/2	9,5	2,3	54	
	6	28/8	10,0	7,3	0,73	90	0,5	7,0	33,8	9		2	2,2	1,1	12,5	
	7	29/8	22,0	20,0	0,90	297	1,7	8,5	21,7	16	19	2 1/2	3,1	1,8	18	
	8	7/9	25,5	16,0	0,62	711	4,0	25,4	31,7	14	(7)	3	7,0	1,7	40	
1961	9	2/9	73,5	60,0	0,82	2100	12,0	20,0	21,7	17						
	10	11/9	104,5	75,0	0,72	5800	33,0	44,0	60,8	28	24	3	16,5	95		

(Remarque: l'averse n° 9 étant complexe, nous ne pouvons pas dégager un rapport Q_M/H_R valable).

L'examen de ce tableau permet de dégager les observations suivantes :

Le coefficient de ruissellement est généralement assez faible. Sur 10 crues, 5 ont un $K_R < 10\%$

4 ont un $K_R \geq 20\%$

1 a un $K_R > 40\%$

L'influence de l'indice d'humidité est forte comme le montrent les cas des averses 5 et 8. Pour une valeur de H supérieure à 30, le coefficient de ruissellement est assez fort. On vérifie les excellentes conditions qui ont précédé l'averse 10.

Ce bassin apparaît donc plus perméable que ceux précédemment étudiés.

Le temps de montée de la crue unitaire peut être estimé à 12 heures en considérant les crues n° 1, 2, 5 et 10. La partie de la crue n° 4, qui correspond à la seconde fraction de l'averse, a un temps de montée de 13 heures et peut être considérée comme unitaire.

Le temps de montée total (21 h) de la crue n° 4 correspond à une averse étalée sur 6 heures avec un arrêt de 2 heures. De même, la crue n° 7 ($t_m = 16$ heures) correspond à une averse fractionnée.

La crue n° 9 ($t_m = 28$ h) correspondrait à des averses sporadiques s'étalant sur 15 heures.

Les temps de montée de 9 heures des crues 3 et 6 correspondent à un ruissellement partiel.

Le rapport Q_M/H_R varie assez fortement, il est faible pour les faibles averses telles que l'averse n° 6, très fort pour les averses n° 1 et 2 pour lesquelles, malheureusement, les enregistrements pluviographiques et limnigraphiques sont insuffisants pour une bonne interprétation. Heureusement, les fortes crues 3, 5 et 6 présentent des valeurs assez homogènes voisines de 2.

En considérant les crues n° 5 et 10 et la crue n° 4 (pour la partie de la crue correspondant à la seconde fraction de l'averse), nous pouvons donc estimer à 2,3 le rapport Q_M/H_R à prendre en considération pour l'estimation des crues médianes et décennales.

A partir des données de ce tableau, nous avons fait une étude du coefficient de ruissellement et une estimation des crues médianes et décennales.

4.6.5 - Etude du coefficient de ruissellement

L'étude de la précipitation limite d'écoulement montre que la précipitation nécessaire pour qu'un ruissellement se produise après 2 jours sans pluie est de 11 mm environ (graphique 50).

Pour permettre d'estimer le coefficient de ruissellement correspondant à une pluie moyenne donnée, nous avons recherché graphiquement une corrélation entre K_R et P .

Pour resserrer les points du nuage autour de la courbe de régression tracée, nous avons employé la méthode des résidus en corrigéant la corrélation $K_R - P$ par l'indice d'humidité I_H , pour tenir compte de l'humidité du sol au moment de l'averse.

Cette méthode nous permet de resserrer notamment nos points et d'obtenir une courbe donnant K_R en fonction de P pour $I_H = 30$ (graphiques 51 et 51 bis).

Nous avons ensuite tracé les courbes donnant K_R en fonction de P pour d'autres valeurs de l'indice d'humidité (graphique 52).

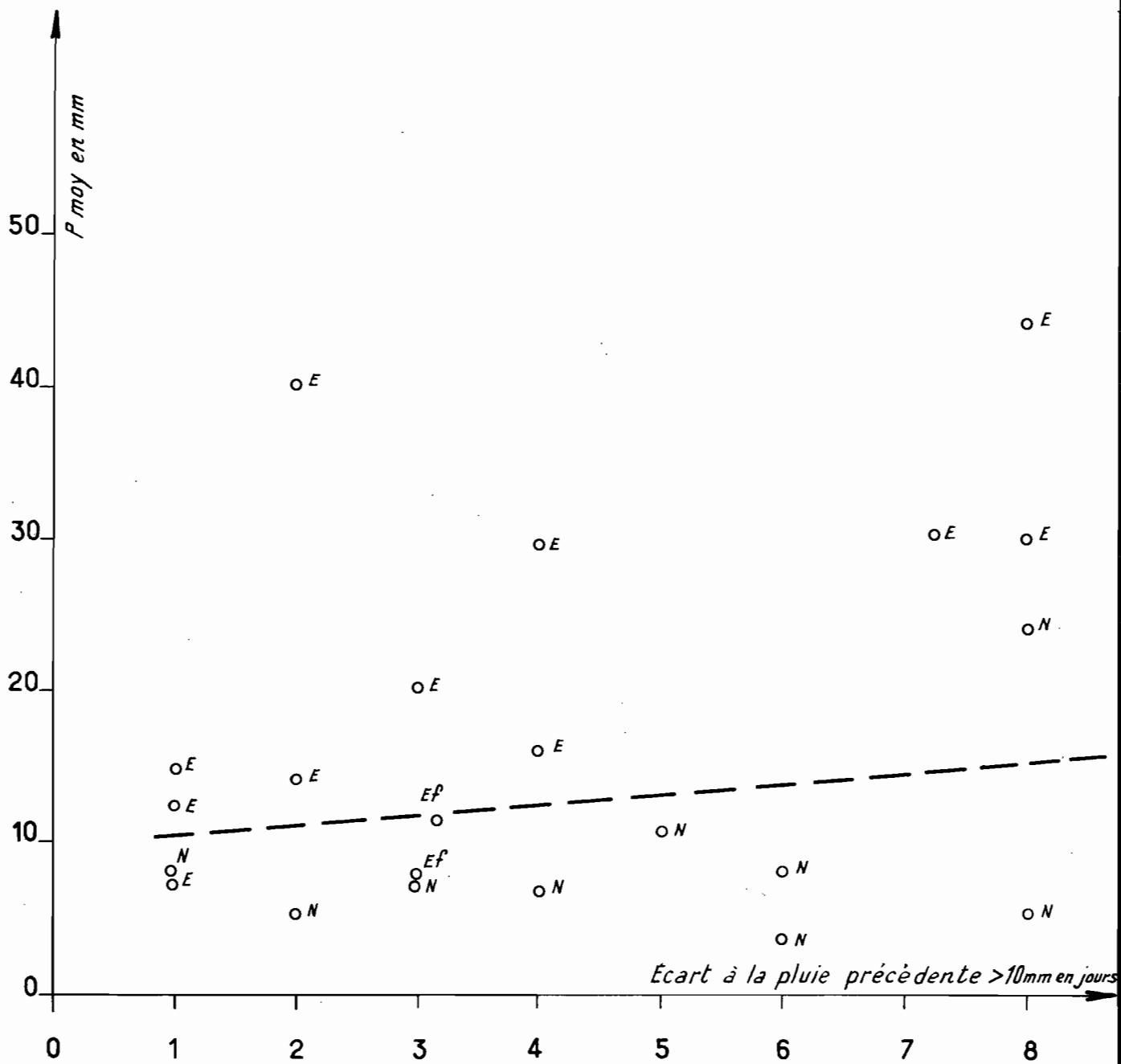
Il est évident qu'étant donné le faible nombre de points que nous possédons pour tracer ces courbes, celles-ci ne peuvent donner qu'une indication sur les rapports existant entre K_R , P et I_H .

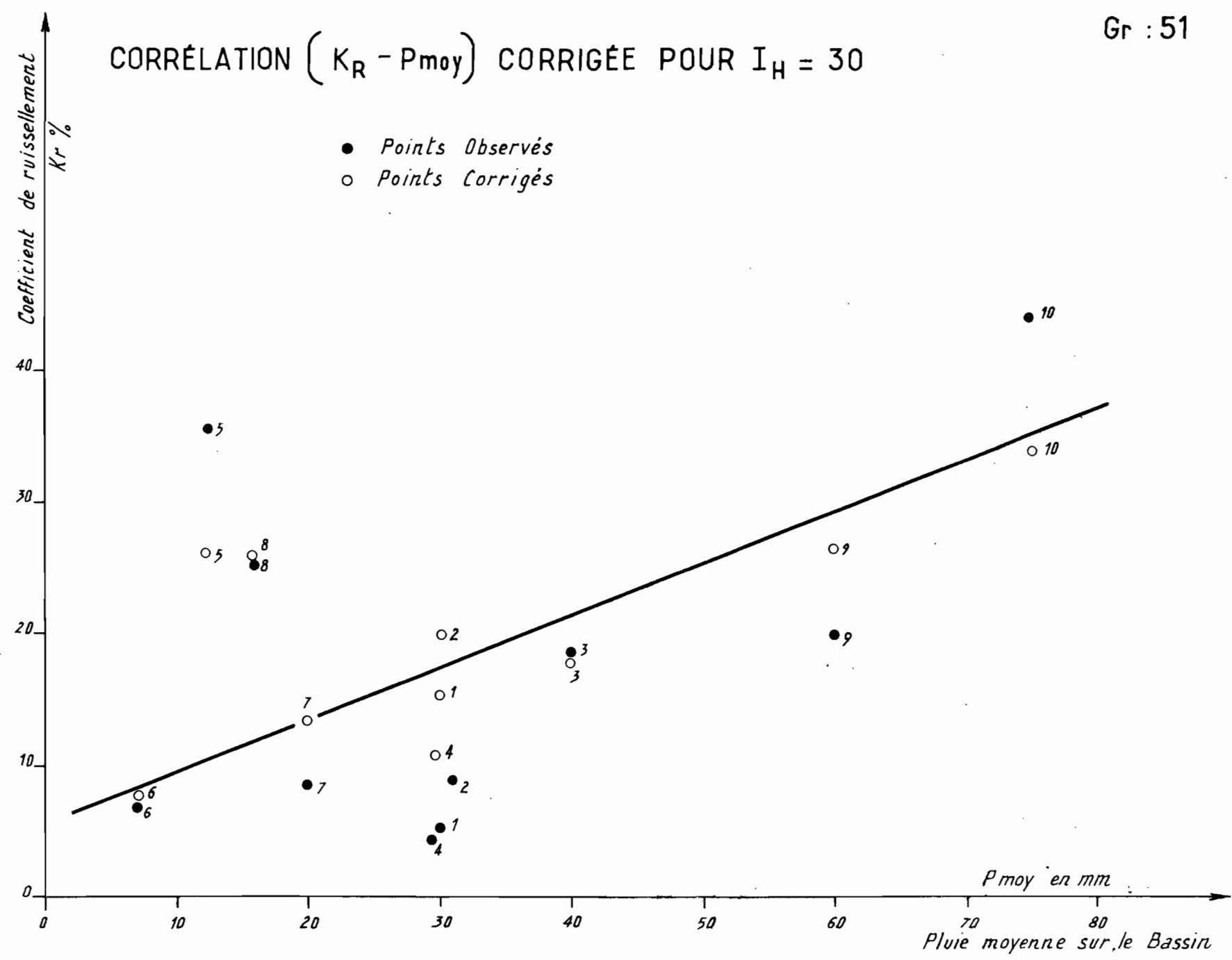
Il faut cependant noter que la courbe $I_H = 60$, s'appuyant sur deux points correspondant à deux années différentes, nous donne une assez bonne estimation de la limite supérieure du coefficient de ruissellement pour l'estimation de la crue décennale. Un indice de 60 est en effet plus favorable au ruissellement que ne le sont les conditions moyennes.

Bassin Versant de DONSE

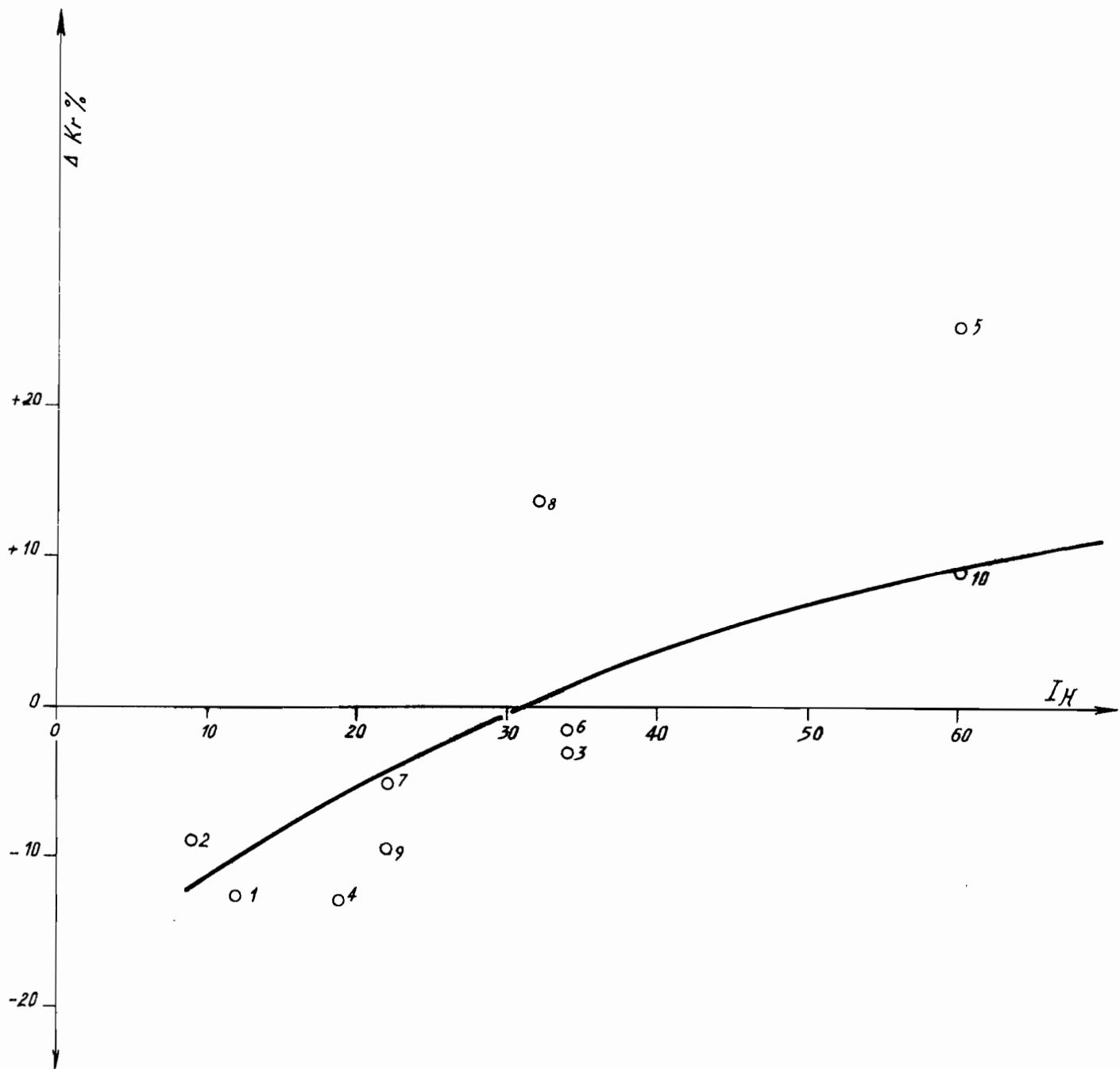
PRÉCIPITATION LIMITE D'ÉCOULEMENT

E : Ecoulement notable
EF : Ecoulement faible
N : Ecoulement nul

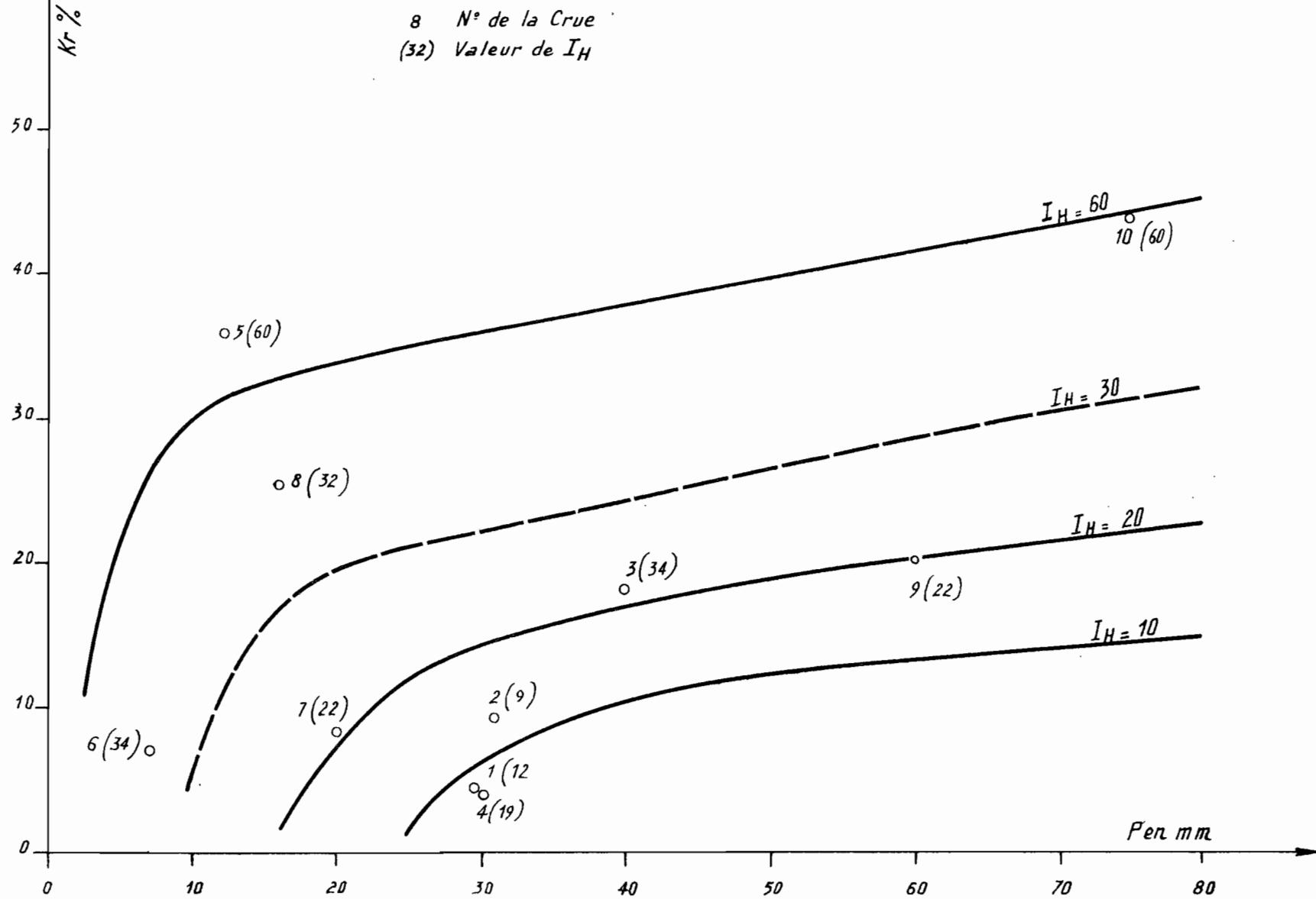




COURBE DES CORRECTIONS MOYENNES A APPORTER AU COEFFICIENT
DE RUISELLEMENT CALCULÉ D'APRÈS LA COURBE $K_R(P_{\text{may}})$ POUR TENIR
COMPTE DE L'INDICE D'HUMIDITÉ.



COEFFICIENTS DE RUISELLEMENT K_R EN FONCTION DE LA PLUIE MOYENNE
POUR DIVERSES VALEURS DE I_H



Recherche d'un hydrogramme-type :

Nous ne proposerons pas, pour ce bassin, d'hydrogramme-type. En effet, vu la superficie du bassin (175 km^2), l'hétérogénéité de la pluie est importante et la forme de l'hydrogramme varie selon la position du point d'impact de l'averse.

Nous pouvons cependant dégager des crues observées en 1961 et en 1962 une bonne indication du pourcentage de pointe.

$Q_M/H_R = 2,3$ pour l'estimation des crues médianes et décennales, sans construire d'hydrogramme-type, la méthode de l'hydrogramme unitaire n'étant valable que pour des bassins de superficie plus modeste.

4.6.7 - Estimation des crues médianes et décennales

Crue médiane :

Nous pouvons estimer le coefficient de réduction à 75 % en considérant que, sur 11 averses, 4 avaient une valeur de K inférieure à 70 % et 4 une valeur de K supérieure à 80 %.

Nous obtenons donc, comme précipitation moyenne correspondant à la pluie ponctuelle de fréquence médiane :

$$62,5 \times 0,75 = 47,0 \text{ mm}$$

En adoptant $I_H = 25$, nous trouvons $K_R = 22 \%$.

La hauteur ruisselée sera :

$$H_R = 47,0 \times 0,22$$

$$H_R = 10,6 \text{ mm}$$

Soit un :

$$Q_M = 9,6 \times 2,3$$

$$Q_M = 24 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous retiendrons, pour la crue médiane, $25 \text{ m}^3/\text{s}$ ($q = 145 \text{ l/s.km}^2$).

Crue décennale :

Nous prendrons le même coefficient de réduction que pour l'averse médiane : $K = 75\%$, soit une pluie moyenne :

$$112,5 \times 0,75 = 84,3 \text{ mm}$$

Par mesure de précaution, nous prendrons $I_H = 40$.

Pour une pluie moyenne de 84 mm, la valeur de K_r correspondante est de 38 %.

La hauteur ruisselée est de $84,3 \times 0,38 = 32,0 \text{ mm}$, soit un

$$Q_M = 32,0 \times 2,3$$

$$Q_M = 75 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cette valeur semble correcte ; en effet, le 11 Septembre 1961 une pluie ponctuelle de 104,5 mm (probabilité 1 fois en 8 ans) avec $I_H = 60$ donnait un Q_M de $75 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nous retiendrons pour la crue décennale : $75 \text{ m}^3/\text{s}$ ($q = 430 \text{ l/s.km}^2$)

4.6.8 - Bilan de surface

Les débits moyens mensuels que nous rappelons ci-dessous, nous permettent d'estimer le module du bassin de DONSE.

	J	J	A	S	O	
Débits en m^3/s	0,15	0,28	1,82	1,34	0,01	
	:	:	:	:	:	

Module : $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$ pour 1962.

Lame d'eau correspondante : $H_e = 54 \text{ mm}$

Déficit d'écoulement : $D_e = P - H_e$

$$D_e = 790 - 54$$

$$D_e = 736 \text{ mm}$$

Le coefficient d'écoulement pour 1962 est de 6,8 %.

Le tableau suivant donne les apports déversés mensuels et le total des apports déversés et des apports naturels pour 1962.

	J	J	A	S	O	Volume total
Apports déversés	0	230	4875	3473	27	8 605
en 10^3 m^3						
Apports naturels						10 405
en 10^3 m^3						

En 1961, on avait noté les valeurs suivantes :

Module : $0,52 \text{ m}^3/\text{s}$ - Apports naturels : $16 280 000 \text{ m}^3$

Lame d'eau correspondante : 93 mm

Déficit d'écoulement : $D_e = 770 - 93$

Coefficient d'écoulement : 12% $D_e = 677 \text{ mm}$

La valeur moyenne brute du module calculée sur deux années est $0,41 \text{ m}^3/\text{s}$.

Malgré une très légère augmentation de la pluviométrie (20 mm) de l'année 1962 par rapport à celle de l'année 1961, le coefficient d'écoulement de 1961 est pratiquement égal au double de celui de l'année 1962.

La forte valeur du coefficient d'écoulement de l'année 1961 correspond aux volumes apportés par les 2 crues du 2 et du 11 Septembre.

Il faut noter que la pluviométrie observée en 1961 et 1962 sur le bassin versant de DONSE est inférieure à la valeur normale.

BASSIN VERSANT de KAMBOENSE

$$(S = 125 \text{ km}^2)$$

4.7.1 - Etalonnage du déversoir

La courbe d'étalement s'appuie sur deux jaugeages de basses eaux.

$$H = 182,5 \text{ cm}$$

$$Q = 0,32 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 189,0 \text{ cm}$$

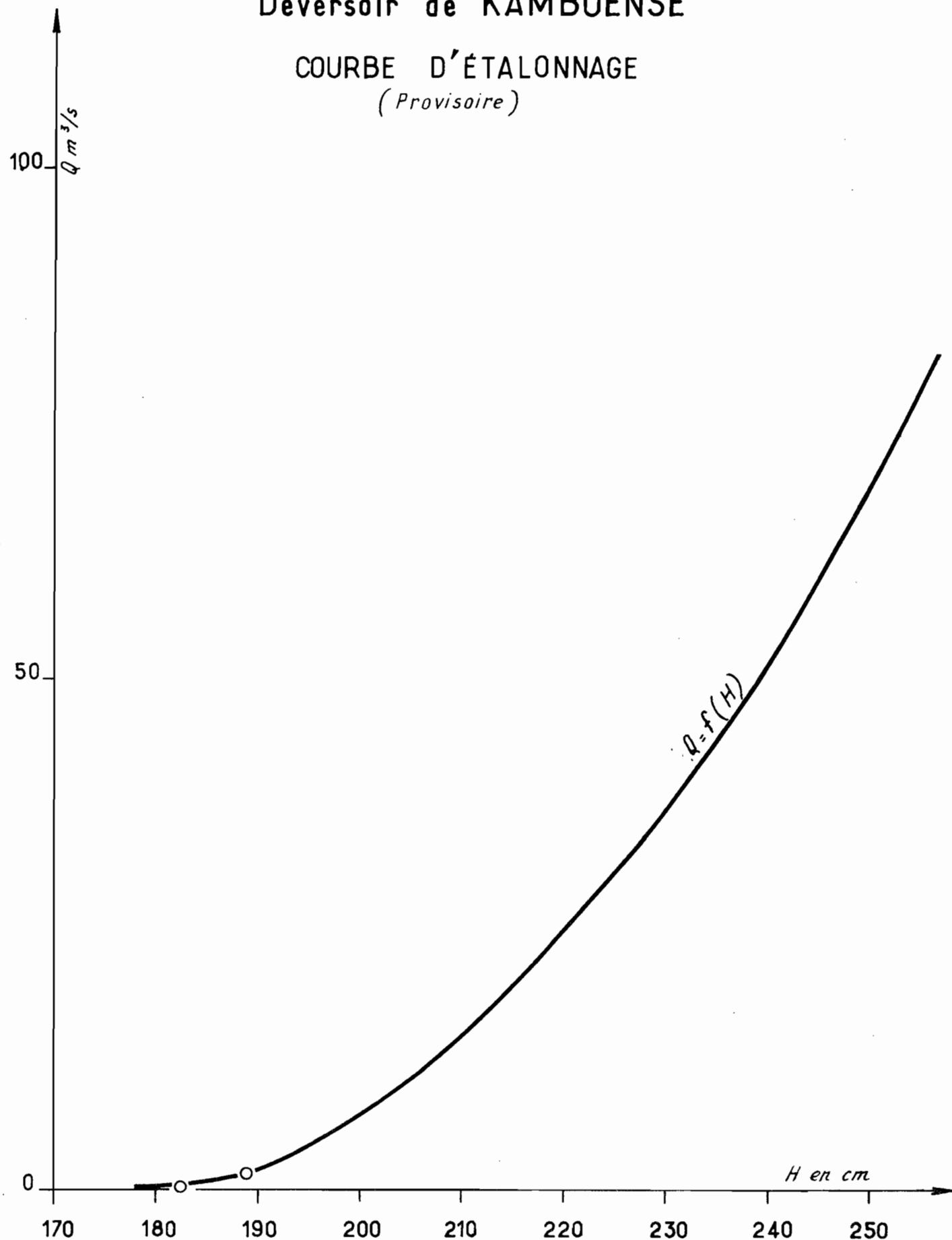
$$Q = 1,55 \text{ m}^3/\text{s}$$

Une formule théorique d'écoulement a été appliquée au déversoir, mais celui-ci ayant un profil en long très irrégulier (déversoir non bétonné), la précision de la courbe tracée est certainement médiocre (graphique 53).

4.7.2 - Débits journaliers - Débits moyens mensuels

Malgré l'imprécision de la courbe d'étalement, nous avons calculé à partir des limnigrammes les débits journaliers entrant dans la retenue. Nous n'avons malheureusement pu utiliser que les limnigrammes des mois d'Août et de Septembre, les enregistrements antérieurs étant perturbés par des lâchers de vannes et sont, de ce fait, inutilisables.

Déversoir de KAMBOENSE

COURBE D'ÉTALONNAGE
(Provisoire)

(en m^3/s)

Jours	J	A	S	O
1	0	0	3,2	0
2		0,4	1,6	0
3		0,2	1,7	0,06
4		0,4	1,0	0
5		0,2	0,7	
6		0	1,1	
7		0	0,8	
8		1,6	0,5	
9		0,3	0,2	
10		0,1	0,2	
11		0,1	0,8	
12		0,3	0,5	
13		3,0	0,2	
14		0,7	0,2	
15		0,3	0,2	
16		0,5	0,1	
17		1,1	1,3	
18		0,2	0,4	
19		0,5	0,1	
20		2,2	0,2	
21		1,1	0,5	
22		0,6	0,1	
23		0,6	0,1	
24		0,7		
25	0	0,6		
26		0,5		
27	0,1	0,8		
28	0	0,8	0,06	
29	0	1,4		
30	0	0,8		
31	0	0,6		0

Nous donnons dans le tableau suivant les débits moyens mensuels pour les mois d'Août et de Septembre, ainsi que les volumes entrant dans la retenue pendant ces deux mois.

Il y a eu des apports dans la retenue dans les mois précédents, mais ils sont certainement faibles.

	A	S
m^3/s	0,66	0,50
Volume en $10^3 m^3$	1 767	1 296

4.7.3 - Description des averses et des crues.

Nous avons retenu, pour notre étude, cinq couples averse-crue enregistrés en 1962.

Précisons qu'étant donné la faible intensité des postes pluviométriques sur le bassin même, nous nous sommes surtout appuyés sur les données des postes périphériques afin de tracer au mieux les isohyètes des averses étudiées. Cela nous conduit évidemment à des imprécisions sur la répartition spatiale de l'averse, sur la valeur de la précipitation maximale ponctuelle; ces imprécisions ont une notable influence sur la valeur de la pluie moyenne et du coefficient de ruissellement.

8 Août - Averse n° 1

Cette averse couvre tout le bassin avec un maximum sur l'aval

$$P_M = 43,5 \text{ mm}$$

$$P = 31,0 \text{ mm}$$

L'état de saturation du sol est déficitaire.

La crue est simple :

$$t_m = 3 \text{ heures}$$

$$Q_M = 9,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

13 Août - Averse n° 2

Cette averse, qui a couvert l'ensemble des bassins versant étudiés, présente sur le bassin de KAMBOENSE un maximum de précipitations sur l'aval et diminue en intensité vers l'Ouest.

$$P_M = 61,5 \text{ mm} \quad P = 51,0 \text{ mm}$$

Il y a eu deux jours auparavant une averse assez forte sur le bassin, les conditions de saturation sont donc meilleures que pour la crue précédente.

La crue est simple :

$$t_m = 3 \text{ h.30} \quad Q_M = 14,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

c'est le maximum pour l'année 1962.

20 Août - Averse n° 3

La répartition spatiale de cette averse est très imprécise. Il est probable, étant donné le temps de montée global de la crue (9 h.30), que cette averse ait présenté un épicentre sur la partie amont du bassin.

$$P_M = 32,0 \text{ mm} \quad P = 22,0 \text{ mm}$$

Les conditions de saturation sont à peu près équivalentes à celles du 13 Août.

La crue présente deux pointes, la première a un temps de montée de 6 h.30 et un Q_M de $4,4 \text{ m}^3/\text{s}$; la seconde pointe se produit 3 heures après la première avec un Q_M égal au premier :

$$Q_M = 4,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

3 Septembre - Averse n° 4

L'averse n'intéresse qu'une faible partie du bassin, surtout la partie aval et très peu l'extrémité Sud-Ouest, un creux pluviométrique couvrant tout le reste du bassin.

$$P_M = 27,0 \text{ mm} \quad P = 10 \text{ mm}$$

Les conditions de saturation, plus favorables que celles des averses précédentes, sont bonnes.

La crue est simple :

$$t_m = 3 \text{ h.30} \quad Q_M = 4,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

17 Septembre - Averse n° 5

La pluie centrée sur l'aval du bassin décroît rapidement vers l'amont.

$$P_M = 35,5 \text{ mm} \quad P = 10,0 \text{ mm}$$

L'état de saturation du sol est déficitaire.

La crue est simple :

$$t_m = 3 \text{ heures} \quad Q_M = 5,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous rappelons les caractéristiques des deux averses et crues enregistrées et étudiées en 1961.

2 Septembre - Averse n° 6

Cette averse présentait deux maximums, l'un centré sur ZEKOUNGA et l'autre sur YAKTENGA. Le bassin versant de KAMBOENSE, compris entre ces deux postes, a reçu une pluie moyenne estimée à 105,0 mm, averse de hauteur au moins décennale.

La crue qui en est résultée était simple.

$$t_m = 24 \text{ heures} \quad Q_M = 33 \text{ m}^3/\text{s}$$

Les conditions de saturation étaient légèrement inférieures à la moyenne.

11 - Septembre - Averse n° 7

L'averse couvrait tout le bassin avec un épicentre sur KAMBOENSE. La pluie moyenne estimée à 85,0 mm a donné lieu à une crue double.

Pour la première pointe :

$$t_m = 11 \text{ heures} \quad Q_M = 18 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pour la seconde pointe :

$$t_m = 28 \text{ heures} \quad Q_M = 24 \text{ m}^3/\text{s}$$

On peut noter qu'aucune de ces averses n'a bénéficié de très bonnes conditions de saturation et qu'en fait, seules les averses n° 3, 6 et 7 correspondent à un ruissellement de tout le bassin.

4.7.4 - Caractéristiques des crues

Le tableau suivant rassemble les caractéristiques des crues étudiées en 1961 et 1962.

Il faut tout d'abord noter la grande variation des temps de montée, variation qui entraîne évidemment celle des rapports Q_M/H_R ce rapport étant d'autant plus grand que le temps de montée est plus court.

Alors qu'en 1962, les temps de montée sont pratiquement tous de l'ordre de 3 heures, ce qui semble faible pour un bassin de 125 km^2 , ils atteignaient et dépassaient même 20 heures pour les 2 fortes averses de 1961.

Mais on notera qu'en 1962, seule l'averse n° 3 a donné lieu à ruissellement sur tout le bassin. Les deux fortes crues de 1961 ont également donné lieu à ruissellement sur tout le bassin; de plus, l'averse n° 6 a duré 12 heures; la crue n° 7 est double. Le temps de montée pour une forte averse d'assez courte durée, ruisselant sur tout le bassin, doit être de l'ordre de 8 à 12 heures.

Les coefficients de ruissellement présentent des valeurs assez modérées. Les 2 chiffres présentés pour 1961 sont relatifs à des crues très fortes, mais elles ont rencontré des conditions de saturation médiocres; on peut donc concevoir, pour les très fortes averses, des coefficients plus élevés.

BASSIN VERSANT de KAMBOENSE (S = 125 km²)

Caractéristiques des crues en 1961-1962

	N°	Date	P _M	P	K	V _R	H _R	K _R	t _n	t _p	T _b	Q _M	Q _M /H _R	q _{max}
1962	1	8/8	43,5	31,0	0,71	147,6	1,2	3,8	3 1/		2	9,2	7,7	73,5
	2	13/8	61,0	51,0	0,83	327,6	2,6	5,1	2		2	14,5	5,6	116,0
	3	20/8	32,0	22,0	0,69	217,8	1,7	7,9	6 1/2		3	4,4	2,6	35,0
	4	3/9	27,0	10,0	0,37	140,4	1,1	11,0	3 1/2		2	4,7	4,3	37,7
	5	17/9	35,5	10,0	0,28	144,0	1,1	11,0	3		2 1/2	5,2	4,7	41,6
1961	6	2/9	112,5	105,0	0,93	2300	18,4	17,5	24	15	3	33,0	1,8	265,0
	7	11/9	100,0	85,0	0,85	2450	19,5	23,0	11 28	25	3	24,0	1,23	190,0

4.7.5 - Etude du coefficient de ruissellement

Etant donné l'imprécision de la courbe de tarage, jointe au caractère incomplet de nos données sur les précipitations, il nous paraît raisonnable de ne pas tenter l'estimation de la précipitation limite de ruissellement, non plus que de rechercher une relation entre la pluie moyenne, le coefficient de ruissellement et l'état de saturation du sol.

Nous pouvons toutefois remarquer que les coefficients de ruissellement croissent régulièrement du mois d'Août au mois de Septembre. Répétons d'autre part que les coefficients de ruissellement, du fait du faible développement du réseau hydrographique, sont parmi les plus faibles observés sur les bassins étudiés et semblent surtout liés à l'homogénéité et à la durée des averses. Ils sont très voisins de ceux trouvés sur la LUMBILA, ce qui est normal.

4.7.6 - Estimation des crues médianes et décennales

Pour toutes les saisons déjà citées, nous ne pouvons donner l'hydrogramme-type de ce bassin et nous devons nous contenter d'une estimation prudente des débits de pointe des crues médianes et décennales.

En nous appuyant sur les deux fortes crues de 1961, dont celle du 2 Septembre (précipitation maximale ponctuelle égale à la précipitation de fréquence décennale) et sur l'averse n° 2 observée en 1962, nous indiquerons les valeurs suivantes :

Crue médiane	$Q_M = 20 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 160 \text{ l/s.km}^2$
Crue décennale	$Q_M = 45 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 360 \text{ l/s.km}^2$

Ces crues correspondent à des averses homogènes et suffisamment longues pour que la "mise en eau" du réseau hydrographique puisse se faire.

4.7.7 - Bilan de surface

A partir des débits moyens mensuels que nous rappelons ci-dessous, nous avons fait le bilan de surface du bassin versant de KAMBOENSE; ce bilan est évidemment faussé car il ne comporte que les apports des mois d'Août à Octobre.

Débits moyens mensuels en m^3/s :

Août : 0,66 Septembre : 0,50

Pour tenir compte des apports des mois de Juin et de Juillet et par proportionnalité avec LUMBILA, nous majorerons nos résultats bruts de 6 %.

Module : $0,12 m^3/s$ (calculé sur les apports naturels, c'est-à-dire apports observés plus volume de la retenue à sa cote de déversement).

Hauteur de la lame d'eau équivalente : $H_e = 31,8 mm$.

Déficit d'écoulement :

$$D_e = P - H_e$$

$$D_e = 900 - 31,8$$

$$D_e = 868 \text{ mm}$$

Coefficient d'écoulement : 3,5 %

Le tableau suivant donne les apports déversés en Août et Septembre, ainsi que le total des apports naturels majorés de 6 % et des apports déversés.

	A	S	Volume total
Apports déversés en $10^3 m^3$	1 770	1 300	3 070
Apports naturels en $10^3 m^3$			3 922

En 1961, on avait obtenu les valeurs suivantes :

Module : $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ - Apports naturels : $5,175 \cdot 10^3 \text{ m}^3$

Hauteur de la lame d'eau équivalente : H_e : 41 mm

Déficit d'écoulement :

$$D_e = 780 - 41$$

$$D_e = 739 \text{ mm}$$

Coefficient d'écoulement : 5,3 %

La valeur moyenne brute du module calculée sur deux ans est
 $0,14 \text{ m}^3/\text{s}$.

BASSIN VERSANT de BOULBI

$$(S = 125 \text{ km}^2)$$

4.8.1 - Etalonnage du déversoir

Le déversoir de BOULBI a un profil triangulaire bien défini, on peut donc lui appliquer avec une bonne précision la formule :

$$Q = m \sqrt{2g} \cdot L h^{3/2} \quad L = 50 \text{ m}$$

$$Q = 106. h^{3/2} \quad \text{avec} \quad m = 0,48$$

$$h = H - 1,23 \text{ m}$$

C'est à partir de cette formule qu'ont été calculés les débits journaliers.

4.8.2 - Débits journaliers - Débits moyens mensuels

Les apports dans la retenue ne sont enregistrés qu'à partir du début Août. Avant cette date, étant donné la grande profondeur de la retenue, la cote du plan d'eau était trop basse pour atteindre la base du limnigraphie. Nous ne donnerons donc, dans le tableau suivant que les débits journaliers (m^3/s) pour les mois d'Août et de Septembre. Ces apports ne sont d'ailleurs que des indications sans valeur précise. En effet, les fréquents lâchers de vanne perturbent notablement les lectures.

Jours	Août	Septembre
1	0	4,1
2	0,7	4,0
3	0,7	5,2
4	0,7	6,5
5	0,7	3,1
6	0,7	0,5
7	0,7	3,7
8	0,7	8,1
9	0,7	1,9
10	0	1,2
11	0	0,7
12	0,1	1,2
13	6,7	0,6
14	0	0,4
15	0	0
16	7,2	0
17	2,3	1,0
18	0,6	1,5
19	0,5	1,2
20	5,2	0,6
21	1,9	1,3
22	0,7	0,9
23	0,2	0,4
24	4,4	0,1
25	2,6	0
26	6,5	0
27	8,8	0
28	2,0	0
29	1,7	0
30	0,8	0
31	0,7	0

Ces débits journaliers nous permettent de calculer les débits moyens mensuels en m^3/s , ainsi que les volumes mensuels entrant dans la retenue.

:	A	S	:
:			:
m^3/s	1,9	1,6	:
:			:
Volume en $10^3 m^3$	4 073	4 300	:

4.8.3 - Description des averses et des crues

Comme pour le bassin de KANBOENSE, la faible densité du réseau pluviométrique couvrant le bassin ne nous permet pas de déterminer avec une précision suffisante la hauteur de pluie moyenne correspondant à une averse donnée. Les valeurs que nous indiquons sont donc des estimations plus ou moins bonnes, ce qui entraînera évidemment des imprécisions sur le coefficient de ruissellement et, d'autre part, l'impossibilité de nous livrer à un calcul du coefficient d'humidité I_H , non plus que de la précipitation limite d'écoulement.

16 Août - Averse n° 1

L'épicentre de l'averse est centré sur la retenue, l'intensité diminuant vers l'amont du bassin.

Cette averse, enregistrée à GONSE et à WABTENGA, est une averse simple de durée unitaire :

$$P_M = 39,0 \text{ mm} \quad P = 21,2 \text{ mm}$$

La crue présente deux pointes, la première correspondant à l'action de la pluie tombant directement sur la retenue

$$t_m = 8 \text{ heures} \quad Q_M = 25,0 \text{ } m^3/s$$

L'état de saturation est bon après la forte pluie du 13 Août.

20 Août - Averse n° 2

L'épicentre de l'averse est centré sur la retenue, l'amont du bassin correspond à un creux pluviométrique.

$$P_M = 59,4 \text{ mm}$$

$$P = 34,4 \text{ mm}$$

La crue est double.

$$t_m = 13 \text{ heures}$$

$$Q_M = 8,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Il n'y a pas eu de pluie importante depuis l'averse n° 1.

24 Août - Averse n° 3

L'intensité de l'averse diminue du Nord-Est au Sud-Ouest du bassin.

$$P_M = 30,0 \text{ mm}$$

$$P = 24,6 \text{ mm}$$

La crue est double.

$$t_m = 8 \text{ heures}$$

$$Q_M = 10,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Etat de saturation du sol assez bon après les pluies des 20 et 21 Août.

26-27 Août - Averse n° 4

Centrée sur l'aval du bassin, cette averse décroît en intensité vers l'amont.

$$P_M = 64,0 \text{ mm}$$

$$P = 44,0 \text{ mm}$$

La crue est double.

$$t_m = 8 \text{ heures}$$

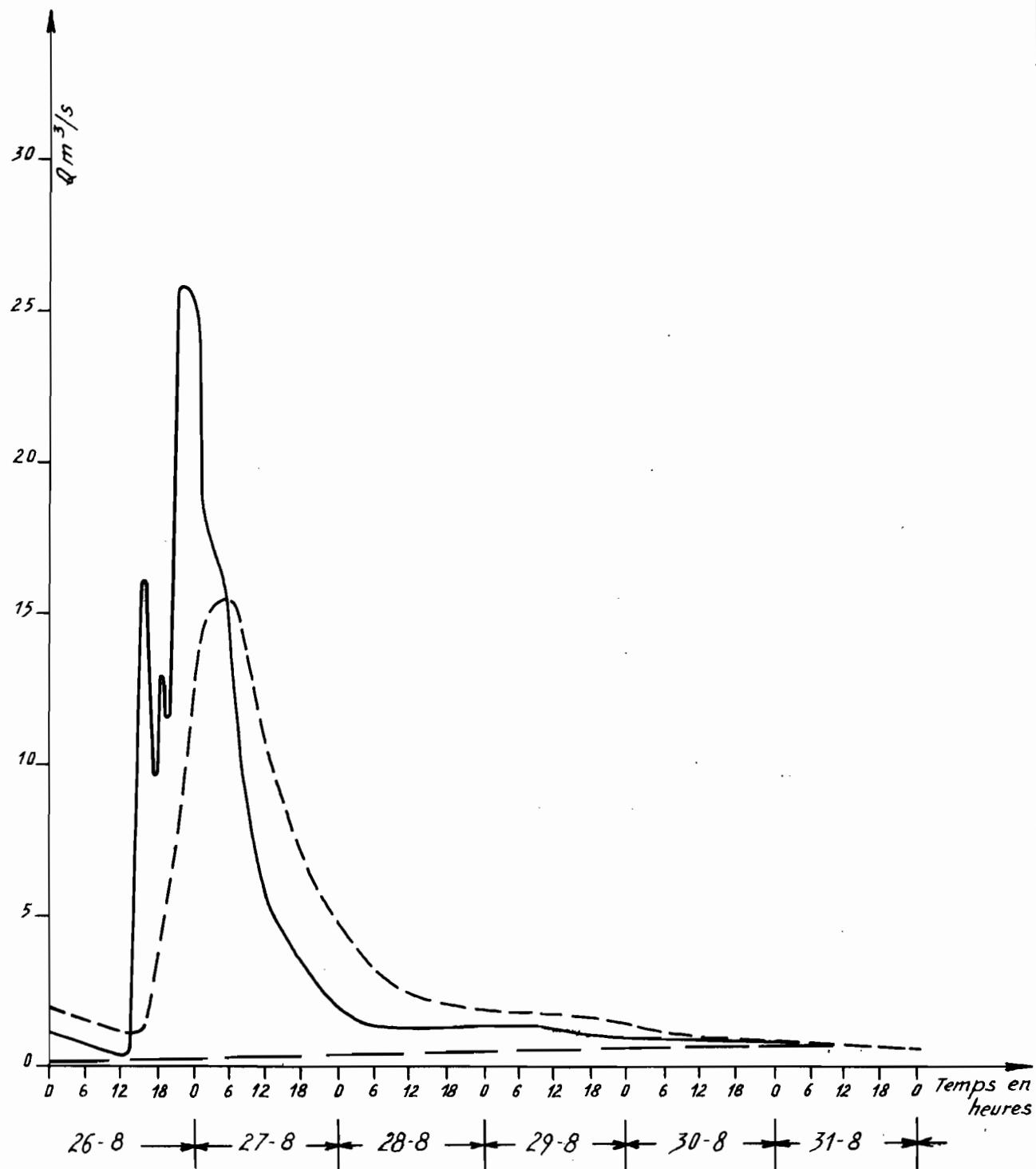
$$Q_M = 26,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Les conditions de saturation sont bonnes. Cette averse a donné lieu au maximum annuel (graphique 54).

Bassin Versant de BOULBI

Gr: 54

CRUE DU 26-8-1962



7 Septembre - Averse n° 5

L'averse centrée sur la retenue diminue en intensité vers l'amont du bassin.

$$P_M = 35,2 \text{ mm}$$

$$P = 15,0 \text{ mm}$$

La crue présente une montée rapide suivie d'un palier et d'une seconde pointe de crue.

$$t_m = 17 \text{ heures}$$

$$Q_M = 20,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Il a plu la veille, les conditions de saturation sont bonnes.

Nous rappelons les caractéristiques des crues étudiées en 1961 :

30 Août - Averse n° 6

Averse hétérogène, sa valeur moyenne est mal connue.

$$P_M = 56,0 \text{ mm}$$

$$P = (50,0 \text{ mm})$$

La crue est simple

$$t_m = 8 \text{ heures}$$

$$Q_M = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Il a plu la veille mais assez faiblement.

2 Septembre - Averse n° 7

La pluie est hétérogène, l'averse multiple.

$$P_M = (84,0 \text{ mm})$$

$$P = (70,0 \text{ mm})$$

La crue présente une montée rapide due aux précipitations tombées sur la retenue, puis une montée plus lente suivie d'une pointe de crue très importante.

$$t_m = 15 \text{ heures}$$

$$Q_M = 110 \text{ m}^3/\text{s}$$

11 Septembre - Averse n° 8

Cette averse, centrée sur la partie Nord-Est du bassin, décroît en intensité vers l'Ouest.

$$P_M = 99,0 \text{ mm}$$

$$P = 30,0 \text{ mm}$$

La crue est simple.

$$t_m = 5 \text{ heures}$$

$$Q_M = 80 \text{ m}^3/\text{s}$$

Les vannes de fond avaient été ouvertes probablement dès le début de la crue.

4.8.4 - Caractéristiques des crues

Le tableau ci-après rassemble les caractéristiques des crues observées en 1961 et en 1962.

Nous pouvons tirer de ce tableau les conclusions suivantes.

En nous basant sur les crues n° 1, 3 et 6, nous pouvons estimer à 8 heures le temps de montée de la crue unitaire pour le bassin de BOULBI. Le temps de réponse ne varie pas et peut être pris égal à 7 heures. Le temps de base est de l'ordre de 3 jours.

Les coefficients de ruissellement, bien que n'atteignant pas les valeurs observées sur les bassins de OUAGADOUGOU I, du MORO NABA et de ZAGTOULI, sont assez élevés. Rappelons que ces coefficients sont peu précis pour les raisons que nous avons exposées plus haut.

Le rapport Q_M/H_R varie notablement, passant de 1,85 pour la crue n° 2 à (6,2) pour la crue n° 8. Cette dernière valeur est sujette à caution, le volume ruisselé calculé étant trop faible si les vannes de fond ont bien été ouvertes dès le début de la crue.

Les valeurs de 3,5 et 3,9 notées pour les crues n° 1 et 7 sont certainement trop fortes et correspondent au cas d'une crue se produisant alors que le niveau d'eau dans la retenue n'a pas atteint la cote de déversement, l'amortissement de la pointe de crue est donc plus faible que dans le cas où la crue se produit lorsque la retenue est pleine. D'autre part, il se peut que les vannes de fond ne soient ouvertes que lorsque des crues se produisent, la retenue étant pleine, ce qui a pour effet de laminer les pointes de crues et d'abaisser le rapport Q_M/H_R .

BASSIN VERSANT de BOULBI

Caractéristiques des crues en 1961 et 1962

	N°	Date	P _M	P	K	V _R	H _R	K _R	t _m	t _p	T _b	Q _M	Q _M /H _R	q _{max}
1962	1	16/8	39,0	21,2	0,55	900	7,2	34,0	8	7 1/2	3 1/2	25,0	3,5	200
	2	20/8	59,4	34,4	0,58	581	4,6	13,5	13	10	3	8,5	1,85	68
	3	24/8	30,0	23,6	0,80	612	4,9	20,8	8	7	2 1/2	10,2	2,08	82
	4	26-27/8	60,0	44,0	0,73	1404	11,2	25,4	8	5	4	26,0	2,3	208
	5	7/9	35,0	15,0	0,45	954	7,6	30,6	17	4	4	20,2	2,7	162
1961	6	30/8	56,0	(50,0)	(0,89)	1000	8,0	(16,0)	8	5	-	25,0	3,1	200
	7	2/9	(84,0)	(70,0)	(0,83)	3500	28,0	(40)	15	5	3	110,0	3,9	880
	8	11/9	99,0	90,0	0,91	(1600)	(13,0)	(14,5)	5	(5)	-	80,0	(6,25)	640
								(1)					(1)	

(1) Valeur sans signification, affectée par les lâchures de vannes.

Il nous semble donc vraisemblable d'admettre, pour l'estimation des crues de fréquence supérieure à la fréquence décennale, $Q_M/H_R = 3,0$.

4.8.5 - Etude du coefficient de ruissellement

L'examen des coefficients de ruissellement des 8 crues étudiées nous donne quelques indications sur les valeurs à prendre en considération pour notre calcul de crues.

Le coefficient de 40 % trouvé en 1961 est certainement surestimé, il est en effet fort probable que le maximum ponctuel a dû être plus important que celui qui a été indiqué et de fréquence pratiquement décennale. Il en est de même pour la pluie moyenne.

Le coefficient de ruissellement d'une crue, survenant dans de bonnes conditions de saturation (crues n° 1 et 5), doit être de l'ordre de 30 % ; en cas de saturation déficiente, 15 % semble être la valeur de K_R à retenir.

4.8.6 - Recherche d'un hydrogramme-type

La connaissance imprécise que nous avons des averses, de leur répartition et de leur valeur moyenne, jointe à la superficie du bassin, nous permet simplement d'estimer les principales caractéristiques de la crue unitaire.

temps de montée	:	8 heures
temps de base	:	3 jours
temps de réponse	:	7 heures
rapport Q_M/HR	:	3,0 (pour des averses de fréquence supérieure à la fréquence décennale)

Remarquons que l'influence de la pluie tombant directement sur la retenue se marque très souvent par la présence d'une première pointe de crue très aiguë, suivie d'une seconde pointe qui correspond au ruissellement venant de l'amont du bassin.

4.8.7 - Estimation des crues médianes et décennales

Crue médiane :

En adoptant un coefficient de réduction de 0,75, nous obtenons une pluie moyenne

$$P = 62,5 \times 0,75 = 47,0 \text{ mm}$$

Nous estimons à 25 % le coefficient de ruissellement à prendre en considération.

La hauteur ruisselée sera :

$$H_R = 47,0 \times 0,25$$

$$H_R = 11,7 \text{ mm}$$

$$Q_M = 11,7 \times 3,0$$

$$Q_M = 35 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous retiendrons, pour la crue médiane, $35 \text{ m}^3/\text{s}$ ($q = 280 \text{ l/s.km}^2$).

Crue décennale :

Le coefficient de réduction étant pris égal à 0,80, la pluie moyenne sera :

$$P = 112,5 \times 0,80 = 90 \text{ mm}$$

En estimant à 40 % le coefficient de ruissellement, la hauteur ruisselée H_R est de 36 mm.

Si nous nous basons sur les crues du 16 Août 1962 et du 2 Septembre 1961, il nous semble préférable d'adopter pour le rapport Q_M/H_R une valeur supérieure à celle que nous avons employée pour la crue médiane ; nous prendrons :

$$\underline{Q_M/H_R} = 3,7$$

$$Q_M = 36 \times 3,7$$

$$Q_M = 133 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous retiendrons pour la crue décennale : $135 \text{ m}^3/\text{s}$
 $q = 1100 \text{ l/s.km}^2$.

Ces chiffres correspondent à des conditions de ruissellement un peu plus sévères que le bassin du MORO NABA.

4.8.8 - Bilan de surface

Nous rappelons ci-dessous les débits moyens mensuels entrant dans la retenue en Août et Septembre :

$$\text{Août} : 1,9 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{Septembre} : 1,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous calculerons le module à partir des apports naturels, c'est-à-dire en ajoutant aux apports enregistrés en Août et Septembre le volume de la retenue à sa cote de déversement. Ce volume de $2350 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ réparti sur les mois de Mai, Juin et Juillet, correspond à un débit moyen de $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$. On en déduit les caractéristiques suivantes pour l'écoulement annuel en 1962 :

$$\text{Module} : 0,32 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Hauteur de la lame d'eau équivalente } H_e = 81 \text{ mm.}$$

$$\text{Déficit d'écoulement } D_e = P - H_e = 1050 - 81$$

$$D_e = 969 \text{ mm}$$

$$\text{Coefficient d'écoulement} : 7,7 \text{ %}.$$

Le tableau ci-dessous donne les débits déversés durant les mois d'Août et de Septembre, ainsi que le total des apports naturels et des apports déversés.

	J	J	A	S	Volume total
Apports déversés en 10^3 m ³	0	0	3 364	4 300	7 664
Apports naturels en 10^3 m ³					10 014

En 1961, on avait obtenu les valeurs suivantes :

Module : $0,22 \text{ m}^3/\text{s}$ - Apports naturels : $6 950 \cdot 10^3 \text{ m}^3$

Lame d'eau équivalente : $H_e = 55 \text{ mm}$.

Déficit d'écoulement : $D_e = 830 - 55$

$D_e = 775 \text{ mm}$

Coefficient d'écoulement : 6,6 %

Ces valeurs, tant pour 1961 que pour 1962, sont certainement sous-estimées du fait des lâchements de vannes.

La valeur moyenne brute du module calculée sur 2 ans est de $0,27 \text{ m}^3/\text{s}$.

BASSIN VERSANT de NABAGALE

$$(S = 470 \text{ km}^2)$$

4.9.1 - Etalonnage du déversoir

Nous avons construit la courbe d'etalonnage du déversoir de NABAGALE à partir de 3 jaugeages de basses eaux et d'une formule d'écoulement (graphique 55)

Jaugeages	H cm	Q m^3/s
7/9/1963	426,5	0,45
9/9/1963	428,25	0,75
15/8/1962	436,7	10,3

Formule :

$$Q = \mu \cdot \sqrt{2g} \left[\ln \sqrt{h} + \left(\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_1} + \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_2} \right) h^2 \sqrt{h} \right]$$

$$Q = \mu \times 4,43 (186,5 h^{3/2} + 32 h^{5/2})$$

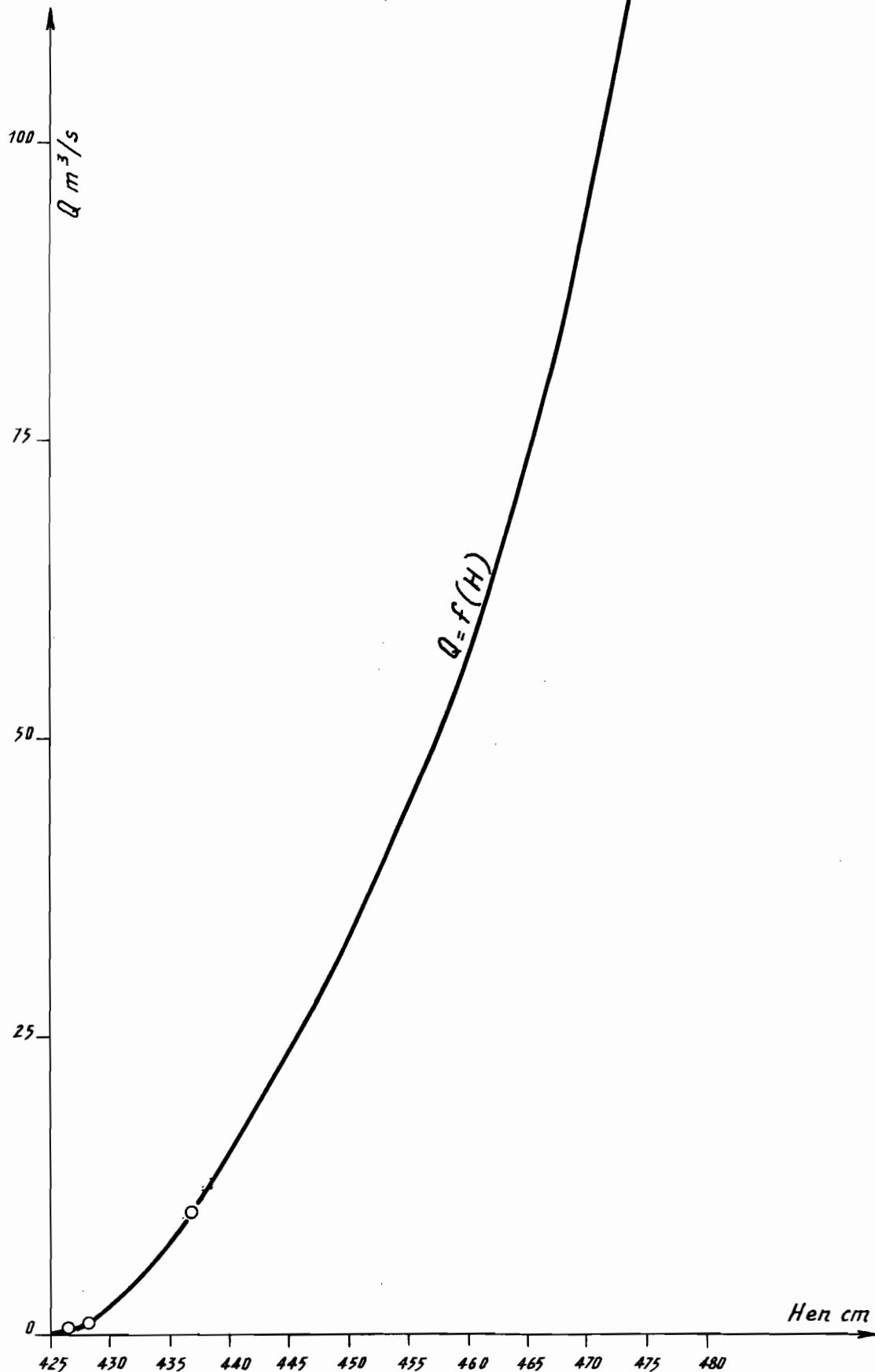
$$h_{\text{cm}} = H_{\text{cm}} - 426,0$$

La valeur du coefficient μ varie en fonction de h

h_{cm}	5	10	20	30	40
μ	0,325	0,33	0,335	0,34	0,34

Bassin Versant de NABAGALE
COURBE D'ÉTALONNAGE (*Provisoire*)

Gr : 55



4.9.2 - Débits journaliers - Débits moyens mensuels

Les débits journaliers entrant dans la retenue sont rassemblés dans le tableau suivant (en m³/s) :

Jours	J	J	A	S	O
1		0,2	1,4	14,6	0,8
2		0	2,4	31,0	0,8
3		0	6,9	18,8	0,8
4		0	8,7	17,6	2,0
5		0	9,9	19,1	2,3
6		0	11,6	11,5	2,3
7	0	0,1	13,0	9,6	2,3
8	0	0	19,0	12,2	2,3
9	0	0	6,4	15,8	2,3
10	0	0	5,2	10,0	2,3
11	0	0	3,3	7,4	2,1
12	0	0	3,2	6,5	1,7
13	0,83	1,0	27,4	5,0	1,1
14	0,81	1,4	24,4	4,2	0,7
15	0,09	0,4	7,8	3,0	0,4
16	0	0,4	1,9	1,8	0,2
17	0	0	1,5	1,9	0,1
18	0	0	1,9	5,9	0,1
19	0	0	3,0	7,0	0,1
20	0	0	3,8	6,0	0,1
21	0	0	7,9	5,0	0,1
22	2,0	0,4	8,4	4,0	0,1
23	0,68	0,4	5,4	4,3	0,1
24	0	0,1	7,7	3,4	0
25	0	1,2	19,9	2,1	0
26	0	1,3	16,7	1,0	0
27	0	0,4	25,9	0,8	0
28	0	0,7	17,6	0,7	0
29	0	0,4	10,4	0,4	0
30	0	0	8,9	0,8	0
31		0,2	8,8		0

Nous avons calculé les débits moyens mensuels correspondant à ces débits journaliers et nous les avons exprimés en m^3/s dans le tableau suivant qui comporte, en outre, les volumes mensuels entrant dans la retenue des mois de Juin à Octobre:

	J	J	A	S	O	
m^3/s	0,14	0,28	9,7	7,7	0,8	
Volume en $10^3 m^3$	363	750	25 142	19 958	2 142	

4.9.3 - Description des averses et des crues

Nous avons tracé pour chaque averse étudiée le réseau des isohyètes; cependant, vu la grandeur des mailles du réseau pluviométrique, la pluie moyenne est mal déterminée. D'autre part, le pluviographe de GONSE ayant eu de nombreuses pannes, il ne peut pratiquement pas nous fournir de renseignements.

Ceci limite notre étude.

Nous avons introduit, dans le rapport 1962, les crues observées en 1961, qui n'avaient pu être étudiées, la station n'étant pas encore étalonnée.

13 Juin - Averse n° 1

L'averse est centrée sur OUAGADOUGOU, elle couvre tout le bassin de NABAGALE et décroît en intensité vers le Sud.

$$P_M = (49,2 \text{ mm})$$

$$P = (39,0 \text{ mm})$$

La crue présente deux pointes.

La première pointe a un temps de montée de 2 heures et un débit maximal de $7,3 m^3/s$ et correspond à la partie de l'averse tombant sur la retenue et sur la région proche de l'exutoire ; la seconde pointe de crue se produit 10 heures après la première, elle atteint $2,1 m^3/s$.

$$t_m = 12 \text{ heures}$$

$$Q_M = 7,3 m^3/s$$

22 Juin - Averse n° 2

L'averse couvre tout le bassin et semble très homogène ; la majeure partie du bassin correspond à une dorsale pluviométrique.

$$P_M = (35,0 \text{ mm}) \quad P = (32,0 \text{ mm})$$

La crue ne présente qu'une seule pointe, suivie d'une décrue rapide. Puis le débit diminue beaucoup plus lentement avec l'arrivée du ruissellement de la partie amont du bassin.

$$t_m = 2 \text{ heures} \quad Q_M = 7,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

25-26 Juillet - Averse n° 3

Cette averse, centrée sur WABTENGA et OUAGADOUGOU, diminue très rapidement vers l'Ouest.

$$P_M = (89,0 \text{ mm}) \quad P = (26,0 \text{ mm})$$

Enregistrée à GONSE, l'averse est simple et dure 2 h.30.

La crue présente une première pointe possédant les caractéristiques suivantes :

$$t_m = 4 \text{ heures} \quad Q_M = 15,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Une seconde pointe beaucoup plus faible se produit 14 heures après la première. Pour la crue dans son ensemble, on trouve donc :

$$t_m = 18 \text{ heures} \quad Q_M = 15,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

13 Août - Averse n° 4

Centrée sur la retenue, cette averse décroît en intensité vers l'Ouest. La hauteur de la pluie relevée à NABAGALE est de fréquence décennale, mais elle est très hétérogène et rencontre des conditions de saturation médiocres.

$$P_M = (112,0 \text{ mm}) \quad P = (57,0 \text{ mm})$$

La crue présente deux pointes :

$$1\text{ère pointe} : t_m = 4 \text{ heures} \quad Q_M = 52,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$2\text{ème pointe} : t_m = 2 \text{ heures} \quad Q_M = 32,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cette seconde pointe se produit 5 heures après la première et est suivie d'une décrue rapide puis d'un palier.

Pour la crue globale, on prendra :

$$t_m = 9 \text{ heures} \quad Q_M = 52,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cette crue marque le maximum atteint en 1962, maximum correspondant au noyau intense centré sur la retenue.

24 Août - Averse n° 5

Cette averse est centrée sur les parties Nord et Sud du bassin, le centre correspond à un creux pluviométrique.

$$P_M = (30,0 \text{ mm}) \quad P = (23,6 \text{ mm})$$

La crue présente deux pointes séparées par un petit palier.

$$t_m = 12 \text{ heures} \quad Q_M = 13,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

25 Août - Averse n° 6

Centrée sur NABAGALE, cette averse décroît rapidement en intensité sur le reste du bassin. La pluie moyenne est faible, mais l'état de saturation du sol est bon après la pluie de la veille.

$$P_M = (22,5 \text{ mm}) \quad P = (15,0 \text{ mm})$$

La crue est certainement influencée par la crue du 24.

$$t_m = 14 \text{ heures} \quad Q_M = 23 \text{ m}^3/\text{s}$$

26-27 Août - Averse n° 7

Cette averse comporte une dorsale pluviométrique qui prend en écharpe du Nord au Sud le centre du bassin.

$$P_M = (60,0 \text{ mm})$$

$$P = (35,0 \text{ mm})$$

La crue présente une première montée qui correspond à la pluie tombant sur la retenue, puis un palier qui précède une seconde pointe de crue.

$$t_m = 14 \text{ heures}$$

$$Q_M = 32,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Les conditions de saturation sont bonnes.

4 Septembre - Averse n° 8

L'averse est centrée sur l'Ouest du bassin et décroît très rapidement en intensité vers l'Est où elle est pratiquement nulle

$$P_M = (16,0 \text{ mm})$$

$$P = (16,0 \text{ mm})$$

Cette faible averse survient dans de très bonnes conditions de saturation, d'où un débit maximal non négligeable.

$$t_m = 12 \text{ heures}$$

$$Q_M = 22,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

2 Septembre 1961 - Averse n° 9

L'averse décroît d'Ouest en Est; d'autre part, les relevés de pluviomètre de BOASA sont certainement sous-estimés.

$$P_M = (84,0 \text{ mm})$$

$$P = (75,0 \text{ mm})$$

La crue qui résulte d'une pluie moyenne estimée à 75,0 mm, pluie moyenne de fréquence décennale, présente les caractéristiques suivantes :

$$t_m = 12 \text{ h.30}$$

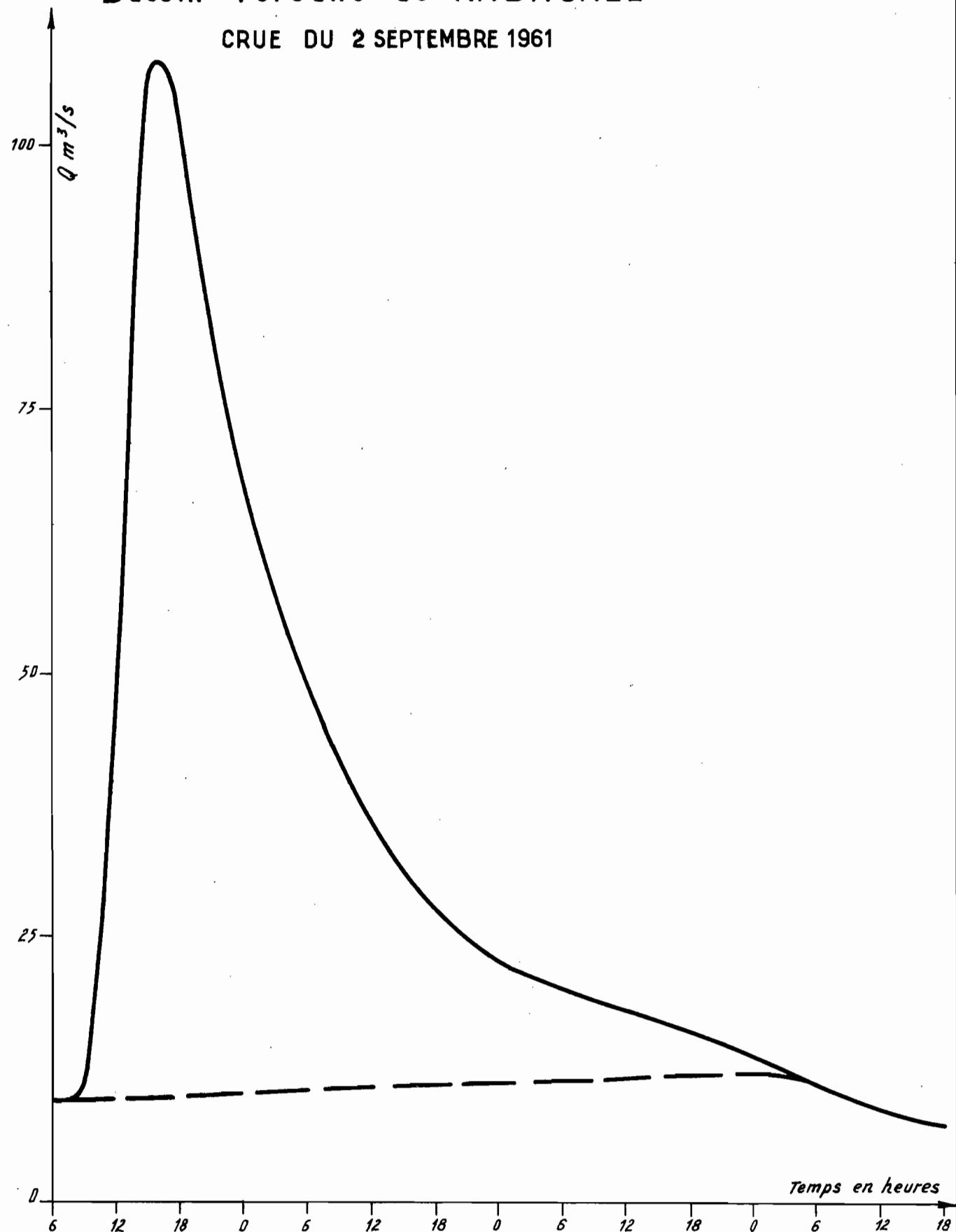
$$Q_M = 108 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (graphique 56)}$$

Les conditions de saturation étaient un peu plus défavorables que les conditions moyennes.

Bassin Versant de NABAGALE

Gr: 56

CRUE DU 2 SEPTEMBRE 1961



Temps en heures

0

6

2-9

12

0

6

12

18

0

6

12

18

3-9

4-9

5-9

ORSTOM

Ao

DATE:

DESSINÉ:

VOL. 61.169

11 Septembre 1961 - Averse n° 10

L'averse est centrée sur BOULBI et décroît vers le Sud-Est du bassin.

$$P_M = (99,0 \text{ mm})$$

$$P = (75,0 \text{ mm})$$

La crue est simple.

$$t_m = 12 \text{ heures}$$

$$Q_M = 58 \text{ m}^3/\text{s}$$

Les conditions de saturation sont assez comparables à celles du 2 Septembre, la forme du hyéogramme est moins favorable à un fort ruissellement.

4.9.4-Caractéristiques des crues

Le tableau ci-après rassemble les caractéristiques des crues de 1961 et de 1962.

Le coefficient de réduction $K = \frac{P}{P_M}$ n'est donné qu'à titre d'indication.

L'examen de ce tableau nous permet de faire les remarques suivantes :

Le temps de montée varie fortement selon la saison et selon la position de l'épicentre de l'averse produisant la crue.

Au début de la saison des pluies, seules les parties les plus proches du réseau hydrographique sont drainées correctement ; le bassin de NABAGALE ne possédant pas un réseau hydrographique très important, voit de ce fait de nombreuses parties de sa surface condamnées à une sorte d'endoréisme saisonnier.

Il faut attendre la mi-Août pour que la mise en eau du bassin se fasse et que, d'autre part, le déversement de BOULBI commence. Jusqu'à cette époque, nous n'avons en fait que des ruissellements partiels. D'où des valeurs exagérées de Q_M/HR et des valeurs trop faibles de t_m au début de la saison des pluies.

BASSIN VERSANT de NABAGALE ($S = 470 \text{ km}^2$)

Caractéristiques des crues 1961-1962

	N°	Date	P_M	P	K	V_R	H_R	K_R	t_m	t_p	T_b	Q_M	Q_M/H_R	q_{\max}	
1962	1	13/6	49,0	39,0	0,80	205	0,44	1,1	2		2	7,3	16,8	15,5	
	2	22/6	35,0	32,0	0,91	244	0,52	1,6	2		2	7,3	14,0	15,5	
	3	26/7	89,0	26,0	0,29	278	0,59	2,3	4,18		3	15,5	26,2	33,0	
	4	13/8	112,0	57,0	0,51	3513	7,45	13,1	4,9		3	52,8	6,7	112,0	
	5	24/8	30,0	23,6	0,79	918	1,95	8,3	12		11	2 1/2	13,8	5,1	29,4
	6	25/8	22,5	15,0	0,67	1846	3,9	26,0	14		3	23,0	4,9	49,0	
	7	26-27/8	60,0	35,0	0,58	2772	5,9	17,0	14		8	3	32,0	4,4	68,0
	8	4/9	16,0	16,0	1,00	1774	3,78	23,6	12		3	22,2	4,6	47,3	
1961	9	2/9	84,0	75,0	0,89	6666	14,2	18,7	12 1/2		3	108,0	6,9	230,0	
	10	11/9	99,0	75,0	0,75	4320	9,2	12,2	12		3	58,0	6,4	127,0	

La crue n° 4 a dû ruisselé sur l'ensemble du bassin, mais l'averse trop hétérogène était centrée sur l'aval, d'où un temps de montée trop court.

En considérant les crues de fin de saison des pluies et plus particulièrement les crues 5 à 10, nous pouvons estimer à 12 heures le temps de montée d'une crue unitaire pour le bassin de NABAGALE.

Les coefficients de ruissellement très faibles que l'on note en début de saison des pluies (crues 1 à 3) correspondent, d'une part, à un mauvais drainage du fait des conditions de saturation déficitaires et, d'autre part, au fait que la retenue de BOULBI ne déverse pas ; il faut donc déjà retirer 125 km² de la superficie du bassin de NABAGALE, ce qui augmente notablement les coefficients de ruissellement réel correspondant à ces 3 crues. Mais même dans les cas où tout le bassin ruisselle, ou tout au moins la plus grande partie du bassin, les coefficients de ruissellement restent faibles et sont de l'ordre de 25 % pour de bonnes conditions de saturation, valeur semblable à celle trouvée pour BOULBI, KAMBOENSE et SELOGEN.

Le rapport Q_M/H_R , pour des crues qui correspondent à un ruissellement global, varie peu, passant de 4,4 à 6,9. La valeur du rapport Q_M/H_R à prendre en considération pour les fortes crues est de l'ordre de 7,0. En effet, les trois plus fortes crues enregistrées sur deux années consécutives, dont une devait être de fréquence décennale, présentent des rapports Q_M/H_R variant entre 6,4 et 6,9.

4.9.5 - Etude du coefficient de ruissellement

Il ne peut être question de procéder à la recherche de la précipitation limite d'écoulement, non plus que de chercher une relation entre coefficient de ruissellement, pluie moyenne et indice d'humidité. La connaissance imprécise que nous avons des averses et aussi la superficie du bassin nous l'interdisent.

4.9.6 - Recherche d'un hydrogramme-type

La meilleure façon d'arriver à cet hydrogramme-type serait sans nul doute d'employer la méthode de CLARKE tout comme dans le cas des bassins de OUAGADOUGOU et de LUMBILA ; mais cette méthode exige la connaissance de l'heure de cessation de la pluie responsable d'une crue.

La méthode de l'hydrogramme unitaire ne devrait, en toute rigueur, pas être appliquée à ce bassin vu sa superficie. Aussi, étant donné les formes variables de nos hydrogrammes de crues qui peuvent présenter une ou plusieurs pointes selon la répartition de l'averse dans le temps et dans l'espace, nous nous bornerons à donner ci-dessous les estimations des principales caractéristiques d'une crue unitaire correspondant à une forte averse ruisselant sur la totalité du bassin, type de crue qui, pour un bassin d'une telle étendue, n'est pas très fréquent mais qui est le seul qui se prête aux calculs de reconstitution.

temps de montée : 12 heures
temps de base : 3 jours
rapport Q_M/H_R : 7,0

4.9.7 - Estimation des crues médianes et décennales

Crue médiane :

Comme nous l'avons déjà fait remarquer pour le bassin de LUMBILA, la crue médiane d'un bassin de cette superficie n'est pas forcément déclenchée par une averse présentant une hauteur maximale ponctuelle de même fréquence.

Tout comme pour le bassin de LUMBILA, nous considérerons que 80,0 mm est la valeur de la précipitation ponctuelle à prendre en considération pour notre estimation de crue médiane. Cette façon de procéder ne satisfait guère l'esprit, mais c'est la plus pratique. Elle revient à supposer que 1 année sur 2, en un point quelconque situé pas trop loin du centre du bassin, se produit une averse ponctuelle nettement supérieure à la fréquence médiane avec une valeur moyenne du coefficient de réduction soit, ici, 0,70.

En adoptant un coefficient de réduction de 0,65, nous obtenons une pluie moyenne :

$$P = 80,0 \times 0,65 = 52 \text{ mm}$$

Nous estimons K_R à 15 %.

$$H_R = 52 \times 0,15$$

$$H_R = 8,4 \text{ mm}$$

$$Q_M = H_R \times 7,0$$

$$Q_M = 58,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous retiendrons pour la crue médiane $59 \text{ m}^3/\text{s}$ ($q = 125 \text{ l/s.km}^2$).

Crue décennale :

Nous prendrons comme coefficient de réduction $K = 0,75$.

La pluie moyenne sera donc :

$$P = 112,5 \times 0,75 = 84,3 \text{ mm}$$

En estimant à 20 % le coefficient de ruissellement correspondant à des conditions de saturation légèrement supérieures à celles de l'averse 9, on obtient :

$$H_R = 84,3 \times 0,20$$

$$H_R = 16,8 \text{ mm}$$

$$Q_M = 16,8 \times 7,0$$

$$Q_M = 118 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous retiendrons pour la crue décennale : $120 \text{ m}^3/\text{s}$ ($q = 255 \text{ l/s.km}^2$)

4.9.8 - Bilan de surface

Nous rappellerons les débits moyens mensuels en m^3/s des mois de Juin à Octobre :

:	J	:	J	:	A	:	S	:	O	:
:		:		:		:		:		:
:	0,14	:	0,28	:	9,7	:	7,7	:	0,8	:
:		:		:		:		:		:

Ces débits nous permettent de calculer le module pour 1962. On a ajouté au volume entré dans la retenue de Juin à Octobre le volume de la retenue à sa cote de déversement, en considérant la retenue comme vide au début de saison des pluies.

Module : 1,59 m³/s

Hauteur de la lame d'eau équivalente H_e = 107 mm

Déficit d'écoulement D_e = P - H_e = 1070 - 107

D_e = 963 mm

Coefficient d'écoulement : 10 %

Nous donnons dans le tableau ci-dessous les apports mensuels déversés, ainsi que le total des apports naturels et des apports déversés.

	J	J	A	S	O	Volume total :
Apports déversés	240	750	25 135	19 950	2 140	48 215
en 10 ³ m ³						
Apports naturels						50 238
en 10 ³ m ³						

Nous avons établi le bilan de surface pour l'année 1961.

Le limnigraphie n'avait pu être installé que le 31-7-1961.

Débits moyens mensuels en m³/s

Août : 0,69 Septembre : 9,56

Apports déversés : 26 627.10³ m³

Module : 0,90 m³/s - Apports naturels : 28 610.10³ m³
(correspondant à la totalité des apports annuels, Juin et Juillet compris).

Lame d'eau équivalente $H_e = 61 \text{ mm}$

Déficit d'écoulement $D_e = 820 - 61$

$D_e = 759 \text{ mm}$

Coefficient d'écoulement : $7,4 \%$

Rappelons qu'en 1961 la pluviométrie du bassin versant de NABAGALE accusait un déficit de $6,3 \%$ par rapport à la normale, alors qu'en 1962, la pluviométrie de ce bassin est en augmentation de 22% par rapport à la normale.

La valeur moyenne brute du module calculée sur deux ans est de $1,24 \text{ m}^3/\text{s.}$

BASSIN VERSANT de SELOGEN

$$(S = 75 \text{ km}^2)$$

4.10.1 - Etalonnage du déversoir

La courbe d'etalonnage s'appuie sur 4 jaugeages dont nous donnons ci-dessous la liste :

<u>Jaugeages</u>	<u>H cm</u>	<u>Q m³/s</u>
15/8/62	788,75	0,26
12/9/62	813,0	1,72
18/9/62	809,5	1,32
25/9/62	799,5	0,625

On a adapté une formule d'écoulement à la courbe de tarage, mais l'etalonnage de ce déversoir reste peu précis.

4.10.2 - Débits journaliers - Débits moyens mensuels

A partir des limnigrammes, nous avons calculé les débits journaliers entrant dans la retenue ; ces débits en m³/s sont rassemblés dans le tableau suivant.

Jours	J	J	A	S	O
1		0,44	0,04	8,5	0,57
2		0,07	0,68	3,8	0,54
3		0	1,00	3,0	0,44
4		0	0,31	2,4	1,1
5		0	0,07	2,0	1,4
6		0	0,04	1,6	1,0
7		0	0,04	2,8	0,86
8		0	0,10	3,9	0,92
9		0	0,17	3,5	0,98
10		0	0,55	2,9	0,90
11		0	0,29	1,9	0,63
12		0,03	0,31	1,7	0,49
13		0,06	0,29	1,4	0,52
14		0	0,26	0,87	1,1
15		0	0,16	0,94	0,84
16		0	0,33	0,83	0,53
17		0	0,29	1,4	0,45
18		0	0,13	1,7	0,37
19		0	0,30	1,2	0,27
20		0	0,52	1,1	0
21		0	0,53	3,3	0
22		0,09	0,30	2,0	0
23		0,07	0,24	1,2	0
24		0,02	0,87	0,86	0
25		0	0,89	0,71	0
26	0	0	0,97	0,61	0
27	0	0	1,04	0,56	0
28	0	0	0,63	0,64	0
29	0,20	0	0,49	0,62	0
30	0,06	0,03	0,34	0,61	0
31		0,03	0,93		0

Ces débits journaliers nous permettent de calculer les débits moyens mensuels, que nous avons exprimés en m^3/s dans le tableau ci-dessous. On trouvera également dans ce tableau les volumes mensuels entrant dans la retenue.

	J	A	S	O	
m^3/s	0,02	0,42	1,95	0,44	
Volume en $10^3 m^3$	53,5	1 125	5 054	1 178	
	:	:	:	:	

4.10.3 - Description des averses et des crues

Nous avons étudié, pour l'année 1962, 14 couples averse-crue.

2-3 Août - Averse n° 1

Répartie sur tout le bassin, cette averse débute sur la partie aval. Elle est fractionnée en trois parties donnant chacune une pointe de crue.

Durée de la pluie utile : 30 minutes.

$$P_M = 55,5 \text{ mm}$$

$$P = 47,0 \text{ mm}$$

La crue présente trois pointes principales.

$$t_m = 3 \text{ heures}$$

$$Q_M = 5,2 \text{ } m^3/s$$

24 Août - Averse n° 2

Pas d'enregistrement aux pluviographes. Cette averse était certainement complexe, vu l'allure de la crue qui présente 3 pointes successives, et centrée sur l'aval du bassin.

$$P_M = 35,7 \text{ mm}$$

$$P = 15,0 \text{ mm}$$

La crue a un temps de montée total.

$$t_m = 11 \text{ heures} \quad Q_M = 2,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

26 Août - Averse n° 3

L'averse enregistrée à NAZOUMA s'étale sur 5 heures et diminue en intensité vers l'amont du bassin.

$$P_M = 32,0 \text{ mm} \quad P = 14,2 \text{ mm}$$

La crue présente une montée rapide correspondant au maximum de l'averse, centré sur l'aval, et une seconde petite pointe due à une recrudescence de l'averse.

$$t_m = 4 \text{ h.}30 - 6 \text{ heures} \quad Q_M = 4,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

31 Août - Averse n° 4

Cette averse, bien répartie sur tout le bassin, s'étale sur 6 heures avec de multiples pointes. Durée de la pluie utile : 80 minutes.

$$P_M = 104,6 \text{ mm} \quad P = 71,8 \text{ mm}$$

L'épicentre se trouve sur l'aval du bassin, l'averse diminuant en intensité vers l'Ouest.

$$t_m = 4 \text{ heures} \quad Q_M = 32,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

C'est la plus forte crue de l'année, elle correspond à une précipitation ponctuelle de fréquence pratiquement décennale.

Les conditions de saturation sont simplement médiocres, la crue doit être légèrement inférieure à une crue décennale.

3 Septembre - Averse n° 5

Cette averse, enregistrée à NAZOUMA, couvre tout le bassin mais décroît en intensité vers l'amont. Elle est unitaire.

$$P_M = 24,0 \text{ mm} \quad P = 15,7 \text{ mm}$$

La crue correspondante est simple.

$$t_m = 6 \text{ h.30} \quad Q_M = 4,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

6 Septembre - Averse n° 6

Averse faible mais bien répartie sur tout le bassin.

La crue est double.

$$t_m = 5 \text{ h.30} \quad Q_M = 3,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

7 Septembre - Averse n° 7

Enregistrée à NAZOUUMA, cette averse couvre le bassin et est de durée unitaire.

$$P_M = 19,5 \text{ mm} \quad P = 18,4 \text{ mm}$$
$$t_m = 9 \text{ heures} \quad Q_M = 5,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

9 Septembre - Averse n° 8

Averse très homogène.

$$P_M = 22,0 \text{ mm} \quad P = 20,4 \text{ mm}$$

La crue est simple.

$$t_m = 11 \text{ heures} \quad Q_M = 4,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

11 Septembre - Averse n° 9

Averse faible mais bien répartie sur tout le bassin et bénéficiant, comme les 4 averse précédentes, de bonnes conditions de saturation.

$$P_M = 11,5 \text{ mm} \quad P = 10,4 \text{ mm}$$
$$t_m = 6 \text{ heures} \quad Q_M = 2,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

17 Septembre - Averse n° 10

Cette averse couvre tout le bassin et se dirige d'amont en aval. Elle est surtout abondante sur l'amont. Averse complexe; elle présente trois parties séparées par des intervalles de temps de l'ordre d'une heure.

$$P_M = 22,5 \text{ mm}$$

$$P = 20,3 \text{ mm}$$

L'averse est double.

$$t_m = 12 \text{ h.}30 - 16 \text{ heures}$$

$$Q_M = 2,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

20-21 Septembre - Averse n° 11

Cette averse diminue en intensité sur l'aval du bassin. Durée de la pluie utile : 15 minutes ; donc l'averse est unitaire.

$$P_M = 24,5 \text{ mm}$$

$$P = 21,2 \text{ mm}$$

La crue présente une pointe qui précède une décrue rapide et un palier de débit s'étalant sur à peu près 18 heures.

$$t_m = 6 \text{ heures}$$

$$Q_M = 5,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

4 Octobre - Averse n° 12

Cette averse, enregistrée à NAZOUNA, est répartie sur tout le bassin et présente une durée unitaire.

$$P_M = 28,5 \text{ mm}$$

$$P = 18,6 \text{ mm}$$

La crue est double. Les 2 pointes sont séparées par un intervalle de temps de 4 heures et précèdent un palier de débit qui dure à peu près 18 heures.

$$t_m = 6 \text{ heures}$$

$$Q_M = 2,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

13 Octobre - Averse n° 13

Cette averse décroît en intensité vers l'amont du bassin.

$$P_M = 23,0 \text{ mm} \quad P = 15,0 \text{ mm}$$

La crue est simple et présente un palier de débit de l'ordre de 24 heures.

$$t_m = 4 \text{ heures} \quad Q_M = 1,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous rappellerons les caractéristiques des averses et des crues étudiées en 1961.

2 Septembre - Averse n° 14

Cette averse était centrée sur l'amont du bassin et s'étalait sur 12 heures. On notait un arrêt de 6 heures et une nouvelle averse de 4 heures.

$$P_M = 65,0 \text{ mm} \quad P = 60,0 \text{ mm}$$

La crue résultante était double.

$$t_m = 4 - 6 \text{ heures} \quad Q_M = 4,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

11 Septembre - Averse n° 15

Bien répartie sur tout le bassin, cette averse peut être considérée comme unitaire.

$$P_M = 59,0 \text{ mm} \quad P = 50,0 \text{ mm}$$

La crue était simple.

$$t_m = 5 \text{ heures} \quad Q_M = 7,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.10.4 - Caractéristiques des crues

Les caractéristiques des crues étudiées en 1961 et en 1962 sont rassemblées dans le tableau ci-après. Nous avons introduit dans ce tableau une colonne supplémentaire qui comporte le débit de base Q_0 au début de chaque crue.

BASSIN VERSANT de SELOGEN (S = 75 km²)
 Caractéristiques des crues 1961-1962

N°	Date	P _M	P	K	V _R	H _R	K _R	I _H	q _o	t _m	t _p	T _b	Q _M	Q _M /H _R	q _{max}
1962	1 : 2-3/8	: 55,5	: 47,0	: 0,85	: 150	: 2,3	: 4,4	: 19,2	: 0	: 3 1/2	: 4	: 3	: 5,2	: 2,3	: 70,0
	2 : 24/8	: 35,7	: 15,0	: 0,40	: 180	: 2,4	: 16,0	: 36,1	: 0,12	: 11		: 3	: 2,3	: 0,96	: 30,6
	3 : 26/8	: 32,0	: 14,2	: 0,44	: 144	: 1,9	: 13,5	: 32,6	: 0,22	: (4 1/2):(2)		: 3 1/2	: 4,0	: 2,1	: 53,4
	4 : 31/8	: 104,6	: 71,8	: 0,69	: 850	: 11,3	: 15,8	: 21,7	: 0,20	: 4	: 2	: 3	: 32,3	: 2,86	: 430,0
	5 : 3/9	: 24,0	: 15,7	: 0,65	: 252	: 3,3	: 21,4	: 47,8	: 1,0	: 6 1/2	: (6 1/2)	: 4	: 4,1	: 1,24	: 54,7
	6 : 6/9	: 17,0	: 13,7	: 0,81	: 208	: 2,8	: 20,0	: 34,3	: 1,0	: 5 1/2		: 3	: 3,4	: 1,21	: 45,3
	7 : 7/9	: 19,5	: 18,4	: 0,94	: 234	: 3,1	: 17,0	: 43,9	: 1,02	: 9	: (9)	: 3	: 5,8	: 1,87	: 77,3
	8 : 9/9	: 22,0	: 20,4	: 0,93	: 381	: 5,1	: 25,0	: 36,6	: 1,04	: 11	: (11)	: 3 1/2	: 4,9	: 0,96	: 65,4
	9 : 11/9	: 11,5	: 10,4	: 0,90	: 136	: 1,8	: 17,5	: 36,3	: 1,06	: 6		: 3 1/2	: 2,4	: 1,34	: 32,0
	10 : 17/9	: 22,5	: 20,3	: 0,90	: 131	: 1,7	: 8,4	: 18,4	: 0,75	: 12 1/2		: 3	: 2,0	: 1,10	: 26,6
	11 : 20-21/9	: 24,5	: 21,2	: 0,86	: 360	: 4,8	: 22,6	: 26,8	: 0,90	: 6	: 5	: 4	: 5,9	: 1,23	: 79,0
	12 : 4/10	: 28,5	: 18,6	: 0,65	: 216	: 2,9	: 15,5	: 29,0	: 0,40	: 6	: (5)	: 4	: 2,42	: 0,83	: 32,0
	13 : 13/10	: 23,0	: 15,0	: 0,65	: 108	: 1,4	: 9,3	: 11,5	: 0,40	: 4		: 4	: 1,7	: 1,22	: 22,6
1961	14 : 2/9	: 65,0	: 60,0	: 0,92	: 280	: 3,7	: 6,2	: 19,2:(0,10)	: 4 - 6	: 4 - 6	: 3	: 4,0	: 1,08	: 55,0	
	15 : 11/9	: 59,0	: 50,0	: 0,85	: 430	: 5,7	: 11,4	: 16,2	: 0,20	: 5	: 5	: 3	: 7,0	: 1,23	: 95,0

L'examen des données de ce tableau nous permet de tirer les conclusions suivantes.

Les seules averses dont nous possédions les enregistrements et qui engendrent des crues pratiquement unitaires sont les averses n° 5, 11 et 15. En nous basant sur le rapport Q_M/H_R , nous pouvons également considérer comme unitaire les crues 6, 9 et 13.

En considérant les temps de montée de ces crues, on peut fixer à 6 heures le temps de montée de la crue unitaire, pour une averse de moyenne importance.

Les coefficients de ruissellement sont assez faibles, comme pour la LUMBILA et KAMBOENSE.

Pour 4 crues $K_R < 10\%$

Pour 8 crues $10\% < K_R < 20\%$

Pour 3 crues $20\% < K_R < 25\%$

Le plus fort coefficient de ruissellement obtenu sur deux années consécutives est de 25 % et correspond à de bonnes conditions de saturation. Ce bassin apparaît donc comme parmi les plus perméables de ceux que nous ayons étudiés. Cette grande perméabilité est d'ailleurs soulignée par l'existence d'un débit de base notable, que nous ferons intervenir dans notre étude du coefficient de ruissellement en tant que donnée repère de l'état de saturation, tout comme l'indice d'humidité. Cependant, la nature du réseau hydrographique et la latitude plus méridionale correspondant à des précipitations annuelles plus abondantes, compensent en partie cette forte perméabilité d'où des coefficients de ruissellement pas trop faibles.

L'examen du rapport Q_M/H_R des crues considérées comme unitaires montre qu'il varie peu, passant de 1,21 à 1,34. Mais nous devons remarquer que presque toutes ces crues correspondent à des averses peu importantes, seule l'averse n° 14 atteignant l'averse de fréquence médiane. Or, pour l'averse n° 4 qui atteint presque la fréquence décennale, le rapport Q_M/H_R atteint 2,86. Cette crue présente, en outre, un temps de montée inférieur de 2 heures à celui de la crue unitaire; cette augmentation du rapport Q_M/H_R souligne le fait bien connu que pour des averses nettement plus fortes que les averses courantes, on peut rencontrer des hydrogrammes unitaires beaucoup plus aigus.

4.10.5 - Etude du coefficient de ruissellement

Nous pouvons estimer la précipitation limite de ruissellement à 9 à 10 mm dans le cas où la somme des précipitations des 30 jours précédents atteint 300 mm (graphique 57).

La recherche de cette même précipitation limite par la méthode classique nous permet d'estimer à 10 - 11 mm la précipitation nécessaire pour que le ruissellement se produise après 2 jours sans pluie (graph. 58). Cette précipitation limite est sensiblement égale à celle trouvée pour le bassin du FLAKOHO (Côte d'Ivoire), bassin dont le substratum est composé de latérites perméables.

Cette perméabilité relative nous conduit à introduire, dans l'étude des relations entre K_R , P et I_H , un nouveau facteur Q_0 , c'est-à-dire le débit de base au moment où se produit la crue.

Nous avons recherché graphiquement une corrélation entre K_R et P et nous avons fait une première correction pour tenir compte de l'indice d'humidité I_H . Nous avons ensuite procédé à une seconde correction pour tenir compte de Q_0 , seconde correction qui a notablement resserré nos points (graphiques 59 à 61).

Remarquons que le débit de base de la crue n° 14 est mal connu, le début de cette crue ayant été reconstitué. La crue n° 13 correspond certainement à un ruissellement partiel et n'entre pas en ligne de compte.

4.10.6 - Recherche d'un hydrogramme-type

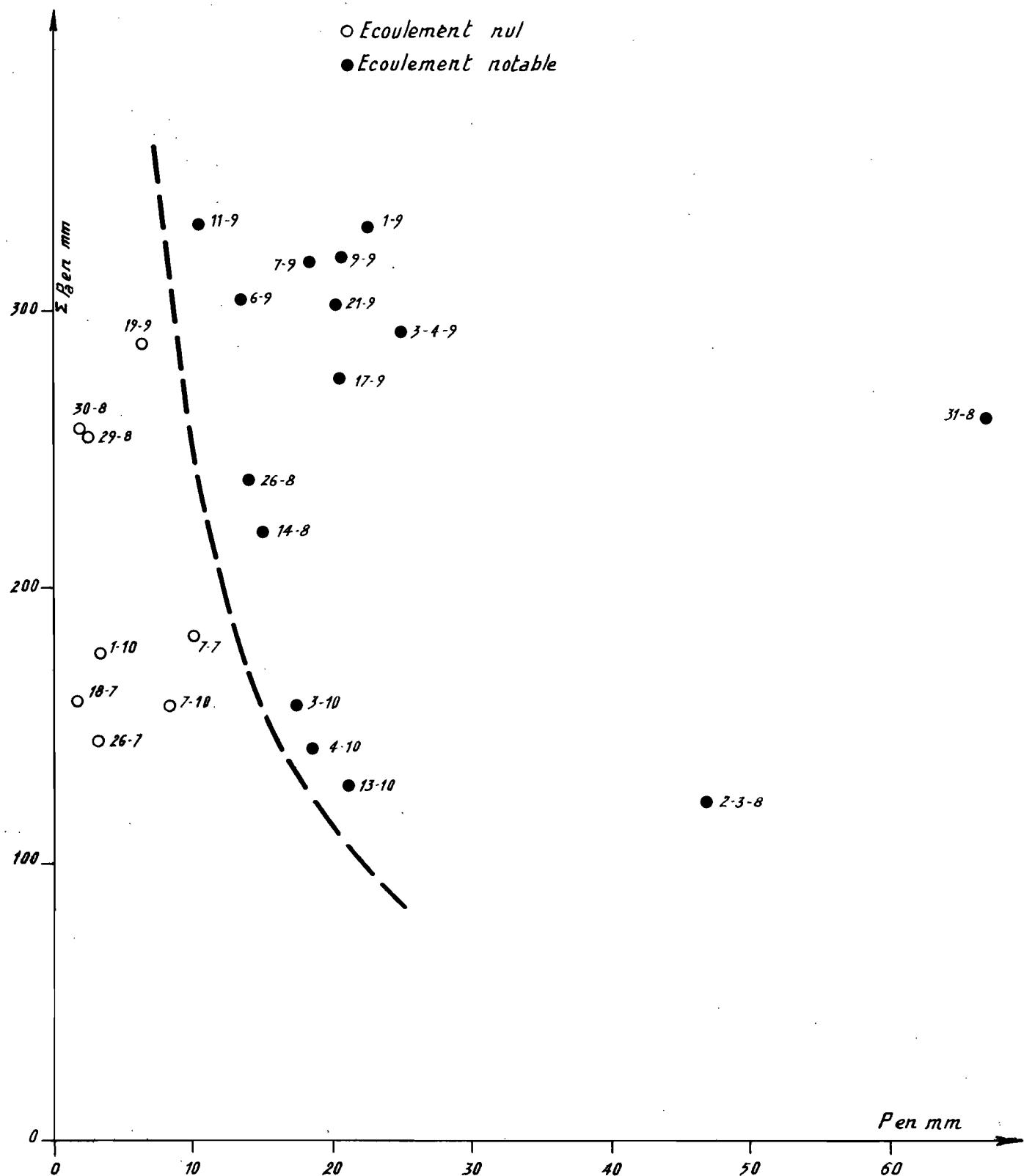
Nous ne pourrons valablement construire d'hydrogramme-type du bassin de SELGEN qu'après l'étude des crues enregistrées en 1963, crues ayant dépassé les cotes de 1961 et de 1962.

Nous pouvons cependant faire les remarques suivantes. Pour les crues pas trop fortes (crue médiane), le temps de montée de la crue unitaire peut être pris égal à 6 heures. Le temps de base varie entre 3 et 4 jours. En effet, les crues de fin de saison des pluies (crues n° 11, 12 et 13) ont des temps de base de 4 jours et présente toutes les 3 un palier de débit survenant après la pointe de crue et s'étalant sur 18 à 24 heures. Nous pouvons considérer que le rapport Q_M/HR à prendre en considération pour la crue médiane est de l'ordre de 1,2.

Bassin Versant de SELOGEN

Gr: 57

VARIATIONS DE LA PRÉCIPITATION LIMITÉE D'ÉCOULEMENT EN FONCTION DE ξ Pa

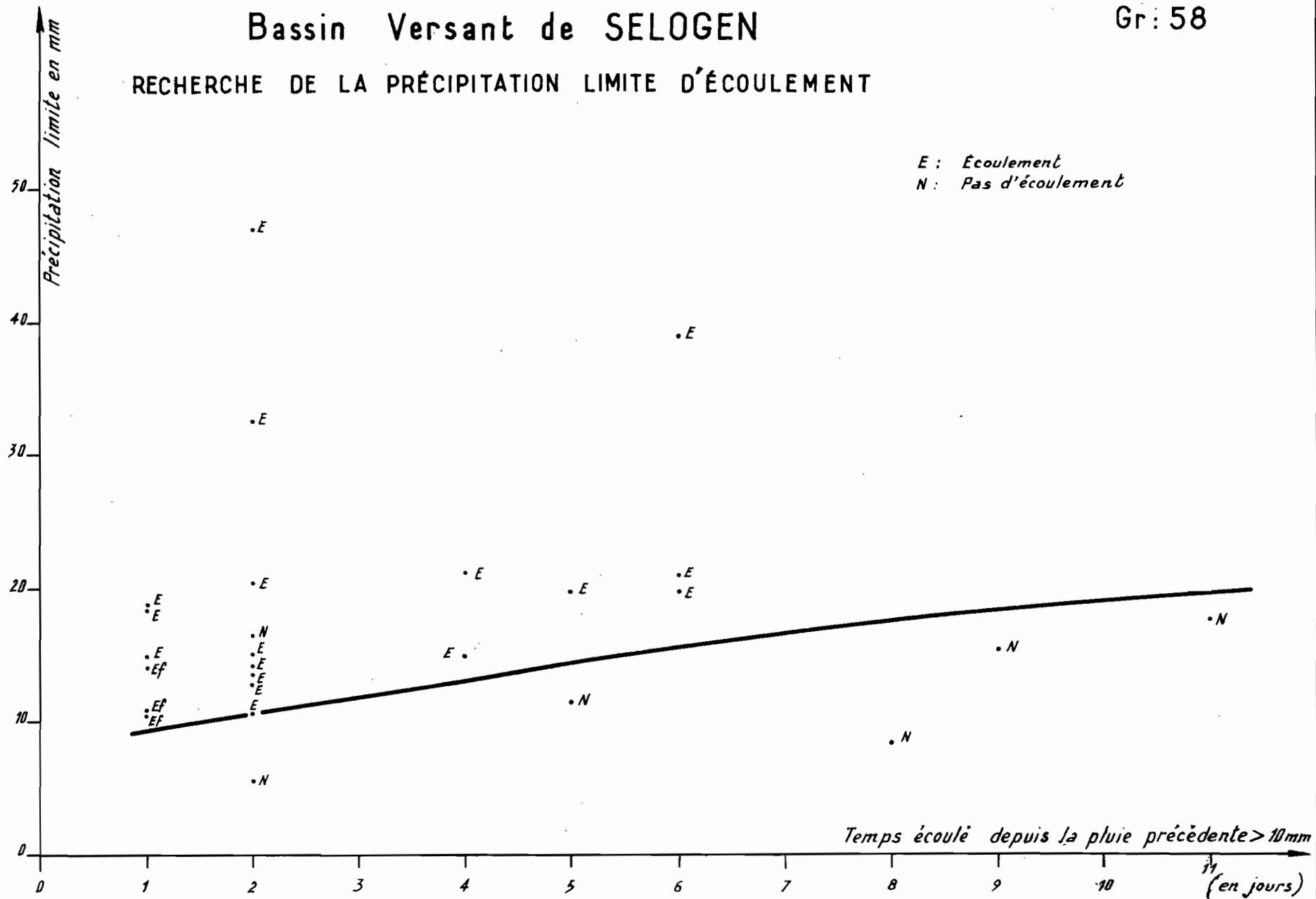


Bassin Versant de SELOGEN

Gr: 58

RECHERCHE DE LA PRÉCIPITATION LIMITÉE D'ÉCOULEMENT

E : Écoulement
N : Pas d'écoulement

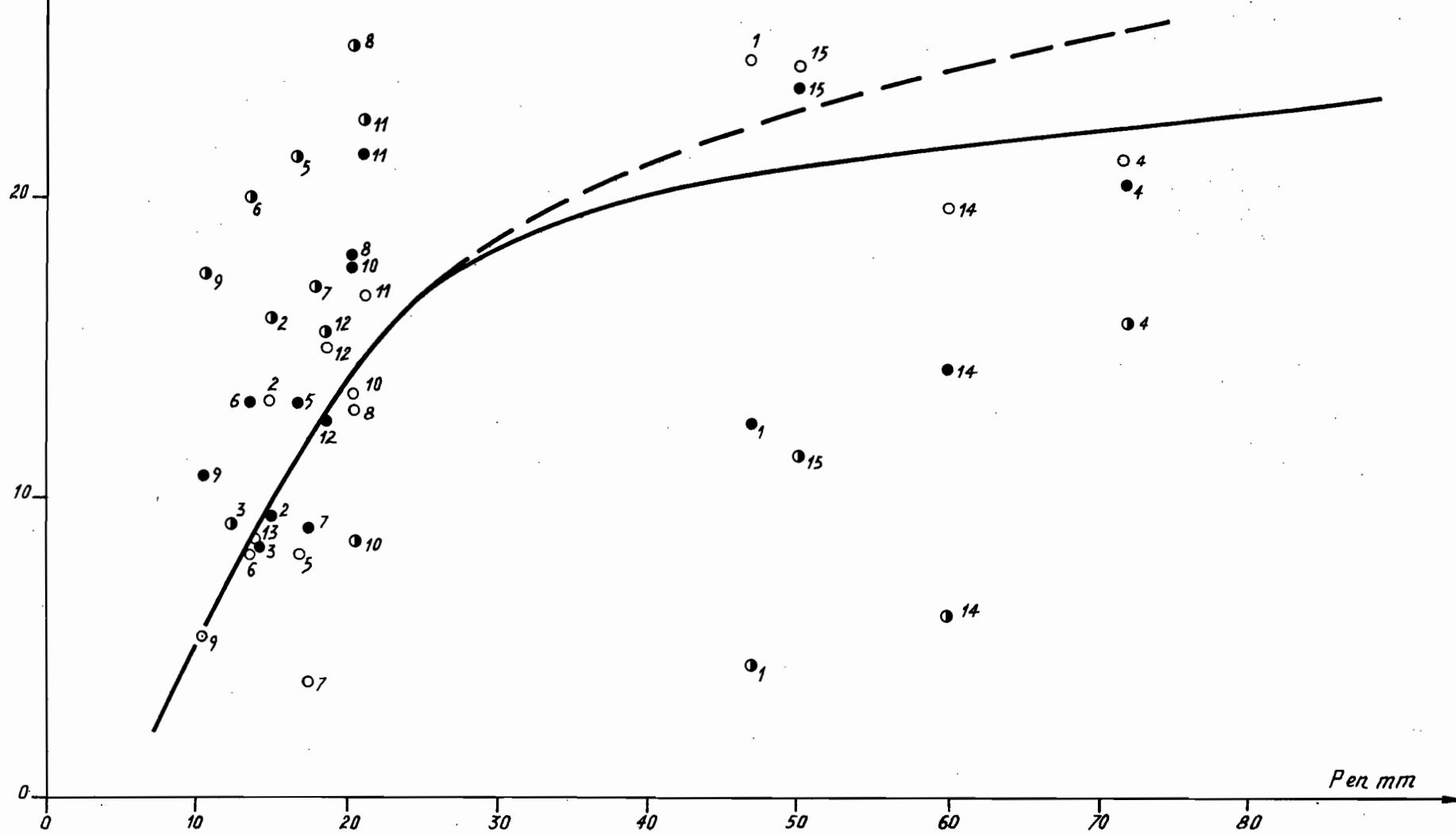


Bassin Versant de SELOPEN

Gr: 59

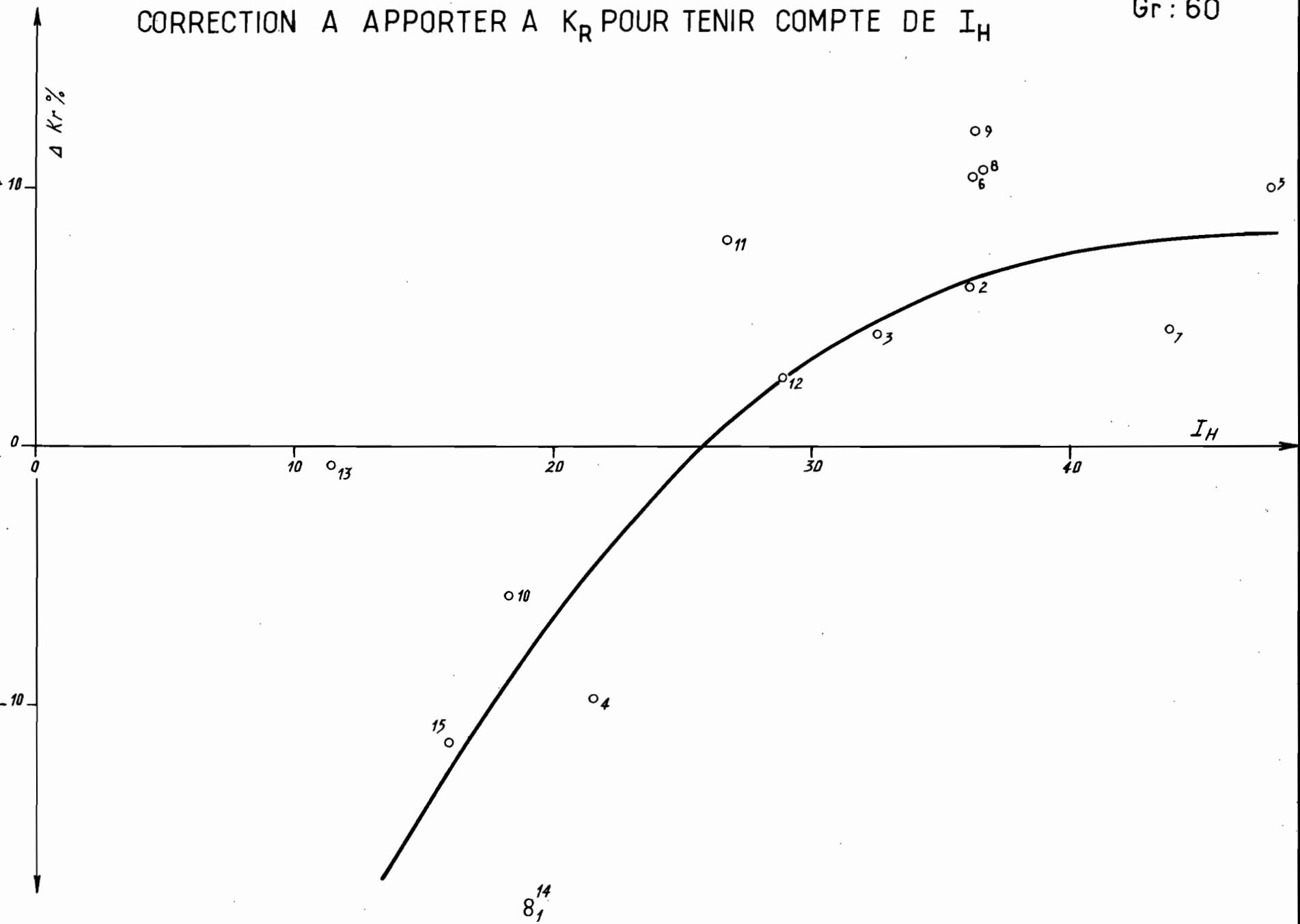
CORRÉLATION (K_r, P) CORRIGÉE POUR UN INDICE D'HUMIDITÉ $I_H=26$ ET UN DÉBIT DE BASE $Q_0=0,22 \text{ m}^3/\text{s}$

- Points Observés
- 1^{re} Correction I_H
- 2^{re} Correction Q_0



CORRECTION A APPORTER A K_R POUR TENIR COMPTE DE I_H

Gr: 60



CONSTAT

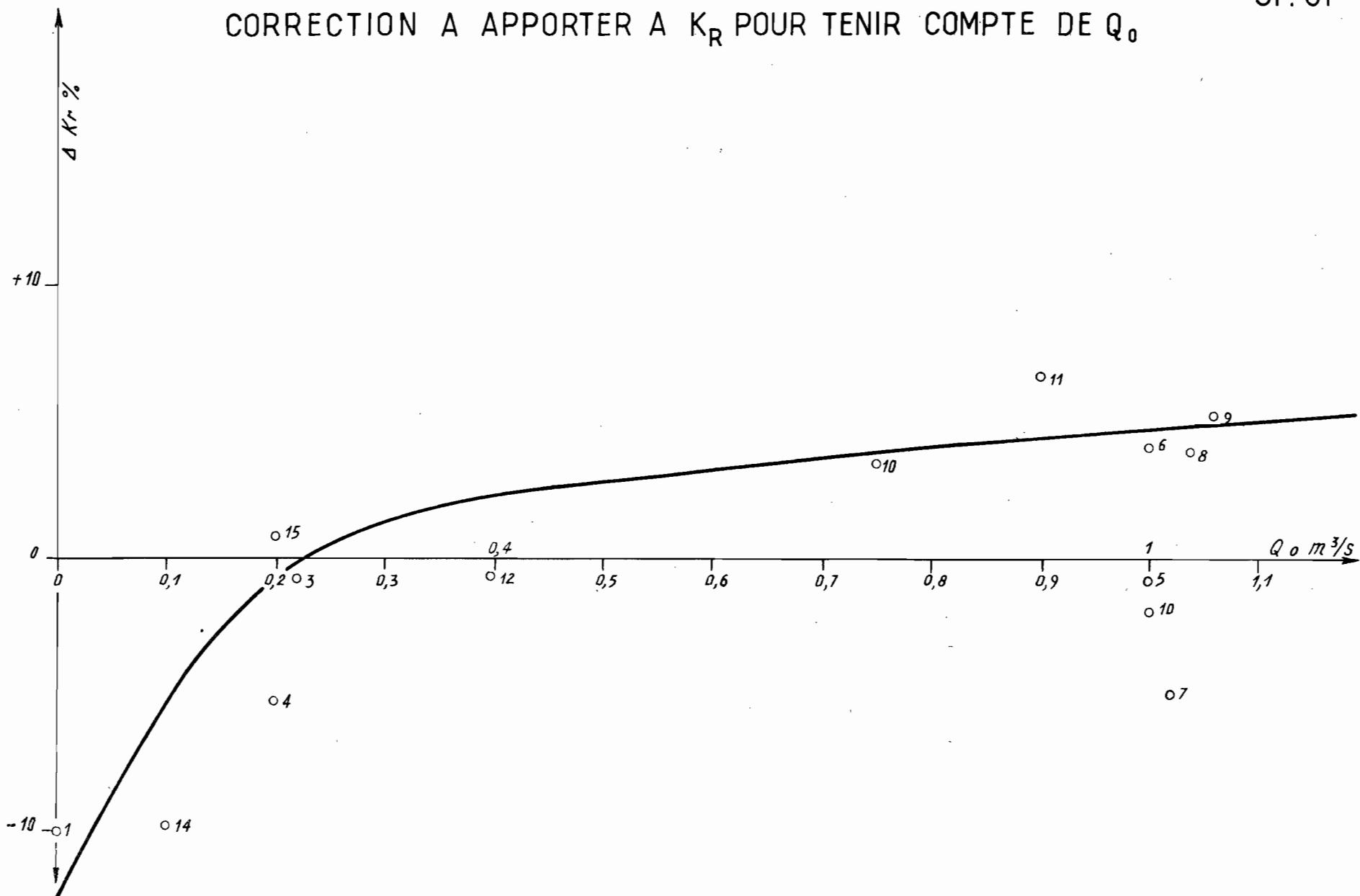
DATE :

DESSINÉ :

VOL - 61.173

Gr: 61

CORRECTION A APPORTER A K_R POUR TENIR COMPTE DE Q_0



COULEUR

DATE :

DESSINÉ :

VOL - 61.174

Cependant, pour la crue décennale, ce rapport semble trop faible si nous considérons la crue du 31 Août 1962 qui atteint $32,3 \text{ m}^3/\text{s}$ et dont le rapport Q_M/H_R était de 2,86. Cette crue possède un temps de montée (4 heures) inférieur à celui de la crue unitaire et, d'autre part, l'importance de la pointe de crue tient aussi au fait que l'épicentre de l'averse se trouvait sur la région aval du bassin.

Il nous semble cependant plus raisonnable, en attendant les résultats de l'année 1963, de nous baser sur la crue observée le 31 Août 1962 pour notre estimation de crue décennale avec :

$$Q_M/H_R = 2,5$$

4.10.7 - Estimation des crues médianes et décennales

Crue médiane :

Le bassin est suffisamment petit pour que nous basions nos calculs sur l'averse de 24 heures, médiane, ponctuelle, soit 62,5 mm.

Sur 15 averse, 8 ont un coefficient de réduction supérieur à 80 %, nous prendrons donc, pour notre calcul de la crue médiane, $K = 0,80$, soit une pluie moyenne de $0,80 \times 62,5 = 50,0 \text{ mm}$. En supposant $I_H = 20$ et $q_0 = 0,30 \text{ m}^3/\text{s}$ (les débits de base de $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ observés en 1962 résultent de la forte concentration dans le temps des averse de la 1ère quinzaine de Septembre), et en reportant ces valeurs sur notre graphique de régression $K_R - P - I_H$, nous obtenons un coefficient de ruisseaulement égal à 16 %.

$$H_R = 50,0 \times 0,16$$

$$H_R = 8 \text{ mm}$$

$$Q_M = H_R \times 1,2$$

$$Q_M = 9,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous retiendrons pour la crue médiane $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ($q = 135 \text{ l/s.km}^2$).

Crue décennale :

Nous prendrons un coefficient de réduction égal à $0,80$.

Ce qui nous donne : $P = 112,5 \times 0,80$

$$P = 90 \text{ mm}$$

En estimant $I_H = 25$ et $Q_0 = 0,30 \text{ m}^3/\text{s}$, nous obtenons un coefficient de ruissellement de 24 %.

$$H_R = 90 \times 0,24 = 21,6 \text{ mm}$$

$$H_R = 21,6 \text{ mm}$$

$$Q_M = 21,6 \times 2,5 = 54 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_M = 54 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous retiendrons, pour le moment, $54 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la crue décennale ($q = 700 \text{ l/s.km}^2$).

4.10.8 - Bilan de surface

Nous rappelons ci-dessous les débits moyens mensuels en m^3/s , entrant dans la retenue de SELOGEN du mois de Juillet au mois d'Octobre. L'écoulement est permanent du 30 Juillet au 19 Octobre.

:	J	:	A	:	S	:	O	:
:		:		:		:		:
:	0,02	:	0,42	:	1,95	:	0,44	:
:		:		:		:		:

Le module calculé à partir de ces débits ressort pour 1962 à :

Module : $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$

Hauteur de la lame d'eau équivalente $H_e = 97 \text{ mm}$

Déficit d'écoulement $D_e = P - H_e = 900 - 97$

$D_e = 803 \text{ mm}$

Coefficient d'écoulement : 10,8 %

Le tableau ci-dessous donne les apports mensuels déversés ainsi que le total des apports naturels et des apports déversés.

	J	A	S	O	Volume total
Apports déversés	0	1 125	5 054	1 178	7 357
en 10^3 m ³					
Apports naturels					7 877
en 10^3 m ³					

En 1961, on avait obtenu les résultats suivants :

Module : $0,10 \text{ m}^3/\text{s}$ - Apports naturels : $3 050 \cdot 10^3 \text{ m}^3$

Lame d'eau équivalente $H_e = 40 \text{ mm}$

Déficit d'écoulement $D_e = 780 - 40$

$D_e = 740 \text{ mm}$

Coefficient d'écoulement : 5,1 %

La pluviométrie de 1962 correspond à la pluviométrie en année normale pour le bassin de SELOGEN. L'augmentation des apports en 1962 est due à une notable augmentation de la pluviométrie par rapport à celle de 1961 (120 mm) et à la bonne concentration des averses dans la 1ère quinzaine de Septembre. Il semble que le volume annuel soit supérieur à celui d'une année médiane.

La valeur moyenne brute du module calculée sur deux ans est $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$.

CHAPITRE V

PRINCIPAUX RESULTATS de la CAMPAGNE 1963

5.1 - CLIMATOLOGIE -

Les températures moyennes mensuelles de l'année 1963 sont supérieures à celles enregistrées en 1962 et sensiblement équivalentes aux moyennes calculées sur 24 ans à OUAGADOUGOU-Aérodrome.

L'humidité relative durant l'hivernage 1963 est nettement inférieure à celle de l'hivernage 1962 et à la moyenne établie sur 19 ans, ce qui est en rapport avec le caractère déficitaire des précipitations.

A OUAGADOUGOU-Aérodrome, le diagramme de fréquence des directions des vents montre une prédominance moins nette qu'en 1962 des vents de secteur Sud-Ouest sur ceux de secteur Nord-Est. La fréquence des vents de vitesse inférieure à 1 m/s passe de 7 % en 1962 à 11,8 % en 1963. Le diagramme de fréquence des directions des vents selon la saison montre qu'en 1963 les vents dominants durant l'hivernage ont été du Sud et de l'Ouest, alors qu'en 1962 ils étaient du Sud-Ouest, ceci est en rapport avec le caractère déficitaire de l'hydraulicité.

L'année 1963 a une évaporation annuelle égale à celle de l'année moyenne mais l'évaporation est plus importante pendant la saison des pluies qu'elle ne devrait l'être. Ce résultat est conforme aux observations déjà faites : températures plus fortes, humidité relative plus faible pendant l'hivernage 1963 et surtout pluviométrie inférieure à la normale.

Nous retiendrons cependant, comme valeur de l'évaporation d'un bac en microclimat humide dans la région étudiée, 2 400 mm par an, valeur précédemment calculée.

5.2 - PLUVIOMETRIE -

En 1963, le centre de la HAUTE-VOLTA a une pluviométrie déficiente devenant très inférieure à la normale sur les bassins de OUAGADOUGOU, l'isohyète 800 descendant jusqu'au bassin de SELOGEN.

Un creux pluviométrique très important fait descendre jusqu'à OUAGADOUGOU l'isohyète 600 qui suit en année normale le 14ème parallèle. La pluviométrie enregistrée à OUAGADOUGOU-Ville en 1963 est de 633 mm. Elle est donc inférieure à celle de l'année sèche de période de retour 20 ans que nous avions estimée à 670 mm au chapitre III. On peut dire que la probabilité au non dépassement d'un tel module pluviométrique annuel est de l'ordre de 1 fois en 28 ans.

Nous avons rassemblé dans un même tableau les pluviométries moyennes annuelles des différents bassins pour 1962 et 1963, ainsi que le déficit en % :

Bassin	P. moy. en mm 1963	P. moy. en mm 1962	Déficit. en %	Excédent. en %
	12,5			
	34,9			
LOUMBILA	700	800	12,5	
DONSE	570	875	34,9	
PABRE	740	750	1,3	
KAMBOENSE	750	900	16,6	
OUAGADOUGOU I	680	850	20,0	
OUAGADOUGOU III	670	950	29,5	
BOULBI	670	1 050	36,0	
NABAGALE	660	1 070	38,4	
GOGEN	800	900	11,0	
SELOGEN	906	900		0,7
MORO NABA	(600)	1 080	(44,5)	

Tous les bassins sont déficitaires par rapport à 1962, sauf celui de SELOGEN, les plus défavorisés étant ceux de NABAGALE, BOULBI, DONSE et du MORO NABA.

Pour les mois de l'hivernage, on note les écarts suivants en pour cent de la valeur médiane (hauteur de pluie qui a 50 chances sur 100 d'être atteinte ou dépassée à OUAGADOUGOU-Ville) :

	Mois	A	M	J	J	A	S	O
Déficit		75	50	22	7	36		
Excédent		68						63

A part les mois d'Avril et d'Octobre qui sont très excédentaires, tous les autres mois sont déficitaires dans de très larges proportions, seul le mois d'Août n'est que faiblement déficitaire.

Les forts déficits de Mai, Juin et Juillet et surtout de Septembre, expliquent la faible hydraulicité de l'année 1963, les pluies d'Août presque normales tombent sur un sol à très faible indice d'humidité. Cette situation défavorable est aggravée par le fort déficit de Septembre dont les fortes crues compensent parfois le déficit des mois antérieurs.

Il faut noter que c'est à OUAGADOUGOU même que les pluies ont été les plus fréquentes pour une hauteur annuelle beaucoup plus faible que sur l'ensemble du bassin.

Par contre, le bassin de SELOGEN, qui présente du point de vue du module pluviométrique un excédent de 6 mm sur la normale, n'a eu en moyenne que 47 jours de pluie contre les 60 jours de l'année normale.

Les fortes averses ont donc eu lieu sur les bassins du Sud et plus précisément sur ceux de GOGEN et de SELOGEN.

5.3 - ETUDE HYDROLOGIQUE -

Nous avons rassemblé dans un tableau les résultats obtenus en 1963 en ce qui concerne le bilan de surface de chaque bassin, c'est-à-dire la pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin P en mm, les apports naturels V_N en 10^3 m^3 , le module en m^3/s , la hauteur de la lame d'eau correspondante H_e en mm, le déficit d'écoulement $D_e = P - H_e$ en mm et enfin le coefficient d'écoulement K_e en %.

En ce qui concerne les crues, la campagne 1963 nous a conduit à majorer nos estimations des crues médianes et décennales pour le bassin versant de SELOGEN. En effet, sur l'ensemble des crues de 1961 et de 1962, une seule dépassait un débit de pointe de $10 \text{ m}^3/\text{s}$; le 31 Août 1962 on enregistrait un maximum de $32,3 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une pluie moyenne de $71,8 \text{ mm}$, soit presque la fréquence décennale. Or, en 1963, nous trouvons 7 crues qui dépassent $10 \text{ m}^3/\text{s}$ dont 3 qui dépassent $30 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nous retiendrons donc pour SELOGEN les valeurs suivantes :

Crue médiane $Q_M = 32 \text{ m}^3/\text{s}$ $q = 430 \text{ l/s.km}^2$

Crue décennale $Q_M = 87 \text{ m}^3/\text{s}$ $q = 1 150 \text{ l/s.km}^2$.

Bassin	P mm	V_N 10^3 m^3	Module m^3/s	H_e mm	D_e mm	K_e %
BAZOULE	600	40	0,001	4,0	596	0,66
ZAGTOULI	570	109	0,003	9,9	560	1,7
MORO NABA	600	1 265	0,039	68,8	531	11,3
GOGEN	800	3 700	0,11	123	677	15
SELOGEN	906	12 944	0,40	182	724	20
KAMBOENSE	750	681	0,018	4,5	745	0,6
BOULBI	670	8 091	0,25	65,0	615	9,7
DONSE	570	1 489	0,031	5,6	564	1,0
PABRE	740	1 542	0,047	7,1	733	0,96
OUAGADOUGOU I	680	4 539	0,12	13,8	666	2,0
OUAGADOUGOU III	670	7 882	0,25	22,5	647	3,3
NABAGALE	660	10 177	0,32	21,7	638	3,3
LOUMBILA	700	7 034	0,22	3,3	697	0,4

DEUXIEME PARTIE

CONCLUSIONS GENERALES sur les TROIS CAMPAGNES

CHAPITRE I

ETUDE COMPARATIVE de la PLUVIOMETRIE des TROIS CAMPAGNES

Nous comparerons tout d'abord les modules pluviométriques annuels, puis les répartitions mensuelles et nous essaierons de dégager des conclusions générales applicables aux volumes ruisselés.

1.1 - MODULE PLUVIOMETRIQUE ANNUEL -

Pour nos quatre principaux bassins, nous avons rassemblé dans le tableau suivant les modules pluviométriques des trois années d'étude ainsi que ceux de l'année moyenne (graphique 62).

	LOUMBILA	OUAGADOUGOU III	NABAGALE	SELOGEN
Année moyenne:	825	850	875	900
1961	770	810	800	780
1962	800	950	1 070	900
1963	700	670	660	906

L'année 1961 est déficitaire pour tous les bassins, le plus arrosé étant celui de OUAGADOUGOU III.

L'année 1962 est faiblement déficitaire pour LOUMBILA, fortement excédentaire pour OUAGADOUGOU III, très fortement excédentaire pour NABAGALE et normale pour SELOGEN.

L'année 1963 est déficitaire pour tous les bassins, sauf pour celui de SELOGEN. C'est elle qui présente la plus faible hauteur de précipitation annuelle des trois campagnes.

Les écarts à la normale en pour cent, pour les trois années, sont rassemblés dans le tableau suivant :

Années	LOUMBILA	OUAGADOUGOU III	NABAGALE	SELOGEN
	Exc.	Déf.	Exc.	Déf.
1961	6,7	4,7	8,6	13,3
1962	3,0	8,5	22,0	0
1963	15,2	21,2	24,6	0,7
	:	:	:	:

Sur l'ensemble des trois campagnes, le bassin de LOUMBILA accuse un déficit moyen de 8,3 %.

Le bassin de OUAGADOUGOU III accuse un déficit de 6 %.

Le bassin de NABAGALE présente un déficit de 3,7 %, celui de SELOGEN, un déficit de 4,2 %.

Tous ces bassins sont donc déficitaires lorsque l'on considère l'ensemble des trois années : seule l'année 1962 a permis de combler quelque peu ce déficit pour les bassins de OUAGADOUGOU III et de NABAGALE. Mais n'oublions pas que, grâce aux fortes averses journalières de 1961, le ruissellement pendant cette année a été largement excédentaire.

1.2 - REPARTITION MENSUELLE des PRECIPITATIONS -

Le graphique 63 montre les variations des pluviométries moyennes mensuelles pour les trois campagnes d'étude à OUAGADOUGOU-Ville.

Le fait important à noter est le très net excédent du mois de Septembre 1961 sur la moyenne, excédent dû aux deux fortes averses du 2 et du 11.

OUAGADOUGOU _ VILLE _

VARIATIONS DES PLUVIOMÉTRIES MOYENNES MENSUELLES

400

P en mm

300

200

100

0

J F M A M J J A S O N D

62

M

63

61

→

Nous avons tracé les mêmes courbes pour les quatre bassins principaux (graphique 64) ; on peut en tirer les conclusions suivantes :

Bassin versant de LOUMBILA :

Les années 1961 et 1963 sont pratiquement identiques jusqu'au mois d'Août. Mais en 1963, Septembre est très faible, alors que la pluviométrie de Septembre 1961, supérieure à la normale et surtout concentrée dans le temps, explique l'importance du volume écoulé.

L'année 1962 est excédentaire sur les deux autres années, sauf pour Juin et Juillet ; la pluviométrie est plus étalée sur les différents mois qu'en 1961.

Bassin versant de OUAGADOUGOU III :

L'année 1961 est intermédiaire du point de vue pluviométrique entre 1962 et 1963, sauf pour le mois de Septembre qui est légèrement supérieur.

L'année 1962 est nettement supérieure aux deux autres, sauf pour Septembre ; mais le mois d'Août, très excédentaire, explique le volume écoulé plus important que pour 1961.

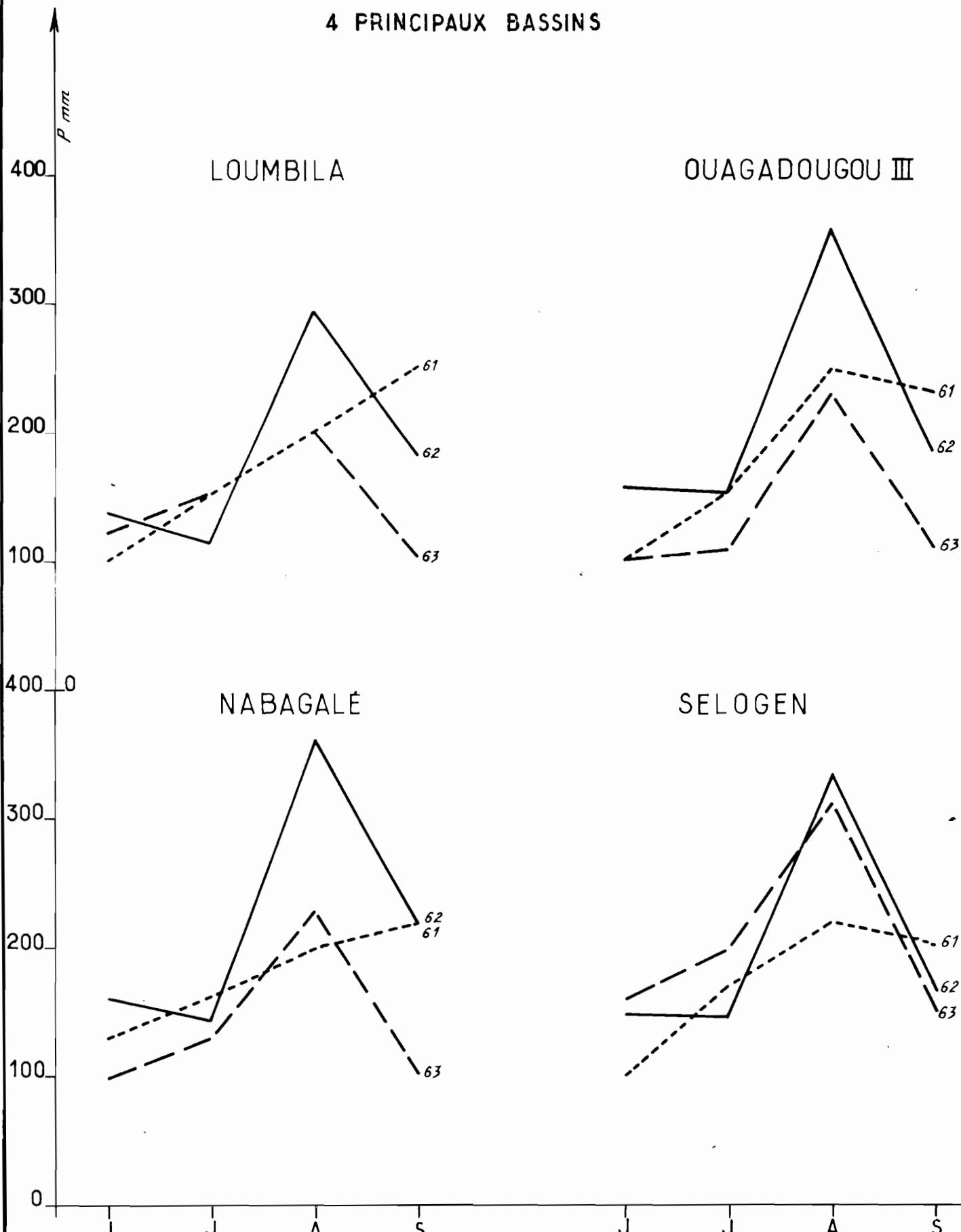
On doit s'attendre pour 1963 à un volume écoulé plus faible qu'en 1962 et 1961.

Bassin versant de NABAGALE :

L'année 1962 est excédentaire sur les deux autres années, sauf pour Septembre équivalent à Septembre 1961 ; l'excédent d'Août assure un volume écoulé double de celui de 1961.

En 1963, année de faible pluviométrie avec un mois d'Août légèrement supérieur à Août 1961, on devrait normalement observer un volume écoulé plus faible que pour les autres années.

VARIATIONS DES PLUVIOMÉTRIES MOYENNES MENSUELLES SUR LES
4 PRINCIPAUX BASSINS



Bassin versant de SELOGEN :

Les deux années 1962 et 1963 sont équivalentes à l'année moyenne au point de vue hauteur annuelle.

Au point de vue de la répartition mensuelle, l'année 1963 semble être plus favorable au ruissellement, le mois de Juillet est très arrosé et doit ~~édsisi~~ permettre une bonne saturation du sol avant le maximum pluviométrique de l'hivernage.

Nous devons donc nous attendre à des apports naturels plus importants en 1963 qu'en 1962 et 1961 pour ce bassin.

1.3 - CONCLUSIONS GENERALES -

L'année 1963 est particulièrement défavorable au ruissellement, non pas tant en raison du déficit de la hauteur totale de précipitation qu'en raison de la répartition mensuelle défavorable de ces précipitations, sauf pour les bassins de SELOGEN et de GOCEN.

L'année 1962 peut être considérée comme normale pour les bassins de LOUMBILA et de SELOGEN, excédentaire et fortement excédentaire pour OUAGADOUGOU III et NABAGALE.

L'année 1961 est celle qui se rapproche le plus de l'année normale pour OUAGADOUGOU III et NABAGALE.

Année se rapprochant le plus de l'année normale au point de vue module pluviométrique annuel pour les bassins de :

- LOUMBILA : 1962
- OUAGADOUGOU III : 1961
- NABAGALE : 1961
- SELOGEN : 1962 et 1963.

MODULES PLUVIOMÉTRIQUES ANNUELS DES 3 CAMPAGNES

Gr:65

P_{mm}

1000

900

800

700

600

LOUMBILA

OUAGA III

NABAGALE

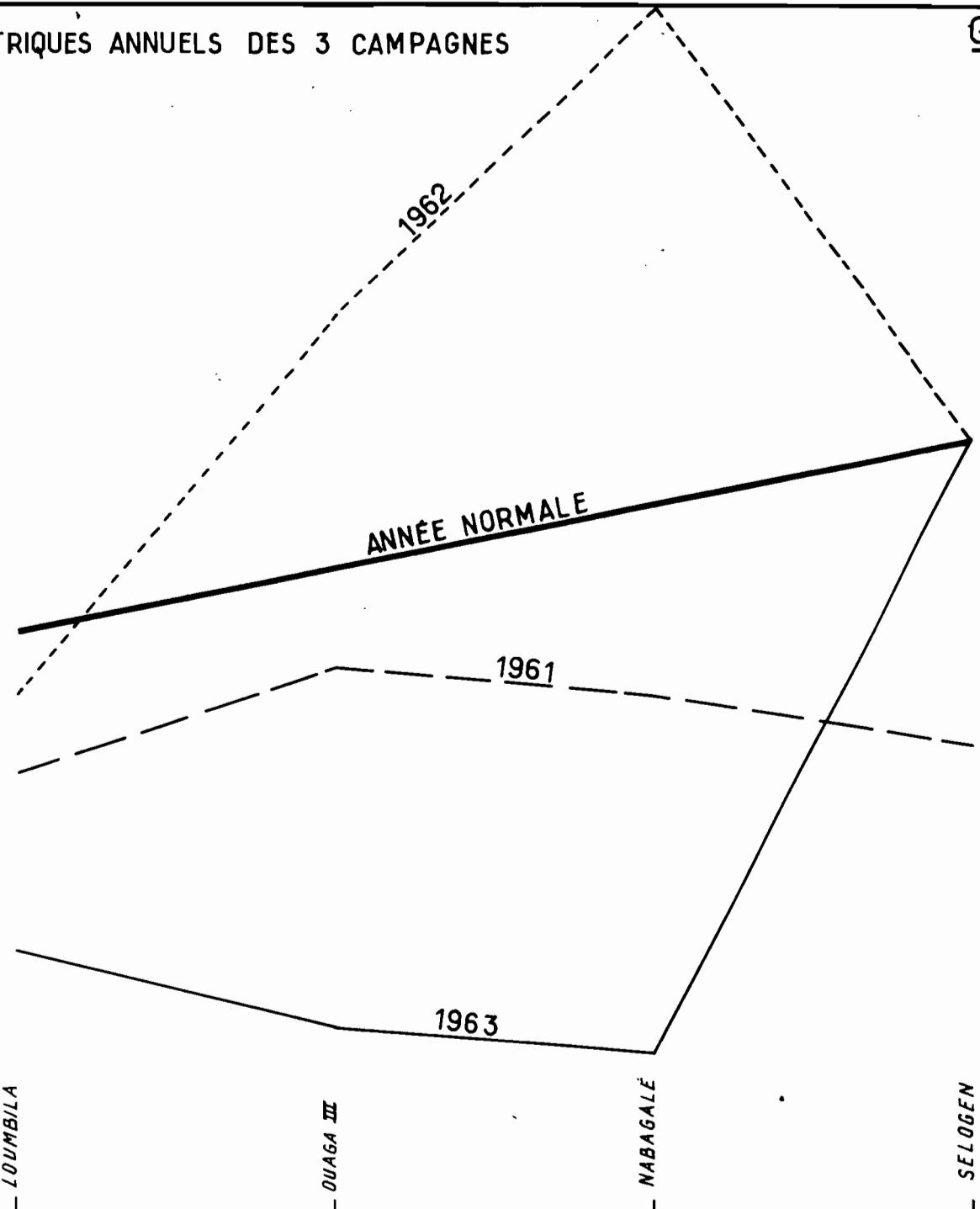
SELAGEN

ANNÉE NORMALE

1962

1961

1963



Pour LOUMBILA, l'année 1961 est déficitaire mais la répartition temporelle des pluies est telle que l'excédent de Septembre joue le rôle le plus important et donne un volume écoulé que l'on peut considérer comme résultant de l'année décennale humide.

Nous pouvons donc dire que la répartition mensuelle des pluies au cours de l'hivernage joue un rôle aussi important que la hauteur annuelle au point de vue du volume écoulé, ce rôle pouvant dans certains cas devenir prépondérant.

Deux années de hauteurs annuelles sensiblement égales peuvent donner, selon la répartition mensuelle des précipitations, des volumes écoulés totalement différents.

C H A P I T R E II

RESULTATS FINAUX de l'ETUDE HYDROLOGIQUE

Le but principal de cette étude est l'estimation pour chaque bassin des trois caractéristiques suivantes :

Apports naturels en année moyenne

Apports naturels en année décennale sèche

Débit de pointe de la crue de fréquence décennale.

Nous présenterons ces résultats bassin par bassin pour tenir compte de leurs particularités.

Dans un but de synthèse pratique, nous avons introduit à la fin de ce chapitre deux tableaux rassemblant les résultats principaux obtenus après les trois campagnes d'étude et qui nous permettront une étude comparée au chapitre III.

BASSIN VERSANT de BAZOULE

($S = 10 \text{ km}^2$)

Ce bassin, étudié dans notre rapport 1963, est le plus petit de ceux exploités par l'ORSTOM dans la région de OUAGADOUGOU. Il est inclus dans le bassin de OUAGADOUGOU I.

Nous ne possédions **que** les lectures d'échelle quotidiennes pour 1962 et 1963, ce qui, étant donné la faible superficie du bassin, ne peut permettre la reconstitution des crues. Il est difficile de tirer des renseignements précis des documents en notre possession.

Retenons que ce bassin ruisselle très peu et que les apports de 1963 peuvent être considérés comme ceux de l'année décennale sèche.

Le tableau suivant que nous présenterons pour la plupart de nos bassins donne par année :

La pluviométrie moyenne sur le bassin P en mm

Le déficit D ou l'excédent pluviométrique E par rapport à l'année moyenne en %.

Le total des apports naturels V en 10^3 m^3

Le coefficient d'écoulement annuel K_e en %

Année	P (mm)	D (%)	E (%)	V (10^3 m^3)	K_e (%)
1962	800	5,9		342	4,2
1963	600	31,2		40	0,7

À partir des données de ce tableau, nous pouvons retenir les estimations suivantes :

Apports en année moyenne : $250\ 000 \text{ m}^3$

Apports en année décennale sèche : $40\ 000 \text{ m}^3$.

BASSIN VERSANT de ZAGTOULI
($S = 11 \text{ km}^2$)

Nous ne possédions pour ce bassin que deux années d'étude, encore l'année 1962 est-elle incomplète.

Année	P (mm)	D (%)	E (%)	V (10^3 m^3)	K _e (%)
1962	900		6,0	1 374	14,0
1963	570	33,0		109	1,7

A partir des données de ce tableau, nous pouvons tirer les conclusions suivantes en ce qui concerne les caractéristiques hydrologiques essentielles pour notre étude.

L'année 1962, avec sa pluviométrie légèrement excédentaire, peut être considérée comme légèrement supérieure à la moyenne. On admettra que les apports en année moyenne sont de 1 million de m^3 .

L'année 1963, avec sa pluviométrie inférieure à celle de l'année décennale sèche, donne un volume d'apports qui peut être considéré comme la limite inférieure de l'apport probable en année décennale sèche.

En conclusion, nous donnerons les chiffres suivants pour le bassin versant de ZAGTOULI :

Apports en année moyenne : 1 000 000 m^3

Apports en année décennale sèche : 150 000 m^3

Crue décennale $Q_M = 25 \text{ m}^3/\text{s}$ $q = 2 300 \text{ l/s.km}^2$.

BASSIN VERSANT du MORO NABA

($S = 18 \text{ km}^2$)

Les crues observées en 1963 ne nous conduisent pas à modifier les résultats obtenus en 1962 en ce qui concerne les hydrogrammes types et les valeurs des crues médianes et décennales.

La plus forte crue enregistrée en trois ans est de $26,0 \text{ m}^3/\text{s}$, soit 1440 l/s.km^2 . Elle correspond à une précipitation moyenne de $50,5 \text{ mm}$, son coefficient de ruissellement est de $71,2 \%$ pour un indice d'humidité de $49,6$, le volume ruisselé est de $648 10^3 \text{ m}^3$.

Année	P (mm)	D (%)	E (%)	V (10^3 m^3)	K_e (%)
1961	800	6,0		1 200	8,5
1962	1 080		27,0	5 723	29,0
1963	(600)	(29,0)		1 265	(11,3)

Nous voyons que le coefficient d'écoulement ne suit pas les variations de la pluviométrie annuelle et que 1963, classée au 3ème rang de par sa pluviométrie, se trouve au 2ème rang si l'on considère les apports naturels ; tout dépend des précipitations journalières.

Cependant, il règne une grande imprécision sur la pluviométrie de 1963, aussi ne devons nous pas nous baser sur les apports de cette dernière année pour estimer ceux de l'année décennale sèche.

Nous retiendrons les valeurs suivantes :

Apports en année moyenne : $1500 000 \text{ m}^3$

Apports en année décennale sèche : $500 000 \text{ m}^3$

Crue décennale : $Q_M = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ $q = 2200 \text{ l/s.km}^2$.

BASSIN VERSANT de SELOGEN

($S = 75 \text{ km}^2$)

Ce bassin, le plus méridional de ceux que nous avions à étudier, est aussi le plus perméable.

C'est le seul à présenter un écoulement de base notable se poursuivant relativement longtemps après la fin de la saison des pluies. Ainsi, en 1963, l'écoulement se poursuit jusqu'à la fin Novembre.

Cette caractéristique est particulièrement intéressante et explique les forts coefficients d'écoulement de 1962 et 1963.

Année	P (mm)	D (%)	E (%)	V (10^3 m^3)	K _e (%)
1961	780	13,3	13,3	3 050	5,1
1962	900	0	0	7 877	10,8
1963	906		0,7	12 944	20,0

On note, pour des hauteurs pluviométriques égales à la moyenne, un excédent de $5 000 10^3 \text{ m}^3$ des apports naturels de 1963 sur ceux de 1962.

Cette différence est certainement due à la répartition des pluies, totalement différente dans les deux cas :

- en 1962 : concentration des pluies en Août, mais les mois de Juin et de Juillet sont déficitaires.
- en 1963 : on observe de fortes averses en Juin et Juillet, ce qui donne une bonne humidification du sol avant un mois d'Août légèrement inférieur à celui de 1962.

Nous retiendrons les valeurs suivantes :

Apports en année moyenne : $5 000 000 \text{ m}^3$

Apports en année décennale sèche : $1 000 000 \text{ m}^3$

Crue décennale : $Q_M = 87 \text{ m}^3/\text{s}$ $q = 1 160 \text{ l/s.km}^2$.

BASSIN VERSANT de KAMBOENSE

($S = 125 \text{ km}^2$)

Les trois années d'étude présentent les caractéristiques principales suivantes :

Année	P (mm)	D (%)	E (%)	V (10^3 m^3)	K _e (%)
1961	780	5,5		5 175	5,3
1962	900		15,2	3 922	3,5
1963	750	9,1		681	0,6

Nous remarquons une nouvelle fois la mauvaise corrélation entre coefficient d'écoulement et module pluviométrique annuel.

Les années 1961 et 1963 ont des modules pluviométriques sensiblement équivalents mais, alors que la répartition mensuelle de la pluviométrie est identique pour les deux années jusqu'en Août, le mois de Septembre est très arrosé en 1961 et très faible en 1963.

C'est là qu'il nous faut rechercher la raison de l'énorme écart entre les apports naturels des deux années.

C'est la concentration des fortes averses en Septembre qui, sur un bassin avec un réseau hydrographique très peu développé, permet la formation de crues importantes. La répartition spatiale joue elle aussi un grand rôle ; les deux fortes averses de 1961 étaient centrées sur l'aval du bassin.

Ainsi, en 1962, pour un module pluviométrique très nettement supérieur à celui de 1961, on observe un volume d'apport inférieur à celui de 1961, les pluies étant surtout réparties sur Août, Septembre étant cependant supérieur à la moyenne, Juillet est nettement déficitaire.

Il semble donc qu'il faille considérer l'année 1961 comme nettement supérieure à l'année moyenne grâce à la répartition favorable des pluies.

Nous retiendrons les valeurs suivantes :

Apports en année moyenne : $3 000 000 \text{ m}^3$

Apports en année décennale sèche : $600 000 \text{ m}^3$

Crue décennale $Q_M = 45 \text{ m}^3/\text{s}$ $q = 360 \text{ l/s.km}^2$

BASSIN VERSANT de BOULBI

($S = 125 \text{ km}^2$)

Ce bassin versant, équipé d'un déversoir de forme très classique (déversoir triangulaire), aurait pu nous permettre une étude très précise de l'écoulement. Malheureusement, une comparaison entre les trois années a relativement peu d'intérêt, les fréquentes lâchures de vannes à BOULBI faussant totalement les mesures.

Les valeurs obtenues en 1961 et 1962, années de forte pluviométrie, sont certainement sous-estimées, ce qui explique que l'année 1963, année de très faible pluviométrie (fréquence décennale sèche), possède un coefficient d'écoulement inférieur à ceux des deux années antérieures.

Année	P (mm)	D (%)	E (%)	V (10^3 m^3)	K _e (%)
1961	830	5,1		6 950	6,6
1962	1 050		20,0	10 014	7,7
1963	670	23,4		8 091	9,7

Quoi qu'il en soit, nous pouvons cependant remarquer que le bassin de BOULBI qui a la même superficie que celui de KAMBOENSE ruisselle nettement mieux. Il faut voir là une influence du réseau hydrographique, plus développé pour BOULBI que pour KAMBOENSE.

Nous retiendrons les valeurs suivantes :

Apports en année moyenne : $7 000 000 \text{ m}^3$

Apports en année décennale sèche : $2 000 000 \text{ m}^3$

Crue décennale $Q_M = 135 \text{ m}^3/\text{s}$ $q = 1 100 \text{ l/s.km}^2$.

BASSIN VERSANT de DONSE
($S = 175 \text{ km}^2$)

Les valeurs caractéristiques des trois années sont rassemblées dans le tableau suivant :

Année	P (mm)	D (%)	E (%)	V (10^3 m^3)	K _e (%)
1961	770	6,7		16 280	12,0
1962	790	4,2		10 405	6,8
1963	570	31,0		1 489	1,0

Les trois années sont déficitaires si l'on considère les hauteurs pluviométriques.

L'année 1961 a bénéficié d'une excellente concentration dans le temps des fortes averses, ce qui explique son coefficient d'écoulement double de celui de 1962 malgré une pluviométrie légèrement inférieure. Notons aussi la position de l'averse du 11 Septembre 1961 centrée sur la partie aval du bassin, d'où un volume écoulé nettement supérieur à la moyenne. Mais 1963 a eu un écoulement encore plus faible que ne le laissait supposer le classement de la hauteur annuelle.

Nous retiendrons les valeurs suivantes :

Apports en année moyenne : $10 000 000 \text{ m}^3$

Apports en année décennale sèche : $2 000 000 \text{ m}^3$

Crue décennale $Q_M = 75 \text{ m}^3/\text{s}$ $q = 430 \text{ l/s.km}^2$.

BASSIN VERSANT de PABRE

($S = 210 \text{ km}^2$)

Ce bassin, étudié seulement dans notre rapport 1963, n'était pas équipé d'un limnigraphie.

Nous ne disposions donc que des relevés des cotes journalières pour les années 1962 et 1963 et, de ce fait, aucune étude de crue n'a été possible.

Année	P (mm)	D (%)	E (%)	V (10^3 m^3)	K_e (%)
1962	750	9,1		12 939	8,2
1963	740	10,0		1 542	0,96

Rappelons qu'en 1961 l'hydraulicité a certainement été très élevée, le barrage de PABRE ayant été emporté par une crue. Le tableau précédent fait ressortir l'énorme différence entre les apports naturels des deux années, alors que la différence de hauteur pluviométrique n'est que de 10 mm.

L'année 1963 présente, par rapport à 1962, un déficit de 87 % pour les apports naturels et de 1,3 % pour la pluviométrie.

Cette différence provient surtout de la répartition très défavorable des précipitations mensuelles et journalières.

En 1962, la pluviométrie est très importante sur la retenue même (supérieure à 900 mm), alors qu'en 1963 c'est l'isohyète 700 qui passe à PABRE.

Pour des hauteurs moyennes sensiblement identiques, la répartition spatiale peut apporter de grandes différences dans les volumes écoulés, ceci étant évidemment d'autant plus important que le bassin est plus grand.

Nous retiendrons les valeurs suivantes :

Apports en année moyenne : 8 000 000 m^3

Apports en année décennale sèche : 2 000 000 m^3

Crue décennale estimée par comparaison avec les autres bassins :
 $M = 65 \text{ m}^3/\text{s}$ $q = 300 \text{ l/s.km}^2$.

BASSIN VERSANT de OUAGADOUGOU I
($S = 285 \text{ km}^2$)

Le tableau suivant donne les principales caractéristiques des trois années d'étude :

Année	P (mm)	D (%)	E (%)	V (10^3 m^3)	K_e (%)
1961	835	1,8		16 967	7,4
1962	850	0	0	29 697	11,9
1963	680	20,0		4 539	2,0

Nous constatons pour ces trois années un bon accord entre pluviométrie et coefficient d'écoulement.

C'est, en fait, l'année 1961 qui se rapproche le plus de l'année moyenne du point de vue du module pluviométrique annuel et surtout de la distribution des précipitations entre les différents mois de l'année.

L'année 1962, bien que sa hauteur pluviométrique corresponde exactement au module pluviométrique moyen, est par trop favorisée par un mois d'Août largement excédentaire suivant un mois de Juillet pratiquement normal et un mois de Juin excédentaire lui aussi.

Nous retiendrons les valeurs suivantes :

Apports en année moyenne : $14 000 000 \text{ m}^3$

Apports en année décennale sèche : $4 000 000 \text{ m}^3$

Crue décennale $Q_M = 140 \text{ m}^3/\text{s}$ $q = 490 \text{ l/s.km}^2$.

BASSIN VERSANT de OUAGADOUGOU III
($S = 350 \text{ km}^2$)

L'étude des crues naturelles étant rendue trop complexe par la multiplicité des facteurs entrant en jeu, nous nous sommes limités aux volumes déversés et aux volumes d'apports naturels globaux.

Le volume d'apport naturel global est égal à la somme des volumes déversés à OUAGADOUGOU III et des volumes utilisés pour le remplissage des retenues de OUAGADOUGOU I, II et III jusqu'au niveau du seuil de déversement.

Avant 1962, cette capacité était de $4\ 145\ 000 \text{ m}^3$ dont $3\ 400\ 000 \text{ m}^3$ pour OUAGADOUGOU II + III et $745\ 000 \text{ m}^3$ pour OUAGADOUGOU I.

Après la surélévation des digues en 1962, la capacité des retenues passe à $6\ 105\ 000 \text{ m}^3$ dont $5\ 360\ 000 \text{ m}^3$ pour OUAGADOUGOU II + III et $745\ 000 \text{ m}^3$ pour OUAGADOUGOU I.

Le tableau suivant donne les volumes déversés à OUAGADOUGOU III, ainsi que les apports naturels globaux classés par ordre décroissant depuis 1956.

On a retranché des volumes annuels déversés avant 1962, $1\ 960\ 000 \text{ m}^3$ qui correspondent au volume supplémentaire mis en réserve à partir de 1962, ce, pour homogénéiser nos données.

Nous donnons également dans ce tableau, pour chaque année, un indice pluviométrique I_p obtenu à partir des deux postes de OUAGADOUGOU-Aérodrome et de OUAGADOUGOU-Ville. Malheureusement, cet indice ne fournit qu'une indication sommaire et n'a qu'un rapport assez lointain avec la pluie moyenne correspondante sur le bassin.

Il y a une très grande dispersion par rapport à la courbe de régression entre pluviométrie moyenne et apports globaux.

Il est à peu près certain que, si nous pouvions rétablir les pluies moyennes annuelles sur OUAGADOUGOU III depuis 1956, notre corrélation serait beaucoup plus acceptable. En effet, l'accord entre apports globaux et pluviométrie moyenne annuelle est assez bon pour 1961, 1962 et 1963, mais nous aurions toujours des difficultés en raison de la répartition inégale des précipitations mensuelles et même journalières. Nous constatons cependant qu'en 1957 I_p est certainement inférieur à 2,5 % ; il est probablement du même ordre en 1958. La valeur obtenue en 1963 n'est pas très fréquente mais elle n'est pas exceptionnelle. Il est prudent de considérer le volume de 1958 comme décennal sec.

Il est également prudent de considérer le volume de 1956 comme celui correspondant au volume d'apport en année moyenne.

Rang	Année	Volume déversé : en m ³	Volume naturel : global en m ³	I _p : mm	P. moy. : mm	K _e : %
1	1962	27 539 000	33 644 000	1 140	950	10,1
2	1961	12 040 000	18 145 000	749	810	6,4
3	1960	10 915 000	17 020 000	835		
4	1956	9 470 000	15 845 000	1 013		
5	1959	6 940 000	13 045 000	932		
6	1963	1 777 000	7 882 000	645	670	3,3
7	1957	1 490 000	7 535 000	972		
8	1958	590 000	6 695 000	765		

Volume naturel global :

La valeur maximale est de 33 644 000 m³ pour P moy. = 950 mm.

La valeur minimale est de 6 695 000 m³ pour I_p = 765 mm.

La valeur médiane est de l'ordre de 14 000 000 m³.

Nous retiendrons les valeurs suivantes :

- Volume en année moyenne : 16 000 000 m³

- Volume en année décennale sèche : 6 700 000 m³.

Volume déversé :

Ce volume est donc directement récupérable pour l'alimentation en eau de la ville.

La valeur maximale est de 27 539 000 m³.

La valeur minimale est de 6 000 000 m³.

La valeur médiane est de l'ordre de 8 000 000 m³.

Nous retiendrons donc pour les volumes déversés les valeurs suivantes :

- Volume déversé en année moyenne : 9 500 000 m³

- Volume déversé en année décennale sèche \approx 600 000 m³.

BASSIN VERSANT de NABAGALE

($S = 470 \text{ km}^2$)

Les caractéristiques principales des trois années d'étude sont rassemblées dans le tableau ci-dessous :

Année	P (mm)	D (%)	E (%)	V (10^3 m^3)	K _e (%)
1961	820	6,3		28 610	7,4
1962	1 070		22,0	50 208	10,0
1963	660	22,4		10 177	3,3

Nous notons pour ce bassin un bon accord entre les hauteurs pluviométriques annuelles et les apports naturels pour ces trois années.

Nous avons d'autre part la chance d'avoir, en trois années d'étude, un échantillonnage très précieux puisqu'il comporte :

- le module pluviométrique annuel décennal sec,
- le module pluviométrique annuel décennal humide.

Ces valeurs nous permettent de donner avec une certaine sécurité les caractéristiques suivantes :

Apports en année moyenne : $25 000 000 \text{ m}^3$

Apports en année décennale sèche : $7 000 000 \text{ m}^3$

Apports en année décennale humide : $50 000 000 \text{ m}^3$

Crue décennale $Q_M = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ $q = 255 \text{ l/s.km}^2$.

BASSIN VERSANT de LOUMBILA

($S = 2\ 120\ km^2$)

Comme pour le bassin de OUAGADOUGOU III, le Service de l'Hydraulique de la HAUTE-VOLTA a fait assurer depuis 1956 une lecture quotidienne de la cote de la retenue de LOUMBILA. Comme les crues du MOSSILI s'étalent sur plusieurs jours, il a été possible de les reconstituer. La précision évidemment médiocre sur les débits de pointe est assez bonne sur les volumes écoulés.

En ce qui concerne la pluviométrie, les seuls postes existant de façon permanente entre 1956 et 1963 sont ceux de OUAGADOUGOU-Ville, OUAGADOUGOU-Aérodrome, KAMBOENSE, PABRE, GUILONGOU. On a donc déterminé un indice pluviométrique susceptible de caractériser la pluie moyenne P sur le bassin pour le calcul des coefficients d'écoulement mensuels et annuels.

Cet indice correspond à $P = \frac{1}{4} (KAMBOENSE + PABRE + 2 GUILONGOU)$.

Ecoulements :

Nous avons donc pu établir le tableau suivant qui donne, pour chaque année, le volume des apports naturels dans la retenue et le coefficient d'écoulement correspondant.

Année	Apport naturel annuel en m^3	Coefficient d'écoulement en %
1956	24 000 000	1,2
1957	10 000 000	0,6
1958	67 500 000	3,9
1959	46 000 000	2,8
1960	46 000 000	2,2
1961	100 000 000	6,2
1962	47 500 000	2,8
1963	7 000 000	0,4

La comparaison entre apport naturel et pluviométrie est totalement infructueuse, ce qui est d'ailleurs absolument normal. En effet, comme nous l'avons déjà souligné à maintes reprises, le module pluviométrique annuel n'entre pas seul en jeu en ce qui concerne l'apport naturel annuel.

La répartition temporelle des précipitations et aussi, dans le cas du bassin versant de LOUMBILA, bassin relativement vaste, leur répartition spatiale jointe à un module pluviométrique de fréquence décennale sèche, peut conduire à un volume d'apport naturel de fréquence nettement inférieure à la décennale.

Le même raisonnement est valable pour les apports en année décennale humide.

L'absence de données pluviométriques s'étendant sur une période suffisamment longue nous interdit toute tentative de corrélation hydropluviométrique.

Nous devrons donc nous contenter, pour nos estimations, des valeurs du tableau précédent :

- Valeur la plus faible : $7\ 000\ 000\ m^3$
- Valeur la plus forte : $100\ 000\ 000\ m^3$
- Moyenne : $28\ 500\ 000\ m^3$
- Médiane estimée à : $46\ 000\ 000\ m^3$

Débits de pointe

La période 1956-1963 permet d'observer quelques crues importantes qui sont cependant nettement inférieures aux deux crues de Septembre 1961, soit :

$Q_M = 200\ m^3/s$ le 2 Septembre (Volume : $40 \times 10^6\ m^3$)

$Q_M = 125\ m^3/s$ le 11 Septembre (Volume : $37,5 \times 10^6\ m^3$)

Une crue de 110 à $120\ m^3/s$ le 24 Août 1958 (Volume $\# 32 \times 10^6\ m^3$)

Une crue composée de 50 à $55\ m^3/s$ le 22 Août 1959 (Volume $\# 40 \times 10^6\ m^3$)

En conclusion, nous retiendrons les valeurs suivantes :

Apports en année moyenne $40\ 000\ 000\ m^3$ $K_e = 1,7\ %$

Apports en année décennale sèche $7\ 000\ 000\ m^3$ $K_e = 0,5\ %$

Apports en année décennale humide $100\ 000\ 000\ m^3$ $K_e = 4,7\ %$

Crue décennale $Q_M = 280\ m^3/s$ $a = 130\ l/s.km^2$.

PRINCIPAUX RESULTATS des TROIS CAMPAGNES d'ETUDE

Bassin	S	P	P ₆₁	K _{e61}	P ₆₂	K _{e62}	P ₆₃	K _{e63}	KR	Q _M	q	KR	Q _M	q
	km ²	mm	mm	%	mm	%	mm	%	%	m ³ /s	l/s.km ²	%	m ³ /s	l/s.km ²
BAZOLE	10	850			800	4,2	600	0,7						
ZAGTOULI	11	850			900	14,0	570	1,7	50	11	1 000	60	25	2 300
MORO NABA	18	850	800	8,5	1 080	29,0	600	11,3	30-50	19	1 060	35-60	40	2 200
GOGEN	30	900					800	15,0	20	14	465	35	50	1 650
SELOGEN	75	900	780	5,1	900	10,8	906	20,0	20	32	430	26	87	1 160
KAMBOENSE	125	825	780	5,3	900	3,5	750	0,6	(15)	20	160	(20)	45	360
BOULBI	125	875	830	6,6	1 050	7,7	670	9,7	25	35	280	40	135	1 100
DONSE	175	825	770	12,0	790	6,8	570	1,0	22	25	145	38	75	430
PABRE	210	825			750	8,2	740	1,0					65	300
OUAGADOUGOU I	285	850	835	7,4	850	11,9	680	2,0	20	51	180	30	140	490
OUAGADOUGOU III	350	850	810	6,4	950	10,1	670	3,3						
NABAGALE	470	875	820	7,4	1 070	10,0	660	3,3	15	59	125	20	120	255
LOUMBILA	2 120	825	770	6,2	778	2,8	700	0,4	20	100	47	35	280	130

BASSINS VERSANTS de OUAGADOUGOU

Apports en année moyenne, décennale sèche et crue décennale

: Bassin	: $\frac{S}{\text{km}^2}$: Apports en année moyenne $\frac{\text{m}^3}{\text{a}}$: Apports en année: Crue décennale:		
			: décennale sèche : $\frac{\text{Qm}}{\text{m}^3}$: $\frac{\text{q}}{\text{m}^3/\text{s}}$: $\frac{1/\text{s} \cdot \text{km}^2}{\text{a}}$
: BAZOULE	: 10	: 250 000	: 40 000	: :	: :
: ZAGTOULLI	: 11	: 1 000 000	: 150 000	: 25	: 2 300
: MORO NABA	: 18	: 1 500 000	: 500 000	: 40	: 2 200
: GOGEN	: 30	: 2 500 000	: 500 000	: 50	: 1 650
: SELOGEN	: 75	: 5 000 000	: 1 000 000	: 87	: 1 160
: KAMBOENSE	: 125	: 3 000 000	: 600 000	: 45	: 360
: BOULBI	: 125	: 7 000 000	: 2 000 000	: 135	: 1 100
: DONSE	: 175	: 10 000 000	: 2 000 000	: 75	: 430
: PABRE	: 210	: 8 000 000	: 2 000 000	: 65	: 300
: OUAGADOUGOU I	: 265	: 14 000 000	: 4 000 000	: 140	: 490
: OUAGADOUGOU III	: 350	: 16 000 000	: 6 700 000	: :	: :
: NABAGALE	: 470	: 25 000 000	: 7 000 000	: 120	: 255
: LOUMBILA	: 2 120	: 40 000 000	: 7 000 000	: 280	: 130

C H A P I T R E III

ETUDE COMPARATIVE

Il est indispensable, après une telle étude conduite bassin par bassin, de procéder à une comparaison des différents bassins entre eux et d'aboutir ainsi à une synthèse.

Cette synthèse permet de passer du cadre étroit des bassins étudiés à l'ensemble de la région qu'ils représentent de par leurs différents caractères physiques : géologie, pédologie, morphologie, végétation.

Ce passage, ou mieux cette extension des données, doit se faire en prenant un certain nombre de précautions.

Nous nous sommes principalement attaché à deux caractéristiques hydrologiques de nos bassins :

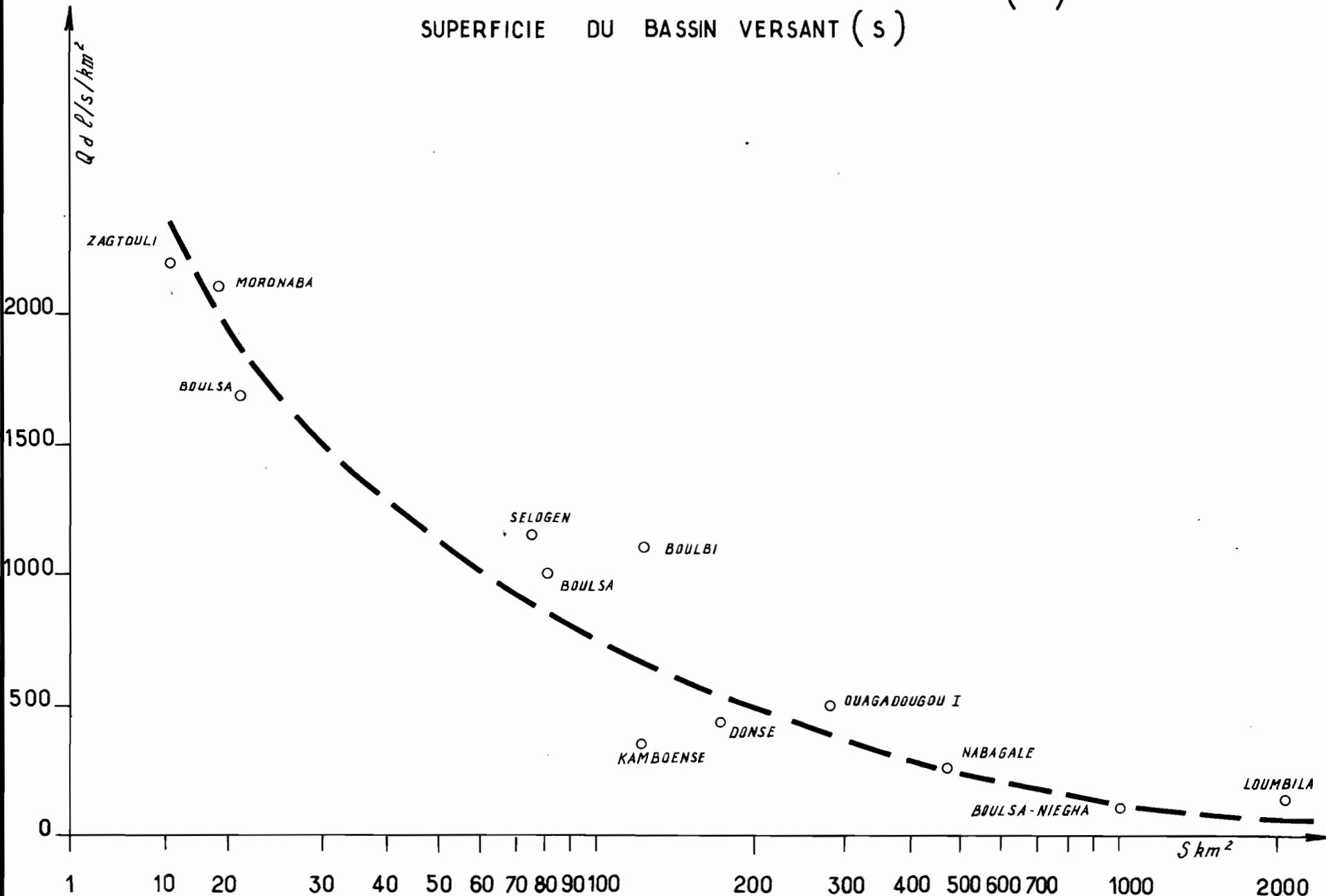
- 1 - La crue décennale.
- 2 - Le coefficient d'écoulement annuel.

1 - La crue décennale :

Nous avons eu la chance de rencontrer de très fortes averses au cours de nos trois campagnes, de sorte que l'étude d'ensemble conduit à des résultats qui présentent une certaine sécurité. Les chiffres obtenus sont en général assez faibles. Ces valeurs sont en rapport avec la faible pente et le caractère un peu spécial du réseau hydrographique très encombré par la végétation et, en général, mal tracé.

Nous avons pu tracer une courbe du débit spécifique de crue décennale (Q_d) en fonction de la superficie. On a tenu compte pour ce tracé des deux petits bassins de BOULSA situés à l'Est de OUAGADOUGOU (graphique 65)

CORRELATION ENTRE LE DÉBIT SPÉCIFIQUE DE POINTE DE LA CRUE DÉCENNALE (Q_d) ET LA SUPERFICIE DU BASSIN VERSANT (S)



Certains points représentatifs, tels ceux correspondant aux bassins de SELOGEN, BOULBI, OUAGADOUGOU I et MORO NABA, sont situés au-dessus de cette courbe moyenne, alors que d'autres, tels les points représentatifs de KAMBOENSE, DONSE, ZAGTOULI, sont au-dessous. Ces écarts correspondent certainement à des caractéristiques particulières des bassins qui entraînent des réactions différentes devant un épisode pluvieux identique.

Une des caractéristiques physiques qui joue un rôle prépondérant dans cette région est la densité de drainage.

2 - Le coefficient d'écoulement :

On a étudié assez rapidement la corrélation entre le coefficient d'écoulement calculé sur nos trois années d'étude et la densité de drainage.

Cette densité est définie simplement par le rapport de la longueur du réseau hydrographique en km, mesuré au curvimètre sur la carte au 1/200 000^e, à la superficie du bassin considéré en km². Il est bien évident que la façon dont on a levé la carte et dont on l'a dessinée influe sur cette densité de drainage par le biais du facteur longueur mais, pour une région déterminée, on peut admettre que les valeurs observées sont cohérentes et de ce fait peuvent être comparées entre elles.

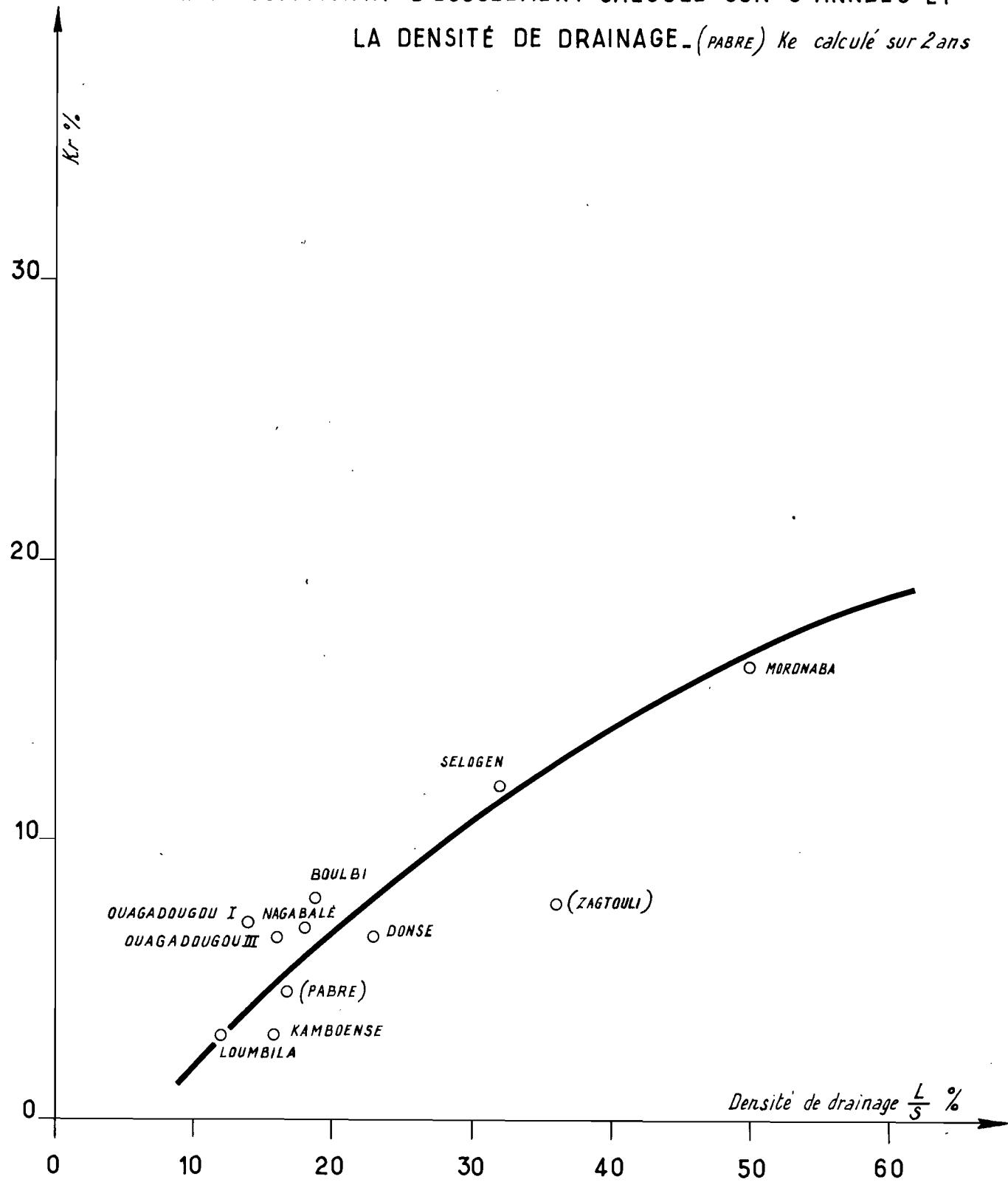
Nous constatons sur le graphique 66 qu'il y a une tendance très nette à l'augmentation du coefficient d'écoulement avec la densité de drainage. On devra donc, dans l'estimation des crues, tenir le plus grand compte de ce caractère morphologique qui, toutes choses restant égales par ailleurs, est un indice de crue plus forte.

Le coefficient d'écoulement passe de 16,2 % pour le MORO NABA à 3,1 % pour LOUMBILA. La valeur obtenue sur deux ans à BAZOULE ne tient pas compte de l'année 1961 et le coefficient de 2,4 % est certainement trop faible.

Notons que, toutes choses restant égales par ailleurs, le coefficient d'écoulement annuel varie en sens inverse de la superficie; ceci est plus sensible encore en année sèche un peu au Nord de la zone étudiée.

BASSINS VERSANTS DE OUAGADOUGOU

CORRÉLATION ENTRE LE COEFFICIENT D'ÉCOULEMENT CALCULÉ SUR 3 ANNÉES ET
LA DENSITÉ DE DRAINAGE. $(PABRE)$ *Ke calculé sur 2 ans*



Dans l'ensemble, ces coefficients sont faibles mis à part ceux du MORO NABA (16,2 %) et de SELOGEN (11,9 %). Le bassin versant de ZAGTOULI aurait certainement un coefficient d'écoulement moyen supérieur à 10 % si nous prenions en compte l'année 1961, malheureusement manquante.

Ces fortes valeurs s'expliquent :

- pour le MORO NABA et ZAGTOULI, par leur superficie réduite et leur forte densité de drainage ;
- pour SELOGEN, par la nature du sol. La perméabilité plus forte de ce bassin permet à l'écoulement de se prolonger beaucoup plus tard que partout ailleurs sous la forme d'un écoulement de base, notamment en 1963.

Etant donné la dégradation du réseau hydrographique et la forte évaporation, le rendement de nos bassins, au point de vue des apports naturels, est bien meilleur pour de petits bassins ou pour des bassins ayant une perméabilité suffisante pour mettre à l'abri de l'évaporation une partie des précipitations.

C O N C L U S I O N

La confiance que l'on peut accorder à nos estimations de crue décennale et d'apports naturels est évidemment fonction du plus ou moins grand nombre d'années d'étude en notre possession : 1 an pour GOGEN, 8 ans pour LOUMBILA et OUAGADOUGOU III.

La grande irrégularité interannuelle des apports naturels nécessiterait une étude hydropluviométrique à l'échelle de la précipitation journalière ou tout au moins décadaire. Cette étude s'est avérée impossible faute de données pluviométriques suffisantes pour la reconstitution des débits sur une période suffisamment longue.

Néanmoins, nos trois années d'étude ayant comporté, pour la plupart des bassins, une année très pluvieuse (1962) et une année atteignant pratiquement l'année décennale sèche (1963), nous pouvons avancer nos valeurs avec une précision satisfaisante et les soumettre ainsi aux ingénieurs intéressés.

Jusqu'à ce que l'on obtienne des résultats plus précis, la courbe des variations du débit spécifique de la crue décennale, en fonction de la superficie qui a été tracée, pourra être utilisée pour cette région de la République Voltaïque en prenant bien soin de majorer dans d'assez fortes proportions les chiffres obtenus, chaque fois que la pente deviendra relativement forte, que la perméabilité diminuera ou que la densité de drainage s'avérera plus forte qu'en moyenne, ou de réduire bien entendu dans le cas contraire.

Notre courbe montrant la corrélation entre la densité de drainage et le coefficient d'écoulement moyen n'a d'autre ambition que de souligner, s'il en était encore besoin, l'intérêt de l'association des études géomorphologiques et hydrologiques.

L'idéal pour l'hydrologue serait de disposer, avant toute étude ou projet d'étude, d'une carte géologique, d'une carte géomorphologique et d'une carte des sols.

Sans aller aussi loin, il apparaît que la mise sur pied d'indices morphométriques précis est hautement souhaitable, tant pour les hydrologues que pour les géomorphologues et que, à cet égard, la synthèse en ce moment en cours dans le cadre de la section hydrologique de l'ORSTOM, synthèse portant sur les relations entre le ruissellement, la perméabilité des sols, les facteurs géomorphiques, apportera à tous les spécialistes des réponses quantitatives à certains de leurs problèmes.

BIBLIOGRAPHIE

- ARCHAMBAULT J. (1954) Quelques aspects de l'hydrogéologie de la HAUTE-VOLTA - BURGEAP - PARIS - 19 pages.
- ARNOULD M. (1961) Etude géologique des migmatites et des granites précambriens du Nord-Est de la COTE-d'IVOIRE et de la HAUTE-VOLTA Méridionale - Mémoires du BRGM N° 3 - pages 21-106.
- BRAQUAVAL R.
ROCHETTE C.
ROCHE M. (1957) Etude hydrologique du bassin versant du MAYONKOURE - E.D.F-I.G.E.C.O. - Exposé sur la méthode de l'hydrogramme unitaire - 29 pages.
- BRUNET-MORET Y. (1963) Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale - République de HAUTE-VOLTA - ORSTOM - 23 pages - Edition provisoire.
- CRUETTE J.
LELIEVRE M. (1963) Etude hydrologique du SOLOMOUGOU - Résultats de la campagne 1962 - ORSTOM - Tome I - 68 pages.
- DUCELLIER J. (1963) Contribution à l'étude des formations cristallines et métamorphiques du centre et du Nord de la HAUTE-VOLTA - Mémoires du BRGM N° 10 - Pages 29-48 et 189-191.
- GLANGEAUD L. (1959) Classification géodynamique des chaînes de montagne. Les chaînes intra-cratoniques - Rev. Géogr. phys. et géol. dynam. - PARIS - 2ème série, vol. II, fasc. 4 - Pages 197-204.
- GRISOLLET H.
GUILMET B.
ARLESY R. (1962) Climatologie - Editions GAUTHIER-VILLARS - PARIS - 401 pages.

- JOHNSTONE D. (1949) Elements of Applied Hydrology - Ed. the Ronald Press Company - NEW YORK - Pages 212-235.
- KENDREW W.G. (1961) The climates of the continents - Ed. Clarendon Press OXFORD - 608 pages.
- LENCASTRE A. (1961) Manuel d' Hydraulique Générale - Ed. Eyrolles - PARIS - 411 pages.
- LINSLEY R.K. (1949) Applied Hydrology - Ed. Mc. Graw Hill Book Company NEW YORK - 689 pages.
- KOHLER M.A.
PAULHUS J.L.H.
- MORICE E. (1954) Analyses statistiques INSEE - Ed. Imprimerie Nationale - 2ème Partie - 555 pages.
- CHARTIER F.
- PEGUY Ch.P. (1961) Précis de Climatologie - Ed. Masson - PARIS - 347 pages.
- REMENIERAS (1960) L'Hydrologie de l'Ingénieur - Ed. Eyrolles - PARIS - 413 pages.
- ROCHE M. (1963) Hydrologie de surface - Ed. GAUTHIER-VILLARS - PARIS - 429 pages.
- ROCHE M.
DUBREUIL P.
- RODIER J. (1961) Régimes Hydrologiques de l'Afrique Noire à l'Ouest du CONGO - Edition provisoire.
- RODIER J.
BRUNET-MORET Y. (1963) Etude du ruissellement sur le plateau de l'ADAMAOUA (BOUNDJOUK) - ORSTOM - 52 pages.
- ROQUES M. (1951) Observations nouvelles sur le Précambrien de l'Afrique Occidentale Française et du TOGO - SGPM - DAKAR - Rapport annuel 1951 - Pages 22-26.
- SAGATZKY Y. (1954) La géologie et les ressources minières de la HAUTE-VOLTA méridionale (Thèse NANCY 1950) - DAKAR BULL, N° 13 225 pages.

C A R T E S

- 1/2 000 000^e Carte géologique d'Afrique Occidentale -
Feuilles N° 2 et N° 5.
- 1/500 000^e Carte géologique OUAGADOUGOU partie Sud
(levée par J. DUCELLIER).
- 1/200 000^e Feuille de OUAGADOUGOU -
Feuille de PO.
- 1/200 000^e Carte pédologique de reconnaissance -
(cercles de : KAYA - ZINIARE - BARSALOGHO) -
Levée par P. JONGEN pour la SOGETHA.