

Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer

Service Hydrologique

République de HAUTE-VOLTA

Ministère de l'Économie Nationale

Service du Génie Rural

**ÉTUDE HYDROLOGIQUE
DE BASSINS EXPÉRIMENTAUX
DANS L'EST-VOLTA**

BASSINS DE BOULSA

Campagne 1962

par

J. SIRCOULON
Ingénieur Hydrologue
de l'O.R.S.T.O.M.

J.-C. KLEIN
Ingénieur Hydrologue
de l'O.R.S.T.O.M.

OFFICE de la RECHERCHE SCIENTIFIQUE
et TECHNIQUE OUTRE-MER

Service Hydrologique

République de HAUTE-VOLTA

MINISTERE de l'ECONOMIE NATIONALE

Service du Génie Rural

ETUDE HYDROLOGIQUE
de BASSINS VERSANTS EXPERIMENTAUX
dans l'EST - VOLTA

BASSINS de BOULSA

Campagne 1962

par

J. SIRCOULON
Ingénieur Hydrologue
de l'ORSTOM

J.C. KLEIN
Ingénieur Hydrologue
de l'ORSTOM

SOMMAIRE

Bassins de BOULSA - Campagne 1962

	Pages
Introduction	
I -- Données géographiques	2
II -- Données climatologiques	3
III -- Réalisation du programme	5
3.1 - Pluviométrie	5
3.2 - Hydrométrie	6
IV -- Pluviométrie de l'année 1962	7
V -- Analyse des crues du NIEBSDODE à KOGHNERE	10
5.1 - Mesure des débits	10
5.2 - Débits moyens journaliers et mensuels	11
5.3 - Averses et crues observées	11
5.4 - Caractéristiques des crues	16
5.5 - Etude du coefficient d'écoulement	21
5.6 - Estimation des crues exceptionnelles	23
5.6.1 - Crue annuelle (médiane)	24
5.6.2 - Crue décennale	25
5.7 - Bilan hydrologique	26
VI -- Analyse des crues de la POGORAYA à KOGHO	28
6.1 - Mesure des débits	28
6.2 -- Débits moyens journaliers et mensuels	28
6.3 - Averses et crues observées	30
6.4 - Caractéristiques des crues	35
6.5 - Etude du coefficient d'écoulement	40
6.6 -- Estimation des crues exceptionnelles	43
6.6.1 - Crue annuelle (médiane)	43
6.6.2 - Crue décennale	44
6.7 - Bilan hydrologique	45

	Pages
VII - Etude de l'écoulement du KOULOUOKO à NIEGHA	47
7.1 - Mesure des débits	47
7.2 - Apports annuels	48
7.3 - Averses et crues observées	53
7.4 - Caractéristiques des crues	60
7.5 - Estimation des crues exceptionnelles	65
7.5.1 - Crue annuelle (médiane)	66
7.5.2 - Crue décennale	71
Conclusion	75
Annexes pluviométriques	

Par une Convention signée le 11 Avril 1960 et financée sur le budget FAC - 60, le Service du Génie Rural de HAUTE VOLTA a confié à l'ORSTOM l'étude hydrologique d'un ensemble de bassins versants situés près de BOULSA.

Cette étude a pour but de déterminer les apports annuels et les débits de crues maximales à prendre en considération pour l'établissement de divers projets de barrages prévus pour des besoins agricoles.

Une première campagne de mesures a été effectuée pendant l'hivernage de 1960 et a fait l'objet d'un rapport d'interprétation.

L'irrégularité du régime hydrologique rendait cependant indispensable la poursuite des études pendant trois années consécutives. Aussi, aux termes de l'Avenant n° 1 du 4 Juillet 1961 à la Convention du 11 Avril 1960, une deuxième campagne d'étude était entreprise en 1961 et a fait l'objet d'un second rapport.

Le présent rapport rend compte des mesures relatives à la troisième et dernière campagne d'études qui s'est déroulée en 1962 (Avenant n° 2 du 5/12/1962 à la Convention du 11 Avril 1960) et fait la synthèse des résultats des trois années.

M. Robert HOORELBECKE a été l'hydrologue responsable de l'ensemble des bassins de BOULSA. Il a assuré la permanence des mesures pluviométriques et hydrométriques pendant toute la durée de la saison des pluies.

I à IV



**Données Géographiques et Climatologiques
Réalisation du Programme
Pluviométrie 1962**

I - DONNEES GEOGRAPHIQUES -

Le lecteur est prié de se reporter au Rapport de la Campagne 1960, dans lequel une description géographique des bassins expérimentaux de BOULSA a été donnée de façon détaillée. Nous rappellerons ici seulement les caractéristiques essentielles.

Les bassins versants expérimentaux étudiés dans la région de BOULSA sont au nombre de trois :

- 1 - Le NIEBSDODJE à KOGHNERE (21,5 km²)
- 2 - La POGORAYA à KOGHO (82 km²)
- 3 - Le KOULOUOKO à NIEGHA (1 010 km²)

Ces trois bassins sont "emboîtés", c'est-à-dire que le premier bassin est situé à l'intérieur du second, qui est lui-même compris dans le troisième. Leur relief assez mou est celui d'une vieille pénéplaine granitique, que ravivent seulement quelques collines de schistes birrimiens au Nord et au Sud-Ouest du bassin du KOULOUOKO.

La majeure partie de ce bassin est occupée par des sols ferrugineux tropicaux, généralement cuirassés et peu perméables. Des sols argileux à hydromorphie temporaire se rencontrent également dans les plaines de débordement.

La végétation naturelle, de type soudano-sahélien, est très dégradée ; cependant, le boisement est encore notable sur les zones cuirassées.

Le réseau hydrographique présente un net caractère sahélien, de par sa dégradation. Seules les branches supérieures du KOULOUOKO bénéficient d'une pente suffisante pour conserver un lit mineur bien défini. Le reste du réseau est manifestement en voie de comblement : le lit mineur tend à s'estomper ou ne subsiste çà et là que sous la forme de mares allongées séparées par des seuils d'alluvionnement. L'écoulement des crues s'étale dans de vastes plaines d'inondation encombrées de graminées.

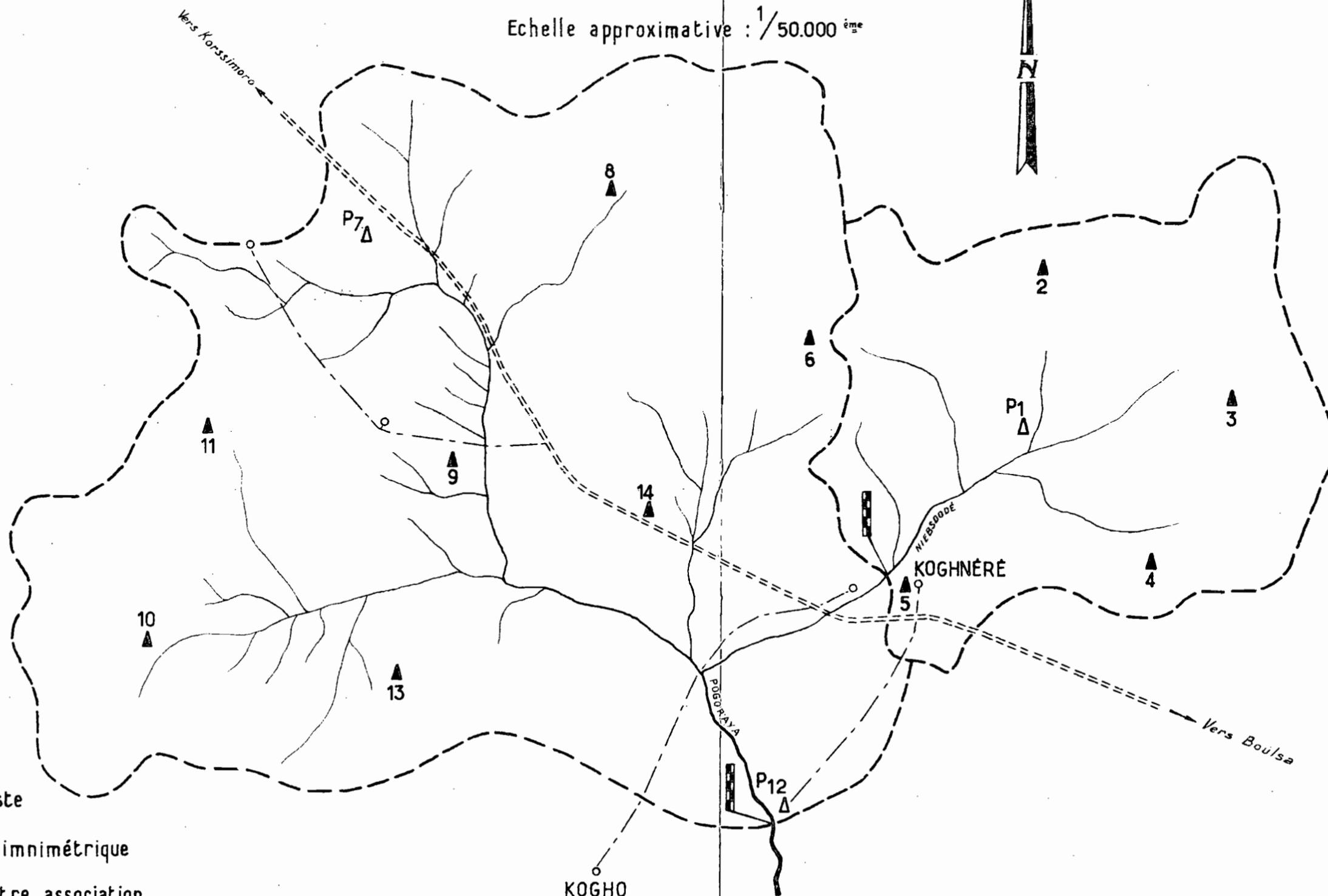
L'accumulation des eaux de ruissellement dans ces plaines d'épandage contribue fortement à amortir les crues et augmente très sensiblement les pertes par évapotranspiration.

BASSINS VERSANTS DE BOULSA

Station n° 1 (KOGHNÉRE) : 21,5 Km² _

Station n° 2 (KOGHO) : 82,0 Km² _

Echelle approximative : 1/50.000^{ème}



Piste

Station limnimétrique

▲ Pluviomètre association

△ Pluviographe

II - DONNEES CLIMATOLOGIQUES -

Le lecteur pourra se reporter au rapport de la campagne 1960 pour un exposé plus complet. Nous nous contenterons ici de rappeler les données essentielles.

Le climat de la région de BOULSA est de type soudanien et comporte deux saisons bien tranchées :

- une longue période de sécheresse quasi absolue d'Octobre à Avril,
- un hivernage pluvieux qui débute en Mai et Juin et s'affirme de Juillet à Septembre.

La pluviométrie annuelle est d'environ :

- 775 mm en année moyenne
- 600 mm en année sèche décennale
- 950 mm en année humide décennale

La majeure partie des précipitations tombe sous forme de tornades courtes et intenses, qui se produisent rarement deux fois dans la même journée. La répartition mensuelle des pluies est en moyenne la suivante :

(en mm)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Précipitations mensuelles	0	2	6	15	70	105	170	240	135	30	2	0	775
Nombre de jours de pluie				2	5	8	12	15	10	3			55

La répartition mensuelle est d'ailleurs très irrégulière d'une année à l'autre. Pour le mois d'Août, par exemple, les valeurs extrêmes observées à OUAGADOUGOU sur 34 ans oscillent entre 135 et 425 mm.

Le rapport de M. Y. BRUNET-MORET "Les averses exceptionnelles en HAUTE VOLTA" (Juin 1963) donne d'utiles indications sur la valeur des précipitations journalières de différentes fréquences et leurs intensités dans cette région.

On obtient ainsi les résultats suivants aux postes météorologiques voisins de BOULSA :

Station	KAYA	KOUPELA	OUAGADOUGOU Ville	OUAGADOUGOU Aéro
Pluviométrie moyenne annuelle (en mm):	701	821	868	901
Précipitation 24 h de fréquence :				
-annuelle	55	63	61	64
-décennale	90	116	107	117
-cinquantenaire	120	163	147	165

Les précipitations décennales sont déterminées à 5 mm près environ.

Pour les bassins de BOULSA, affectés d'une hauteur de pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 775 à 800 mm environ, on peut retenir les hauteurs suivantes:

- <u>Précipitation en 24 h de fréquence annuelle</u>	:	<u>60 mm</u>
<u>de fréquence décennale</u>	:	<u>110 mm</u>
<u>de fréquence cinquantenaire</u>	:	<u>160 mm</u>

Dans ces conditions, l'averse décennale admet les intensités suivantes :

Durée	10 mn	15 mn	30 mn	1 h	1 h.30	2 h	3 h
Intensité (mm/h)	156	130	92	66	50	40	29

III - REALISATION du PROGRAMME -

Les appareils de mesures ont été replacés sur les bassins dans le courant du mois de Mai et les observations pluviométriques et hydrométriques ont été assurées sans interruption jusqu'aux dernières pluies d'Octobre. M. HOORELBECKE a séjourné à BOULSA du 2 Août jusqu'à la fin d'Octobre.

3.1 - Pluviométrie

L'équipement pluviométrique a été remis en service tel qu'il avait été installé pour la campagne 1961.

Il comportait :

- sur le B.V. du NIEBSDODE :
 - 1 pluviographe enregistreur (P₁)
 - 4 pluviomètres ordinaires "Association" (n° 2 à 5)
- sur le B.V. de la POGORAYA (non compris l'équipement du B.V. du NIEBSDODE)
 - 2 pluviographes enregistreurs (P₇ et P₁₂)
 - 7 pluviomètres "Association" (n° 6, 8 à 11, 13 et 14)
- sur le B.V. du KOWLOUOKO (non compris l'équipement du B.V. de la POGORAYA)
 - 1 pluviomètre "Association" (n° 16)
 - 7 pluviomètres totalisateurs (n° 17 à 23)

Comme pour les années précédentes, il faut ajouter à cet ensemble de pluviomètres celui du Service Météorologique qui est observé par la Mission Catholique de BOULSA (pluviomètre n° 15).

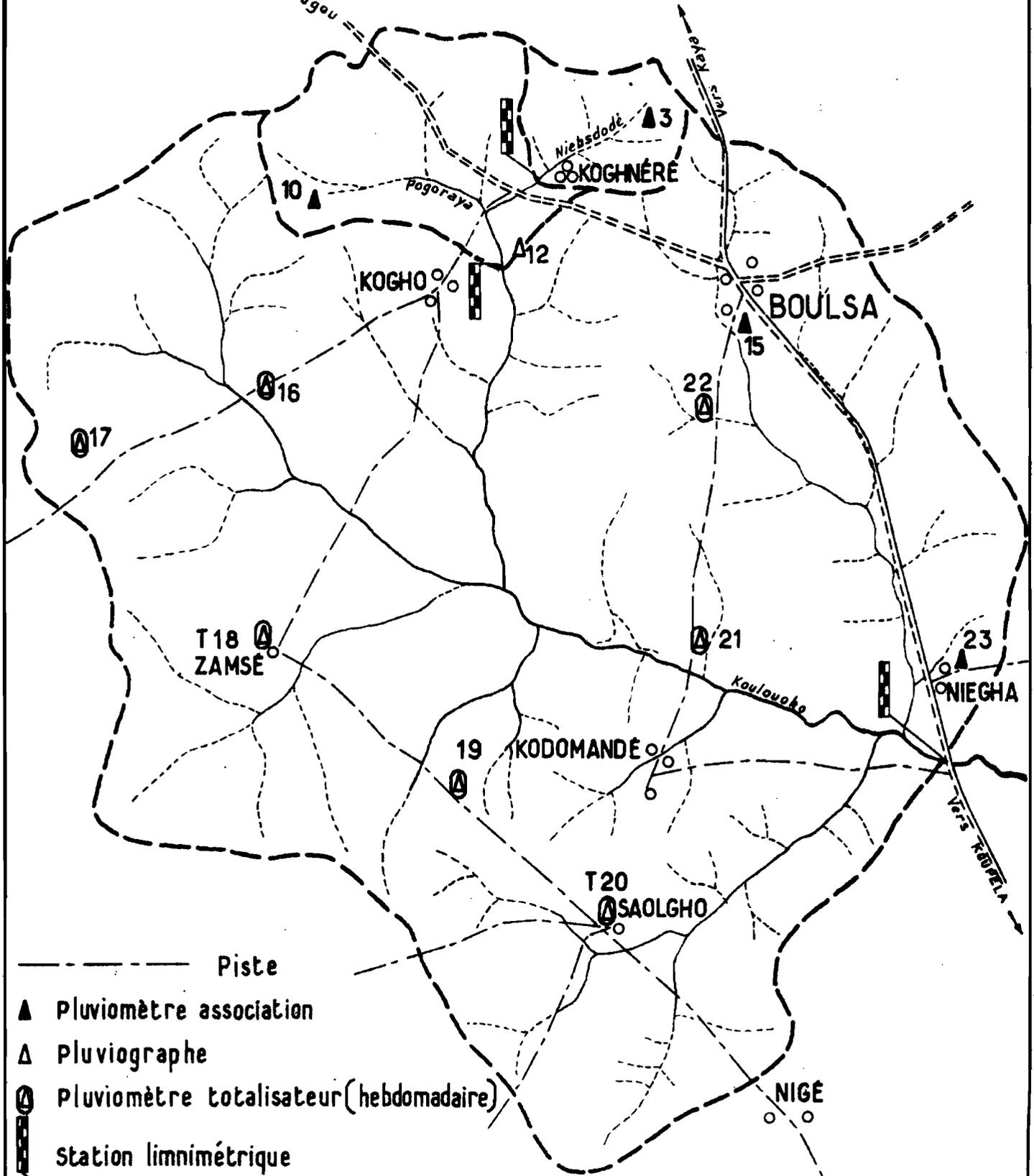
BASSINS VERSANTS DE BOULSA

Gr: 1

Station n° 3 (NIEGHA) : 1.010 Km²

ÉCHELLE : 1/200.000ème

← Vers Ouagadougou



- Piste
- ▲ Pluviomètre association
- △ Pluviographe
- ⊙ Pluviomètre totalisateur (hebdomadaire)
- ▭ Station limnimétrique

Les observations pluviométriques ont eu lieu de façon continue du 25 Mai au 9 Octobre. Les pluviomètres "Association" étaient relevés deux fois par jour et les pluviomètres totalisateurs 1 à 2 fois par semaine suivant l'état des pistes. Les feuilles de pluviographe étaient changées quotidiennement.

Les résultats complets de ces observations sont consignés en annexe à la fin de ce rapport.

3.2 - Hydrométrie

Les stations de mesure du NIEBSDODE et de la POGORAYA ont été installées aux mêmes emplacements qu'en 1960 et 1961, à proximité des villages de KOCHNERE et de KOGHO. Chacune comportait l'équipement suivant :

- une échelle limnimétrique de 3 mètres
- un limnigraphe OTT type X, à révolution journalière
- une passerelle de jaugeage sur le lit mineur
- un câble gradué prolongeant la passerelle de KOGHO pour les mesures de débordement.

La station de mesure du KOULOUOKO a été aménagée comme les années précédentes près du village de NIEGHA. L'équipement comprenait :

- une échelle limnimétrique de 4 mètres
- un limnigraphe OTT type XV, à rotation hebdomadaire.

Les jaugeages ont lieu sur la chaussée submersible construite en 1961 en aval du pont "polypode" en bois. La diguette déversante élevée en aval a été en partie détruite en cours de saison sèche, d'où modification de la courbe de tarage.

La largeur de la section, l'irrégularité de l'écoulement contrarié par le pont en amont et les blocs de latérite disjoints rendent difficile l'exécution correcte des jaugeages de hautes eaux.

IV - PLUVIOMETRIE de l'ANNEE 1962 -

En 1962, la pluviométrie est très largement excédentaire sur tout le centre de la HAUTE VOLTA (cf. graphique 3). Ainsi, le poste de OUAGADOUGOU-Ville reçoit 1112 mm contre 869 mm en année moyenne, celui de KOUPELA 946 mm contre 821 mm, KAYA moins favorisé touche cependant environ 750 mm de pluie contre 701 mm.

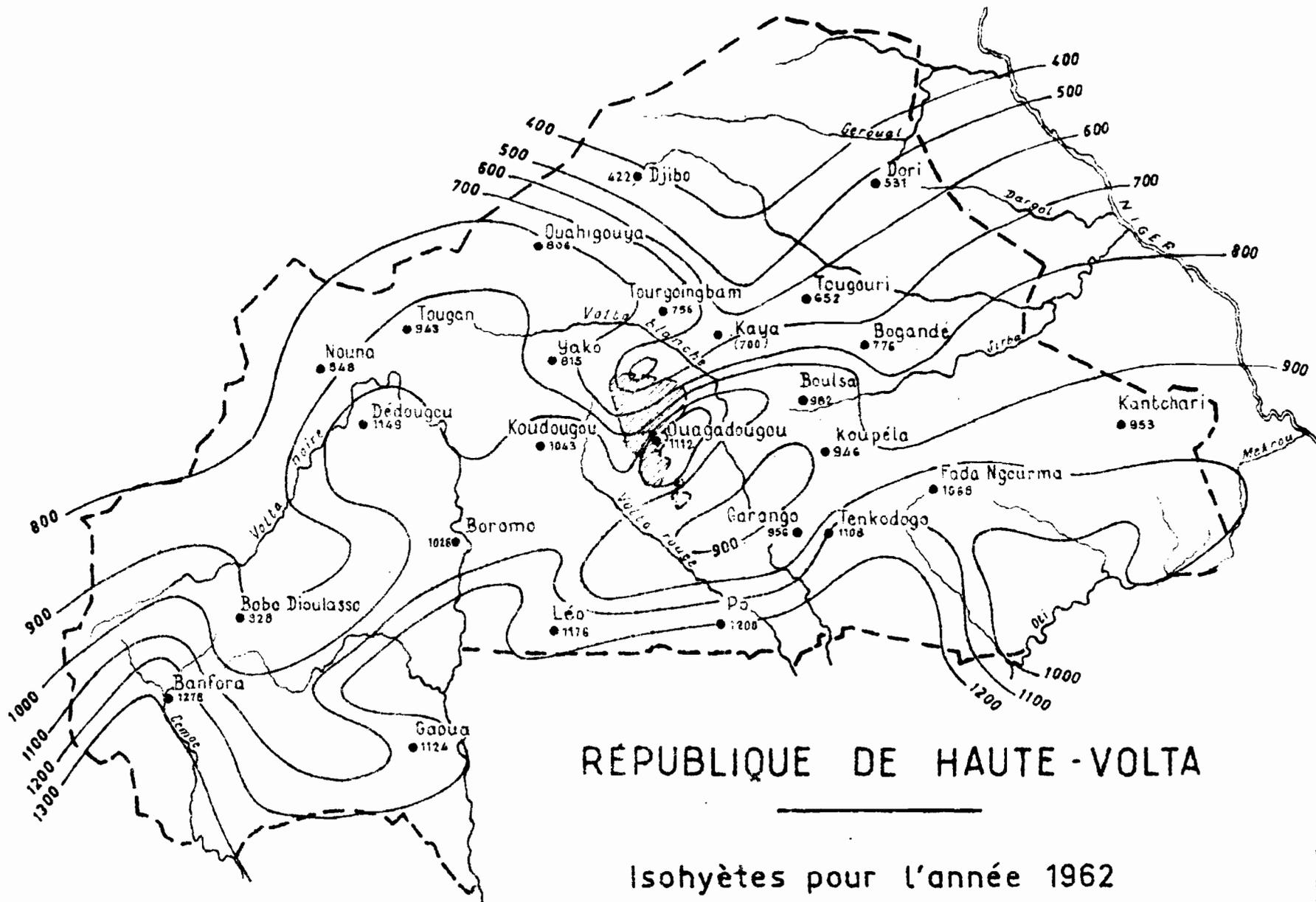
Sur les bassins de BOULSA, un peu au Nord de l'isohyète 800 mm, la pluviométrie annuelle en 1962 est particulièrement élevée : seule, une faible partie du bassin principal reçoit moins de 1 000 mm au cours de l'année, soit, d'une part, une fraction Est comprenant BOULSA et NIEGHA correspondant sans doute au creux de BOGANDE et, d'autre part, une faible zone au Nord-Ouest subissant l'influence du creux de KAYA.

Le Centre et le Sud du bassin sont très favorisés et sont couverts par l'extrémité de la dorsale pluviométrique régnant sur les bassins expérimentaux au Sud de OUAGADOUGOU. On recueille, pendant la période de relevés, 1 288 mm au n° 12 et 1 242 mm au n° 21 (cf. graphique 4).

La station de BOULSA (n° 15) est, comme les autres années, nettement déficitaire par rapport aux autres postes, bien que son total annuel soit, avec 985 mm, supérieur de 35 mm à l'estimation de l'année décennale humide.

Les valeurs extrêmes s'observent cette fois-ci non pas entre BOULSA et NIEGHA mais entre BOULSA et le pluviomètre n° 22 distant de 6 km seulement.

Stations	A	M	J	J	A	S	O	N	Total du 25/5 au 9/10:	Total annuel
BOULSA Noyenne	15	70	105	170	240	135	30	2		775
BOULSA 1962	39	64	156	164	312	224	24	2	925	985
NIEGHA 1962		11	164	335	316	137	34		997	(1060)
N° 22 1962		48	193	332	481	213	21		1288	(1350)



RÉPUBLIQUE DE HAUTE-VOLTA

Isohyètes pour l'année 1962

Cette forte différence correspond aux mois de Juillet et d'Août. A noter cependant que l'écart enregistré à ces 2 postes en Août est, comme c'est souvent le cas, le fait de l'inégale répartition d'une seule averse, celle du 18, dont nous étudierons les caractéristiques un peu plus loin.

L'écart s'estompe lorsqu'on passe des précipitations ponctuelles aux précipitations moyennes annuelles sur les trois bassins versants et l'excédent pluviométrique en 1962 est respectivement de 325, 345 et 375 mm sur les bassins de POGORAYA, NIEBSDODE et KOULOUOKO.

La répartition mensuelle de la pluviométrie moyenne est la suivante pour les 3 bassins (en mm) :

Bassins	24- :31 :Mai	: Juin :	: Juil. :	: Août :	: Sept. :	: Oct. :	Total période d'observation:	Total annuel
NIEBSDODE	: 6	: 175	: 215	: 425	: 215	: 24	: 1060	: (1120)
POGORAYA	: 10	: 170	: 225	: 415	: 195	: 25	: 1040	: (1100)
KOULOUCKO	: 25	: 160	: 270	: 405	: 200	: 25	: 1085	: (1150)

Tous les mois sont nettement excédentaires. Les précipitations sont abondantes dès le mois de Juin, permettant le remplissage précoce de toutes les mares et l'apparition de crues notables au cours de ce même mois. Ensuite, les précipitations abondantes en Juillet et en Août (plus de 400 mm au mois d'Août) et bien réparties, maintiennent des conditions généralement favorables à l'écoulement. Les crues seront très nombreuses, les coefficients d'écoulement élevés et le volume écoulé annuel sera, pour une pluviométrie de 45 % supérieure à la moyenne, 3 à 4 fois plus élevé qu'en 1960, année sensiblement normale. Cette situation est très différente de celle des bassins entourant OUAGADOUGOU, pour lesquels la hauteur de précipitation annuelle a été légèrement excédentaire, mais le volume de ruissellement médiocre, la répartition mensuelle des précipitations ayant été beaucoup moins favorable que dans la région de BOULSA.

Parmi les fortes pluies observées au cours de la campagne 1962, l'averse du 18 Août est de loin la plus importante, elle est de caractère tout à fait exceptionnel et sa fréquence est semble-t-il cinquantenaire, peut-être plus faible encore.

Le maximum ponctuel s'observe au pluviomètre totalisateur n° 16 avec 219 mm, on note 217,5 mm au totalisateur n° 21 et 205 mm au pluviographe P7, ce qui exclut toute erreur de lecture.

Hormis les postes de BOULSA et de NIEGHA qui sont relativement épargnés avec 44,3 et 40,9 mm, tous les autres postes reçoivent plus de 165 mm de pluie et sur les bassins de NIEBSDODE et de POGORAYA, les pluviomètres "Association" débordent (la contenance limite étant de 175 mm).

La répartition spatiale de cette averse est remarquablement homogène (excepté l'étroite frange Est sur BOULSA et NIEGHA), son extension très grande puisque la zone pluvieuse affecte KAYA et les abords de OUAGADOUGOU.

La pluviométrie moyenne des bassins du KOU LOUKO et de POGORAYA est de 180 mm, celle du bassin de NIEBSDODE de 140 mm.

La durée totale de la pluie est de 11 heures avec un corps de 3 heures pendant lequel de nombreuses pointes à forte intensité approchent ou dépassent 100 mm/h. Ensuite, pendant toute la traîne, l'intensité reste comprise entre 5 et 10 mm/h.

La courbe intensité-durée de l'averse, au pluviographe P7, est particulièrement exceptionnelle et présente les valeurs suivantes :

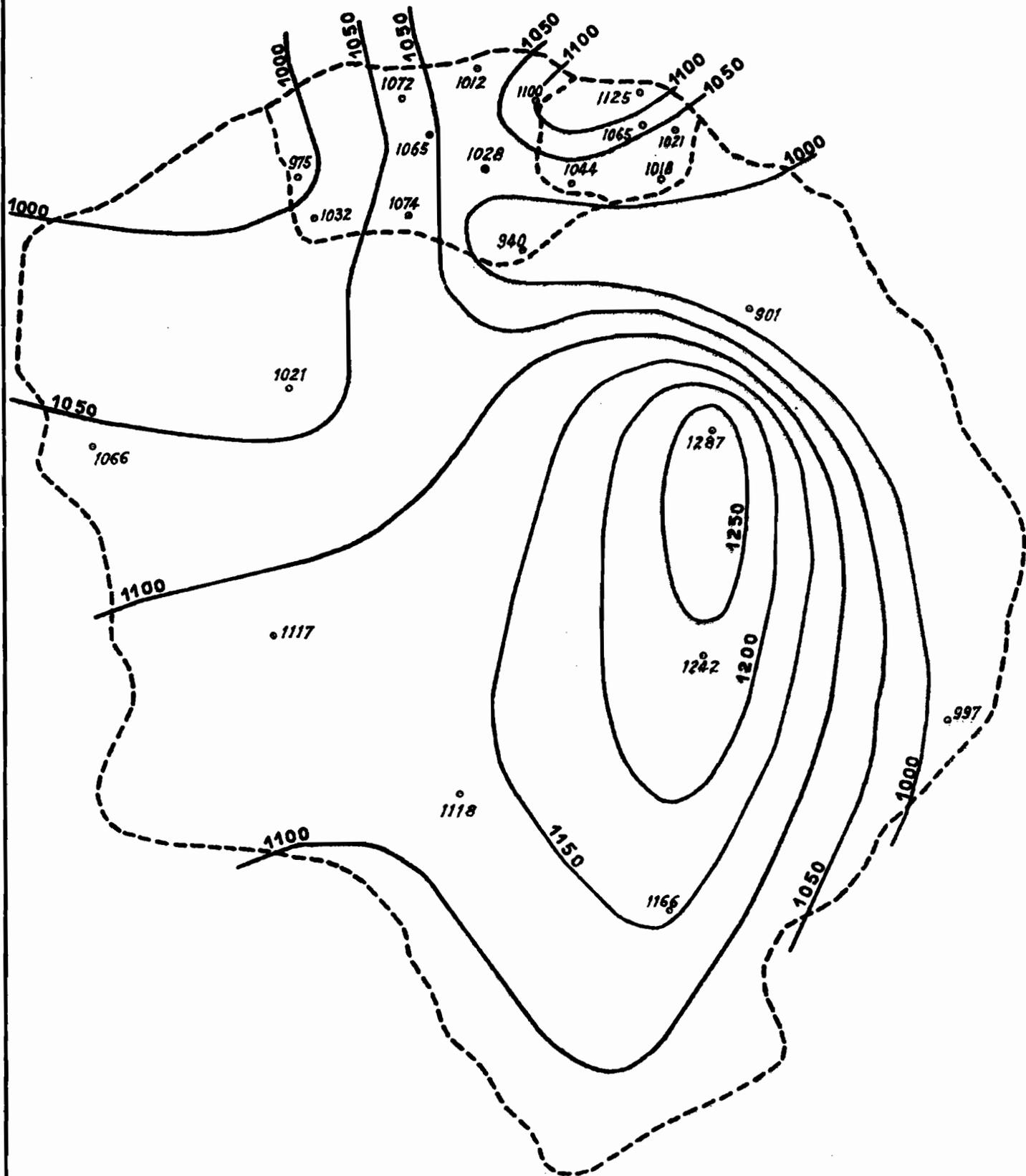
168 mm/h	en	5 mn
153	"	en 10 mn
128	"	en 15 mn
108	"	en 20 mn
100	"	en 25 mn
94	"	en 30 mn
60	"	en 1 h
49	"	en 3 h

Cette pluie donne lieu évidemment à la plus forte crue de l'année aux trois stations de mesure.

BASSINS DE BOULSA

Isohyètes Annuelles

(Du 24 Mai à fin Octobre 1962)



V



Analyse des Crues du NIEBSDODÉ à KOGNERE

V - ANALYSE des CRUES du NIEBSDODE à KOGHNERE (21,5 km²)

5.1 - Mesure des débits

Cinq jaugeages, effectués pour des débits allant de 1,36 à 10,0 m³/s, permettent de modifier légèrement la courbe d'étalonnage des années précédentes en ce qui concerne les basses eaux. Le jaugeage du 18 Août correspond au plus fort débit jaugé pendant les 3 campagnes.

Date	Hauteur (en cm)	Débit (en m ³ /s)
21/9/62	146 - 148,5	1,36
21/9/62	156,5 - 153,5	3,12
18/8/62	169,5 - 167	6,20
18/8/62	176 - 172,5	7,90
18/8/62	185 - 180	10,0

Le débit s'annule pour les hauteurs inférieures à 1,32 m (seuil dénoyé en aval).

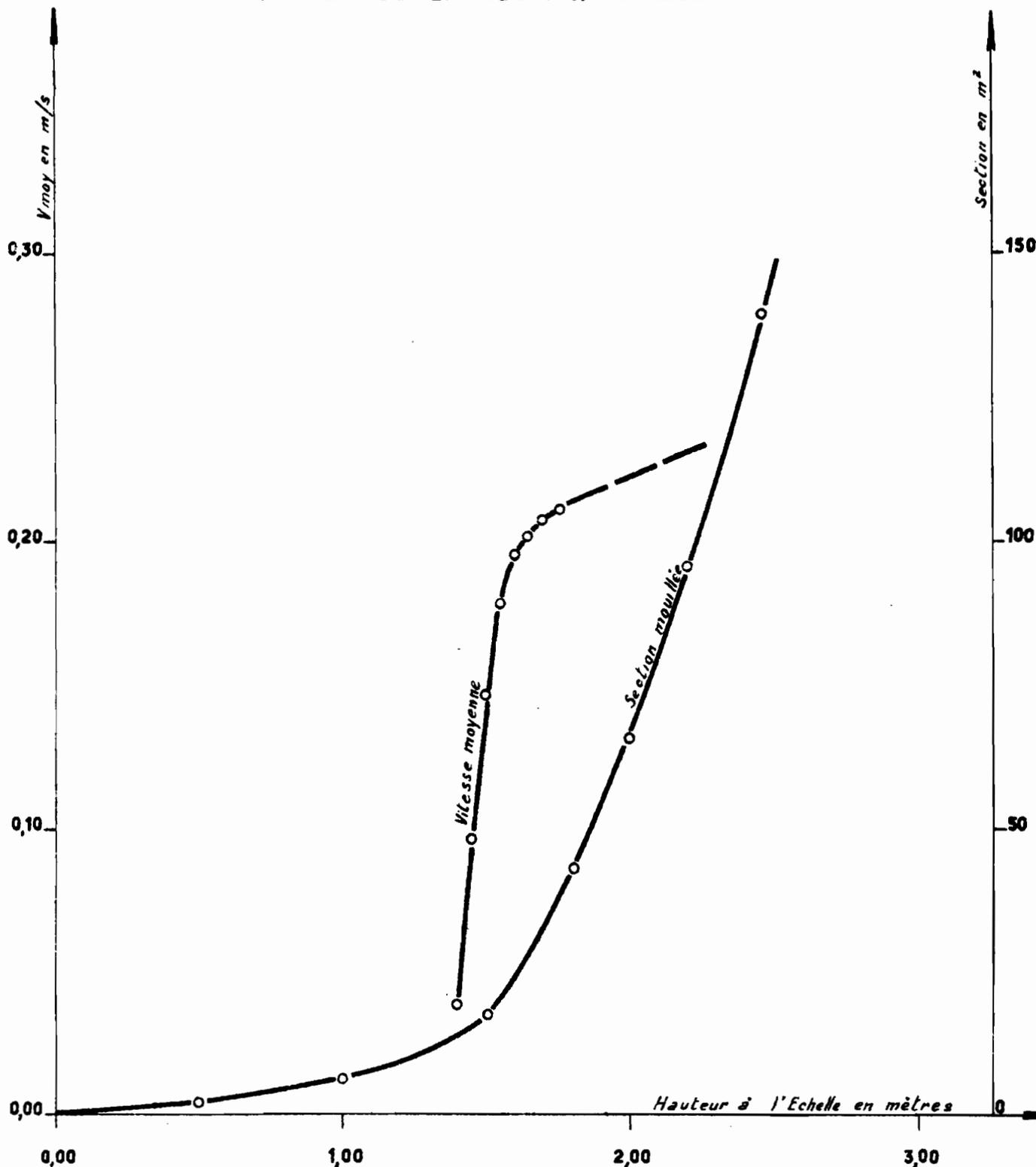
La hauteur de crue maximale en 1962 a été de 2,295 m. La courbe d'étalonnage a donc du être extrapolée pour les hautes eaux ; on a pour cela tenu compte des courbes des vitesses moyennes et de la section mouillée, cette dernière a pu être relevée facilement jusqu'à cette cote.

Valeurs obtenues par extrapolation:

Hauteur en cm	Débit en m ³ /s
200	14,6
210	17,6
220	21,7
230	25,3

Le NIEBSDODÉ à KOGHNÉRE (Station n°1)

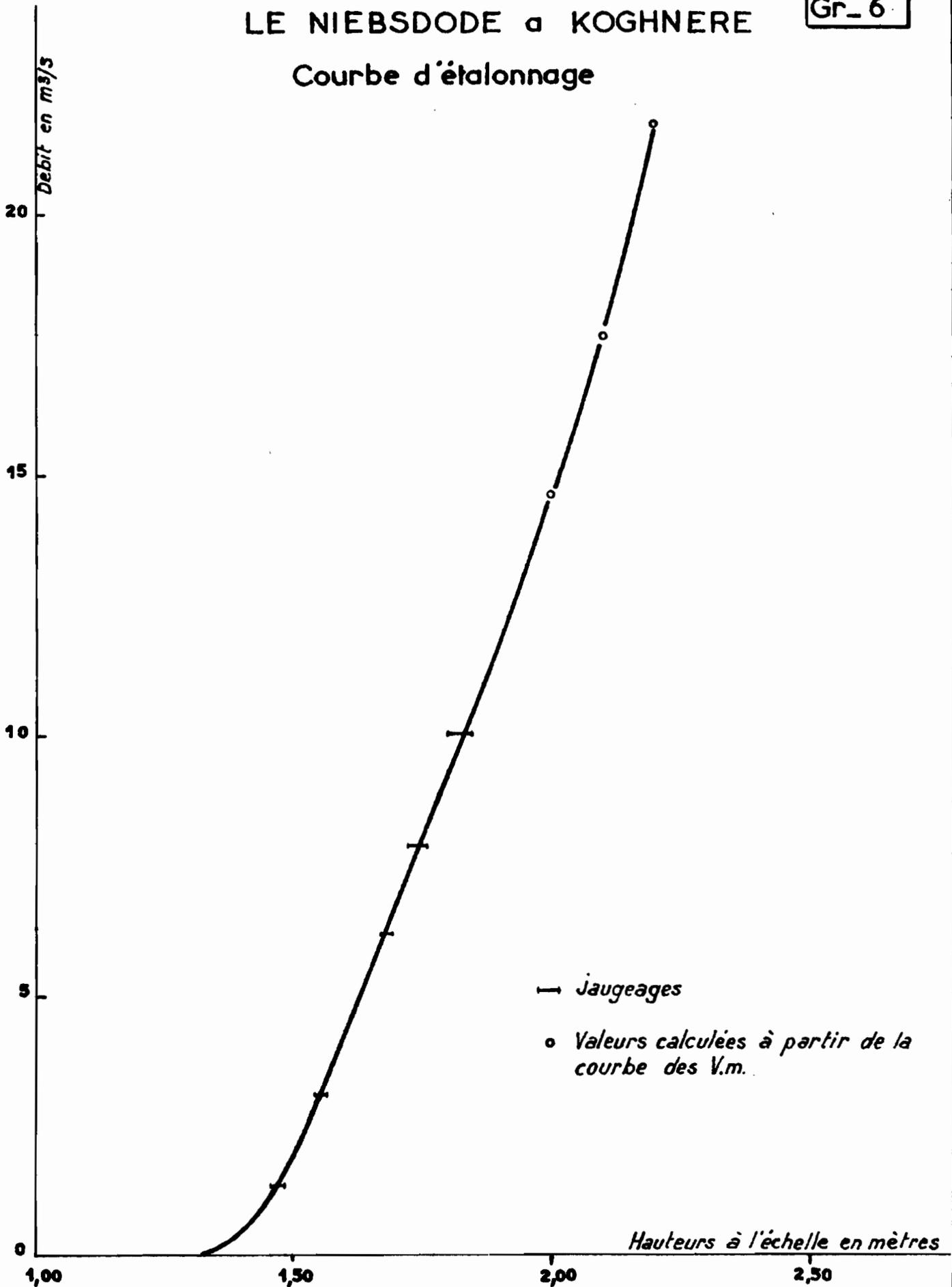
COURBE DES VITESSES MOYENNES
 COURBE DE LA SECTION MOUILLÉE



LE NIEBSDODE a KOGHNERE

Gr_6

Courbe d'étalonnage



→ Jaugeages

○ Valeurs calculées à partir de la courbe des V.m.

Hauteurs à l'échelle en mètres

5.2 - Débits moyens journaliers et mensuels

On trouvera ci-après le tableau des débits moyens journaliers avec pour chaque mois deux colonnes, la première correspond au débit moyen et la seconde au débit maximal de crue.

A la dernière ligne se trouvent la moyenne mensuelle et le module de 1962 qui ressort à 0,086 m³/s.

5.3 - Averses et crues observées

Les relevés du pluviographe P₁, qui occupe une position centrale dans le bassin, sont bien représentatifs des averses affectant le NIEBSDOLE.

Les averses observées à cet appareil ont été classées et figurent dans le tableau ci-dessous :

Pluies	Mai du 24 au 31	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Total du 25/5 au 8/10
0 -10 mm	1	4	3	9	4	1	22
10 -20 "		2	5	2	4	(1)	14
20 -30 "		1	3	2	2		8
30 -40 "			1	2	3		6
40 -50 "		1		1			2
50 -60 "		1					1
> 60 "				1 (169 mm)			1
	1	9	12	17	13	2	54

La comparaison des averses tombées de Juillet à Septembre en P₁ au cours des trois campagnes montre que, si le nombre des averses est sensiblement le même dans tous les cas, la proportion de fortes et moyennes averses est nettement plus grande en 1962.

Débits moyens journaliers en m³/s
du NIEBSDODE à KOGHNERE
en 1962

Jours	Juin		Juillet		Août		Septembre	
	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max	Q moy	Q max
1					0,085		0,585	3,50
2					0,035		0,619	
3					1,10	3,70	2,46	7,50
4							1,65	4,70
5							0,083	
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13	?	?						
14								
15			0,276	1,40				
16							0,299	1,50
17							1,78	5,50
18					7,84	25,1	0,016	
19	?	?			0,444			
20					1,44	4,80		
21					0,077		1,63	4,70
22								
23								
24					0,995	5,70		
25					0,404		0,071	0,360
26					0,152	1,05		
27					0,201		0,831	2,95
28					2,45	9,30	0,677	2,80
29					2,69	8,90	0,256	
30					0,120	0,55		
31			0,017	0,50	0,150			
Débit :moy. mens:	?		0,009		0,586		0,365	

Débit moyen annuel = (0,086 m³/s)

On note en particulier au cours de cette dernière campagne, pendant le 3ème trimestre, 8 averses supérieures à 30 mm contre 3 en 1961 et 5 en 1960.

Répartition des averses du 3ème trimestre au pluviographe P₁

Pluies	1960	1961	1962
0 - 10 mm	20	23	16
10 - 20 mm	9	8	11
20 - 30 mm	7	4	7
30 - 40 mm	3	1	6
40 - 50 mm	1	1	1
50 - 60 mm	1	0	0
> 60 mm	0	1	1
Total	41	38	42

La répartition régulière dans le temps des averses permet au chapelet de mares occupant le lit mineur d'être toujours en eau. A chaque averse supérieure à 20 mm, il y aura débordement et écoulement, mais excepté l'averse du 18 Août qui est assez exceptionnelle et donne une crue dépassant 25 m³/s, les autres précipitations ne présentent pas de valeurs vraiment remarquables et les crues seront nombreuses (18 ont un débit de pointe supérieur à 1 m³/s) sans être pour autant très fortes.

La saison des pluies débute assez rapidement sur le bassin et le mois de Juin est déjà très arrosé. Les averses du 13 et du 19 Juin ont une pluviométrie moyenne supérieure à 45 mm. Ce sont des tornades à très forte intensité initiale (138 mm/h en 5 minutes). Bien que les conditions de saturation soient évidemment médiocres en ce début d'hivernage (l'indice d'humidité I_H = 8 et 16), le ruissellement est important, toutes les mares se remplissent puis débordent. L'écoulement observé à la station de KOGHO permet de penser que la première crue avoisinait 1 m³/s et que la seconde dépassait nettement cette valeur.

En Juillet, il se produit peu de précipitations notables au cours de la première quinzaine. Le 15 Juillet survient une averse très homogène, de 44,2 mm de moyenne, ayant 2 épïcêtres opposés (51,3 mm au n° 3 et 52,0 mm au n° 5). Les mares n'étaient plus qu'à moitié remplies ($I_H = 19$) d'où un volume écoulé restant modeste et un coefficient d'écoulement de 2,5 %.

Le 3 Août se produit une nouvelle précipitation importante. Le maximum ponctuel est de 54,9 mm, la pluie moyenne de 47,6 mm. Cette averse est formée de 3 grains à fortes intensités séparés par 2 heures d'accalmie. Les 2 premiers permettent la mise en eau du réseau hydrographique et le dernier donne un écoulement dont le débit de pointe est de 3,7 m³/s. Le coefficient d'écoulement est voisin de 10 %, il est rapporté à toute l'averse alors que seule la dernière pointe donne lieu à ruissellement, le coefficient de ruissellement rapporté à cette dernière pointe doit donc être beaucoup plus élevé.

Averse du 18 Août

Cette averse, déjà décrite précédemment, a relativement épargné le bassin du NIEBSDODE; la hauteur de pluie décroît rapidement d'Ouest en Est, alors que le maximum ponctuel est de l'ordre de 180 mm sur l'extrême Ouest le pluviographe P₁ reçoit 159 mm dans la matinée et la bordure orientale touche moins de 100 mm.

Les pluviomètres Association n'ont pu être relevés de façon correcte, il semble cependant que la pluie moyenne soit très voisine de 140 mm.

La phase paroxysmale de l'averse s'étend de 0 h.30 à 4 h du matin, de nombreux grains à fortes intensités (50 à 100 mm/h) se succèdent rapidement, entrecoupés de très brèves accalmies. Ils totalisent 110 mm environ, ensuite on observe une longue traîne qui dure jusqu'à midi avec des intensités voisines de 5 mm/h.

Les conditions de saturation précédant l'averse ne sont pas très favorables ($I_H = 30$) car la quinzaine précédente a été peu arrosée et la pluie de la veille n'a pas ruisselé. Le NIEBSDODE commence à déborder à 2 h du matin et l'écoulement atteint son maximum à 4 h.30 avec un débit de pointe de 25,1 m³/s. La durée totale de l'écoulement sera de 40 heures. Le volume écoulé est, avec 716 000 m³, le plus fort de l'année. Il dépasse avec une seule crue le total annuel de 1960 et représente le double de celui de 1961. Le coefficient d'écoulement total est de 23,8 %, valeur relativement modérée pour une pluie de cette importance, correspondant à une saturation préalable assez moyenne.

Après cette averse, le réseau hydrographique reste en eau de façon permanente, la totalité du bassin ruissellera à chaque crue et les coefficients d'écoulement seront toujours élevés. C'est entre le 28 Août et le 3 Septembre que l'on observe les trois autres crues les plus importantes de l'année :

Averse du 28 Août

L'épicentre de cette averse est sur le Sud-Ouest du bassin (53,5 mm au P₄).

La pluie moyenne est de 42,9 mm. L'averse est assez longue, sans grandes intensités (49 mm/h en 10 minutes). Les pluies tombées les jours précédents sont propices à la reprise rapide de l'écoulement ($I_H = 44$). Le débit de pointe est de 9,3 m³/s, le coefficient d'écoulement de 23,3 %.

Averse du 29 Août

Cette averse a son maximum ponctuel situé sur l'Est (33,6 mm au P₃). Elle est très homogène, sa moyenne est de 30,2 mm. Elle survient alors que l'écoulement dû à l'averse de la veille n'est pas encore terminé ($Q_0 = 25$ m³/s. Les conditions d'écoulement étant très satisfaisantes ($I_H = 79$), on observe un débit de pointe de 8,9 m³/s et surtout un coefficient d'écoulement de 36,3 %.

Averse du 3 Septembre

Son maximum ponctuel est de 35,5 mm, sa moyenne est de 28,3 mm.

Se produisant après des pluies très rapprochées, elle donne un coefficient d'écoulement de 36,1 % et un débit de pointe de 7,5 m³/s. Le 4 Septembre, on observe un K_0 de 45 % pour une pluie moyenne de 14,7 mm seulement. Cette valeur semble étonnante. Soulignons toutefois que $I_H = 67$ et que la pluie très courte présente une intensité de 162 mm/h en 5 minutes.

Pendant le reste du mois de Septembre les pluies s'espacent, les seuils se dénoient et les conditions de saturation sont de moins en moins favorables à l'établissement de l'écoulement; 2 averses sont encore à noter :

- celle du 17 Septembre, de 21,8 mm de moyenne, qui, survenant moins d'un jour après une pluie de 27 mm ($I_H = 47$), donne un débit de pointe de 5,5 m³/s. et un K_e de 33 %.
- celle du 21 Septembre, de 38,6 mm de moyenne, qui, avec un sol très ressuyé ($I_H = 22$), donne un débit de pointe de 4,7 m³/s, mais un K_e de 17 % seulement.

5.4 - Caractéristiques des crues

On trouvera, rassemblées dans les tableaux ci-après toutes les valeurs caractéristiques des crues de 1962, ainsi que celles des deux années précédentes, à savoir :

- 1 - Numéro de l'averse et de la crue correspondante
- 2 - Date
- 3 - Pluie maximale ponctuelle P_M en mm
- 4 - Coefficient d'abattement K en %
- 5 - Pluie moyenne P_{moy} en mm
- 6 - Hauteur de pluie utile P_u en mm
- 7 - Intensité moyenne utile I_u en mm
- 8 - Durée de pluie utile t_u en minutes
- 9 - Intervalle de temps t_i à la pluie précédente
- 10 - Volume d'écoulement V_e en 10^3 m^3
- 11 - Coefficient d'écoulement K_e en %
- 12 - Temps de montée t_m de la crue
- 13 - Temps de réponse t_p de la crue
- 14 - Débit maximal Q_H en m^3/s
- 15 - Débit maximal Q'_M rapporté à un volume d'écoulement de $100\,000 \text{ m}^3$
- 16 - Indice d'humidité I_H , tel que
$$I_H = \sum \frac{P_i}{t_i}$$

VALEURS CARACTERISTIQUES des CRUES
du NIEBSDODE à KOGHNERE

(21,5 km²)

N°	Date	P _M	K	P _{moy}	P _u	I _u	t _u	t _i ⁽¹⁾	V _e	K _e	t _n	t _p	Q _{II}	Q _M	I _H
Année 1960	mm	%	mm	mm	mm/h	mm	mm	jour	10 ³ m ³	%	heure	heure	m ³ /s	m ³ /s	
1	6-7	56,4	59	33,4	28,2	38	45	4	58,8	8,2	2 h 00	2 h 00	4,8	8,2	-
2	17-7	39	69	27	25,6	81	19	1	56,1	9,7	3 h 00	3 h 20	4,1	7,3	34
3	17-7	58	72	41,9	-	-	-	1/2	227	25,2	3 h 10	2 h 55	10,5	4,6	50
5	1-8	62,1	77	47,8	32,0	36	54	2	142	13,8	3 h 30	4 h 00	7,2	5,1	38
6	4-8	20,7	68	14	-	-	-	1/2	25,8	8,6	1 h 20 ⁽²⁾	6 h 00	1,4	5,4	35
8	5-9	34	78	26,6	25,0	48	31	1 1/2	39,3	6,9	2 h 40	6 h 40	1,9	4,7	11
Année 1961															
1	20-6	28,6	78	22,5	13,5	53	15	1 1/2	0,6	1,3	0 h 20 ⁽²⁾	3 h 45	0,2	-	-
2	3-8	54,5	65	35,5	8,5	102	5	1	56,1	7,3	0 h 45 ⁽²⁾	2 h 40	4,4	7,8	19
3	18-8	98,0	81	79,5	50,0	40	75	3	236	14,0	2 h 40	2 h 30	14,5	6,1	13
4	2-9	53,3	86	46,3 ⁽³⁾	15,3	30	30	4	71,7	7,1	6 h 40	8 h 00	2,9	4,0	19

Nota : (1) 4 signifie : pluie supérieure à 20 mm 4 jours auparavant
(2) ruissellement partiel
(3) averse double

VALEURS CARACTERISTIQUES des CRUES
du NIEBSDODE à KOGHNERE

(21,5 km²)

Année 1962

N ^o	Date	P _M mm	K %	P _{moy} mm	P _u mm	I _u mm/h	t _u mn	t _i ⁽¹⁾ jour	V _e 10 ³ m ³	K _e %	t _m heure	t _p heure	Q _H m ³ /s	Q _M m ³ /s	I _H
1	13-6	57,0	79	45,4											8
2	19-6	54,5	89	48,6											16
3	15-7	52,0	85	44,2	27	45	35	2	23,9	2,5	5 h 20	5 h 40	1,4	5,8	19
4	3-8	54,9	87	47,6	26,5	80	20	3	98,1	9,6	(6 h 30)	(7 h 05)	3,7	3,8	21
5	18-8 (180)		77	140	86,2	37	140	1	716	25,8	2 h 20	3 h 10	25,1	3,5	30
6	20-8	74,6	51	36,8	29,3	70	25	2	131	15,3	6 h 00	6 h 40	4,8	3,7	85
7	24-8	23,6	86	20,3	15,2	46	20	1	120	27,5	5 h 00	5 h 20	5,7	4,8	52
8	26-8	20,3	86	17,5	12	60	12	2	30,6	8,1	4 h 30	-	1,1	3,6	55
9	28-8	53,3	80	42,9	25,2	38	40	2	215	23,3	5 h 00	6 h 50	9,3	4,3	44
10	29-8	33,6	90	30,2	-	-	-	1	236	36,3	5 h 30	-	8,9	3,8	79
11	1-9	29,0	83	24,1	19,5	76	15	0,5	104	20,0	7 h 20	7 h 15	3,5	3,4	52
12	3-9	35,5	80	28,3	20	40	30	1,5	220	36,1	6 h 15	6 h 05	7,5	3,4	53
13	4-9	17,6	73	14,7	14,7	88	10	1	143	45,2	6 h 20	-	4,7	3,3	67
14	16-9	30,2	90	27,2	24	41	35	5	25,9	4,4	1 h 40	-	1,5	5,8	21
15	17-9	29,5	74	21,8	13,2	36	22	1	155	33,1	6 h 20	8 h 10	5,5	3,5	47
16	21-9	55,2	70	38,6	28,5	43	40	4	141	17,0	5 h 30	6 h 15	4,7	3,3	22
17	27-9	34,0	70	23,7	18,6	37	30	2,5	71,8	14,1	5 h 20	6 h 40	3,0	4,2	21
18	28-9	-	-	-	-	-	-	1,5	80,6	-	6 h 20	-	2,8	3,5	35

Nota : (1) 1,5 signifie : pluie supérieure à 20 mm, 1 jour et demi auparavant

(2) L'averse n^o 4 est triple

Alors que l'année 1960 comptait 6 crues notables et l'année 1961 4 crues seulement, l'année 1962 compte 18 crues supérieures ou égales à $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nous avons vu que la pluviométrie exceptionnelle de 1962, sans doute au moins décennale, et la bonne répartition des averses dans le temps étaient favorables à l'écoulement. Après la crue du 18 Août, les pluies sont suffisamment rapprochées pour que des pluies, même inférieures à 20 mm (averses n° 8 et 13) donnent lieu à un écoulement.

Le nombre important des crues en 1962 et les résultats fournis par les campagnes précédentes permettent de se faire une assez bonne idée de l'évolution des crues et de la forme de l'hydrogramme.

Il est difficile de dégager un véritable hydrogramme type de cet ensemble pour les raisons déjà indiquées dans les rapports précédents: la forme de l'hydrogramme et la durée du ruissellement dépendent de l'intensité des précipitations, de leur répartition spatiale et également, dans une grande mesure, de l'état de saturation du bassin.

Les premières averses de la saison des pluies provoquent un ruissellement très partiel créant un chapelet de mares et de flaques. Ensuite, les pluies au moins égales à 20 ou 25 mm permettent aux mares de communiquer entre elles, de déborder et l'on peut observer à la station de mesures de faibles écoulements.

L'écoulement dû aux fortes pluies de Juillet-Août provient du réseau hydrographique principal ne drainant peut-être que la moitié du bassin. Le temps de montée est de 2 à 3 heures, le temps de ruissellement de 12 à 18 heures.

Si les conditions de saturation s'améliorent en avançant dans la saison, le ruissellement a moins tendance à se perdre dans des dépressions "micro-endoréiques" et ainsi, une partie de plus en plus grande du bassin participe à l'écoulement. Corrélativement, le temps de montée tend à s'allonger, le temps de ruissellement croît évidemment et comme le volume écoulé est de plus en plus important, alors que le débit de pointe ne croît pas dans les mêmes proportions, Q_M s'abaisse de son côté. Ainsi, en cours d'hivernage, Q_M (pour un volume écoulé de $100\ 000 \text{ m}^3$) passe en 1960 de 8,2 à 4,7 et en 1961 de 7,8 à 4,0.

Il ne semble pas que pour les 2 premières campagnes, le ruissellement de la totalité du bassin ait pu parvenir jusqu'à l'exutoire. Les conditions de saturation n'ont jamais été suffisantes, les averses étant beaucoup trop espacées.

En 1962, les premières crues suivent le processus décrit plus haut. Le temps de montée de la crue du 15 Juillet est de 5 h.20 et semble donc élevé pour l'époque de l'année. Mais en réalité, l'averse a présenté deux épïcêtres permettant au petit affluent de NIEBSDODE de donner un premier maximum, l'écoulement provenant du reste du bassin et donnant le second maximum plus important, ne parvient que plus tard. Dans ces conditions, le véritable temps de montée de l'ensemble du bassin n'est que de 2 h.30. Q'_M rapporté à la seconde pointe de l'hydrogramme est de 5,8.

De même, le temps de montée excessivement long (6 h.30) de la crue du 3 Août est dû au ruissellement composé de deux grains survenant à deux heures d'intervalle.

C'est en définitive l'averse du 18 Août qui va installer des conditions telles que le ruissellement de tout le bassin pourra être enregistré à la station de KOGHNERE.

Les crues suivantes présentent un temps de montée de 5 à 6 h (excepté la crue n° 14), un temps de ruissellement de 22 à 35 h (crues $> 2 \text{ m}^3/\text{s}$) et le Q'_M est de l'ordre de 3,5 à 4.

Ainsi, les caractéristiques de l'hydrogramme varient assez largement suivant les conditions de saturation du bassin.

On peut retenir deux séries de valeurs :

- 1 - en début de saison des pluies ou pour une année moyennement pluvieuse avec des averses assez espacées, l'écoulement provient d'une partie du bassin :

$$\begin{aligned}t_m &= 3 \text{ h} \\t_r &= 18 \text{ h} \\Q'_M &= 6\end{aligned}$$

- 2 - lors d'une année très pluvieuse ou lorsque les averses de milieu de saison des pluies sont groupées dans une période assez courte, l'écoulement provient de la totalité du bassin.

$$\begin{aligned}t_m &= 5 \text{ à } 6 \text{ h} \\t_r &= 24 \text{ à } 30 \text{ h} \\Q'_M &= 3,5 \text{ à } 4\end{aligned}$$

5.5 - Etude du coefficient d'écoulement

On ne trouve pas une bonne corrélation entre hauteur de pluie moyenne et coefficient d'écoulement. Ceci se comprend d'autant mieux dans le cas présent qu'une partie appréciable de l'eau ruisselée n'atteint pour ainsi dire jamais l'exutoire.

Une forte averse donne un coefficient d'écoulement bien différent suivant le moment de l'année où elle se produit (c'est-à-dire suivant l'état de saturation du bassin):

- en Mai ou Juin, elle remplit simplement les dépressions qui s'échelonnent dans le lit mineur et l'écoulement est insignifiant ;
- fin Juin, début Juillet, le coefficient d'écoulement est de quelques pour cent ;
- fin Juillet, Août et Septembre, le coefficient d'écoulement peut atteindre et dépasser, même largement, 10 % si la saturation est bonne.

Ainsi, l'averse n° 3 du 17/7/1960, de 41,9 mm de moyenne survenant après une pluie de 27 mm tombée le matin même, donne un coefficient d'écoulement de 25,2 %, alors que l'averse n° 5 du 1/8/1960 arrivant après 3 jours sans pluie donne une valeur de 13,8 % seulement, bien que sa pluie moyenne soit supérieure : 47,8 mm.

De même, en 1962, les averses n° 1, 2, 3, 4, toutes supérieures à 45 mm, donnent K_e inférieur à 10 % alors que fin Août des averses deux fois moins fortes (averse n° 7 par exemple) produisent des K_e 2 fois plus élevés.

On observe d'ailleurs, au cours de cette dernière campagne, des valeurs de K_e remarquablement élevées (4 crues supérieures à 30 %) correspondant à une saturation très favorable et à une mise en eau permanente du réseau hydrographique.

Le nombre de crues observées en 1962 est suffisant pour que l'on puisse chercher à faire une corrélation entre la hauteur de pluie moyenne, le coefficient d'écoulement et un paramètre représentant la saturation du sol.

L'état de saturation du bassin à un moment donné dépend en grande partie des pluies tombées précédemment ; ces pluies ont d'autant plus d'influence sur la saturation qu'elles sont moins éloignées dans le temps du moment considéré. On a donc choisi pour représenter cet état de saturation un indice d'humidité de la forme

$$I_H = \sum \frac{P_i}{t_i}$$

P_i est la hauteur d'une précipitation antérieure ayant précédé le moment en question, ou l'averse, d'un intervalle de temps égal à t_i jours.

La correction apportée par l'indice d'humidité au coefficient d'écoulement en fonction de la pluie moyenne a été faite par la méthode des résidus que l'on applique de la façon suivante :

On trace sur un premier graphique, au milieu d'un nuage de points très dispersés, la courbe approchée de K_e en fonction de P_{moy} .

L'écart de chaque point à la courbe est reporté avec son signe sur un second graphique en fonction de I_H .

Le report de tous les écarts permet de tracer une courbe qui est la courbe de correction moyenne à apporter à K_e en fonction de I_H .

On note bien que la correction ΔK_e en ‰ à apporter au point initial est négative pour les faibles saturations et positives pour les fortes saturations.

On a poussé jusqu'à la seconde approximation, et l'on obtient finalement une courbe $K_e - P_{\text{moy}}$ en fonction d'un même indice I_H passant à travers des points très regroupés.

Afin d'avoir un échantillon de crues plus important, nous nous sommes servis des crues des 3 campagnes, les résultats sont satisfaisants d'une année à l'autre.

La courbe $K_e - P_{\text{moy}}$ pour un même indice $I_H = 35$, c'est-à-dire une saturation moyenne, est assez aplatie sur l'axe de P_m (graphiques 8 et 9). Elle donne les valeurs suivantes :

B.V. NIEBSDODE à KOGHNERE

Correlation $K_E - P_{moy}$

Seconde correction

K_E %

40

30

20

10

0

+ Valeurs observées (1960.1961.1962)

o Valeurs ramenées au même indice d'humidité $I_H = 35$

Gr. 8

Pluie moyenne en mm

10

20

30

40

50

60

CRS
TGM

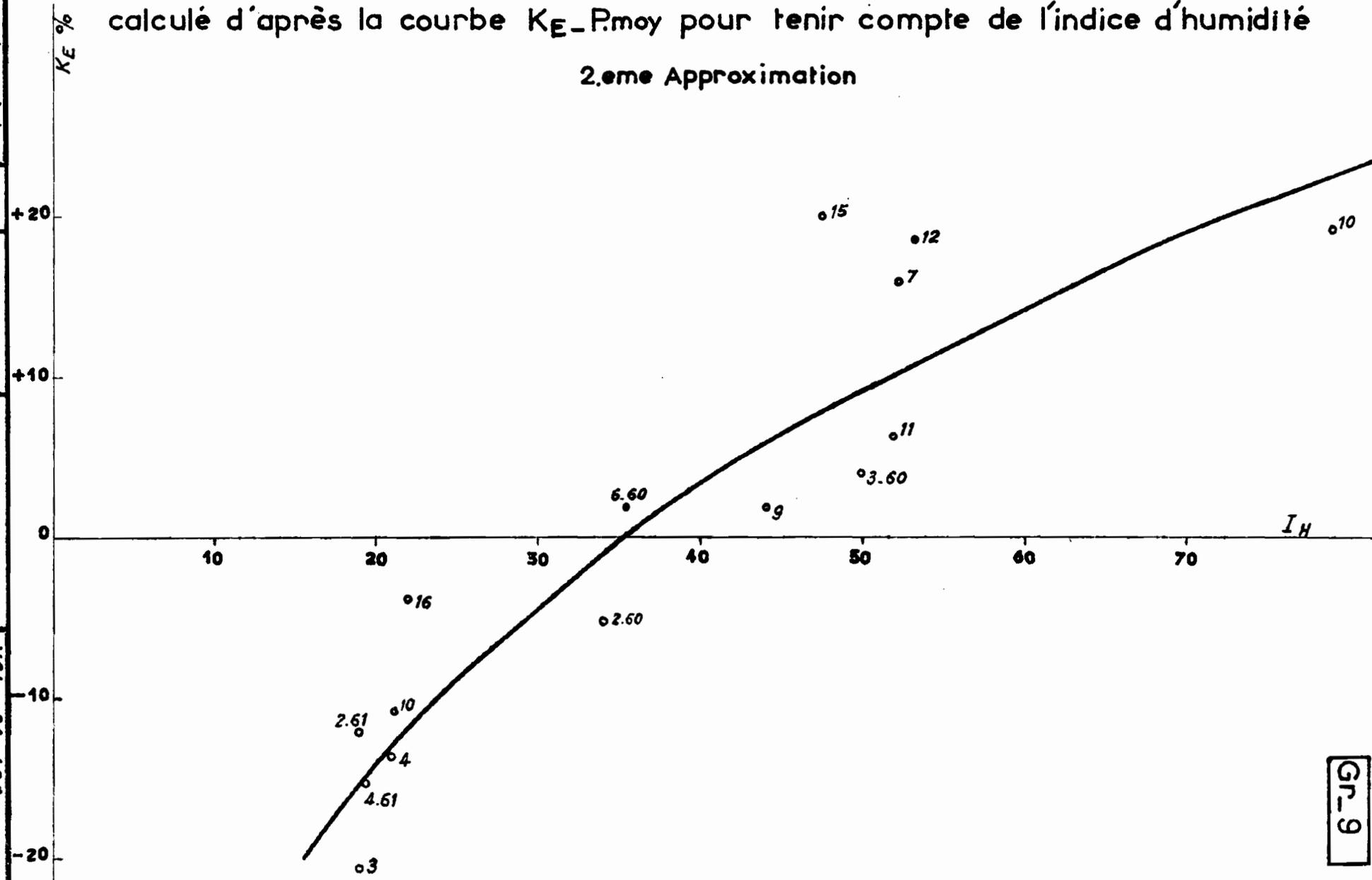
Ao

DATE:

DESSINÉ:

VOL. 61. 185

Courbe des corrections moyennes à apporter au coefficient d'écoulement,
calculé d'après la courbe K_E-P_{moy} pour tenir compte de l'indice d'humidité
2.eme Approximation



CRISTOY
 A₀
 DATE :
 DESSINE :
 VOL. 61.186

Gr_9

pour P_{moy}	=	20 mm	K_e	=	10 %
		30 mm		=	18 %
		40 mm		=	23 %
		50 mm		=	25 %
		60 mm		=	26 %
		100 mm		=	29 %

Cette courbe est assez bien connue vers les fortes valeurs de P_N grâce à la grande crue n° 5 de 1962 pour laquelle l'indice d'humidité 30 est très voisin de celui qui a été choisi pour tracer la courbe. Elle correspond à un bassin ruisselant modérément.

5.6 - Estimation des crues exceptionnelles

La grande variabilité du coefficient d'écoulement avec l'état de saturation du sol montre que la crue d'une fréquence donnée n'est pas forcément causée par l'averse de même fréquence.

Ainsi, dans le cas de la crue annuelle, une averse de 40 mm (inférieure à l'averse annuelle, mais de probabilité deux fois plus forte), si elle rencontre de bonnes conditions de saturation, donne un coefficient d'écoulement nettement supérieur et un débit de pointe plus élevé que l'averse de fréquence annuelle dont la hauteur de pluie moyenne est de 48 mm.

Nous envisagerons, pour chaque averse de fréquence donnée, deux éventualités d'apparition :

1 - en début de saison des pluies :

Les conditions de saturation sont médiocres, l'indice d'humidité $I_H = 20$, le coefficient d'écoulement est faible. Le débit de pointe résultant peut être dépassé en cours d'année par celui provoqué par une averse moins forte mais survenant à un moment plus favorable.

Une partie du bassin seulement participe à l'écoulement.

$$Q_M = 6 \text{ ou même plus}$$

2 - en fin de saison des pluies :

Les conditions de saturation sont améliorées, l'indice d'humidité $I_H = 35$, (on prend une valeur moyenne afin que la crue ne soit pas de fréquence trop faible), le coefficient d'écoulement est plus élevé. Le débit de pointe résultant représente raisonnablement la fréquence recherchée.

Une plus grande partie du bassin, sinon le bassin tout entier, participe à l'écoulement :

$$Q'_{II} = 4$$

5.6.1 - Crue annuelle :

La pluie de fréquence annuelle est de 60 mm, son coefficient d'abattement est de 80 % soit une hauteur de pluie moyenne de 48 mm.

a) début de saison des pluies

$$\begin{aligned} \text{pour } I_H &= 20 \\ K_c &= 10 \% \\ Q'_{II} &= 6 \\ V_e &= 21,5 \times 48 \times 10 \times 10^3 = 103\,200 \text{ m}^3 \\ Q_H &= 6 \times \frac{103\,200}{100\,000} \\ Q_{II} &= \underline{6,2 \text{ m}^3/\text{s}} \end{aligned}$$

b) fin de saison des pluies

$$\begin{aligned} \text{pour } I_H &= 35 \\ K_c &= 25 \% \\ Q'_{II} &= 4 \\ V_e &= 21,5 \times 48 \times 25 \times 10^3 = 258\,000 \text{ m}^3 \\ Q_H &= 4 \times \frac{258\,000}{100\,000} \\ Q_{II} &= \underline{10,3 \text{ m}^3/\text{s}} \end{aligned}$$

On retiendra pour la crue annuelle $10,5 \text{ m}^3/\text{s}$, soit 500 l/s.km^2 .

5.6.2 - Crue décennale

La pluie de fréquence décennale est de 110 mm, son coefficient d'abattement est de 85 %, soit une hauteur moyenne de 93,5 mm.

a) Début de saison des pluies

$$\text{pour } I_H = 20$$

$$K_e = 14 \%$$

$$C_H = 6$$

$$V_e = 21,5 \times 93,5 \times 14 \times 10^3 = 281\,435 \text{ m}^3$$

$$Q_H = 6 \times \frac{281\,435}{100\,000}$$

$$Q_H = \underline{16,9 \text{ m}^3/\text{s}}$$

b) Fin de saison des pluies

$$\text{pour } I_H = 35$$

$$K_e = 28 \%$$

$$C_H = 4$$

$$V_e = 21,5 \times 93,5 \times 28 \times 10^3 = 562\,870 \text{ m}^3$$

$$Q_H = 4 \times \frac{562\,870}{100\,000}$$

$$Q_H = \underline{22,5 \text{ m}^3/\text{s}}$$

On retiendra, pour la crue décennale, 22,5 m³/s, soit 1050 l/s.km².

Cette valeur est sensiblement inférieure à celle avancée dans le précédent rapport.

5.7 - Bilan hydrologique :

Les apports, au cours de l'année 1962, ont été particulièrement abondants puisque le volume écoulé total est de 2 700 000 m³ contre 365 000 m³ l'année précédente. La seule averse du 18 Août donne un volume écoulé de 716 000 m³, soit 2 fois celui de 1961 et un peu plus que celui de 1960.

La comparaison des trois bilans hydrologiques du NIEBSDODE s'établit comme suit :

	1960	1961	1962
-Volume total des apports annuels	625 000 m ³	365 000 m ³	2 700 000 m ³
-Lame d'eau écoulée	29 mm	17 mm	126 mm
-Pluviométrie moyenne annuelle sur le B.V.	725 mm	685 mm	1140 mm
-Coefficient d'écoulement annuel	4 %	2,5 %	11,0 %
-Déficit d'écoulement annuel	696 mm	668 mm	1014 mm

Ainsi, le volume des apports annuels dépend de la pluviométrie de l'année, mais la répartition des pluies au cours de l'hivernage joue un rôle important : une année à pluviométrie déficitaire pourra, si les pluies sont bien groupées, donner un volume écoulé supérieur à celui d'une année assez pluvieuse mais à pluies trop espacées.

L'année 1961, bien qu'ayant une pluviométrie moyenne presque égale à celle de 1960, a des apports annuels réduits de 40 % pour cette raison.

L'année 1962 a connu des conditions pluviométriques propices à l'écoulement : pluies fortes, bien réparties, mois systématiquement excédentaires, si bien que pour une pluviométrie moyenne supérieure de 45 % à la moyenne, le volume des apports annuels est 4 fois plus grand que celui de 1960.

Le coefficient d'écoulement annuel passe de 2,5 % en 1961 à 11 % en 1962.

On peut concevoir que, certaines années particulièrement défavorisées, il ne se produira aucun écoulement généralisé à la station de mesure. Le ruissellement plus ou moins partiel causé par quelques fortes averses remplira ou alimentera des mares qui ne communiqueront jamais entre elles.

L'infiltration est certainement très faible puisque les rares puits de BOULSA ou de NERGA s'assèchent très rapidement. L'évapotranspiration directe ou différée est donc considérable, elle est facilitée par l'important stockage des eaux de pluie sur le bassin au cours de l'hivernage résultant d'une pente trop faible.

Aussi, le volume écoulé en année moyenne est difficilement estimable. On peut cependant retenir la valeur de l'année 1960 : 625 000 m³.

D'autre part, le volume écoulé en année décennale humide doit être un peu inférieur à celui de 1962. On peut admettre 2 500 000 m³.

VI



Analyse des Crues de la POGORAYA à KOGHO

VI - ANALYSE des CRUES de la POGOROYA à KOGHO (82 km²)

6.1 - Mesure des débits :

A la station de jaugeage, l'écoulement ne commence que pour les hauteurs d'eau supérieures à 1,50 m. Au-dessous de cette cote, l'eau est stagnante, un seuil situé en aval étant alors dénoyé.

En 1962, deux nouveaux jaugeages ont été effectués et confirment la stabilité de la courbe d'étalonnage établie lors des campagnes précédentes :

Date	Hauteur en cm	Débit en m ³ /s
29 Août 1962	180 - 177	6,10
29 Août 1962	170 - 166	2,39

L'extrapolation de l'étalonnage établie à partir de la courbe des vitesses moyennes et de la section moyenne correspond à la même courbe que pour les deux premières années mais a été prolongée jusqu'à la cote 299, hauteur atteinte par la crue du 18 Août. Le débit maximal correspondant a été ainsi estimé à 108 m³/s, il est déterminé avec une précision modérée.

6.2 - Débits moyens journaliers et mensuels

On trouvera ci-après le tableau des débits moyens journaliers avec, pour chaque mois 2 colonnes, la première correspond au débit moyen et la seconde au débit maximal de crue.

A la dernière ligne, se trouvent la moyenne mensuelle et le module 1962 qui ressort à 0,251 m³/s.

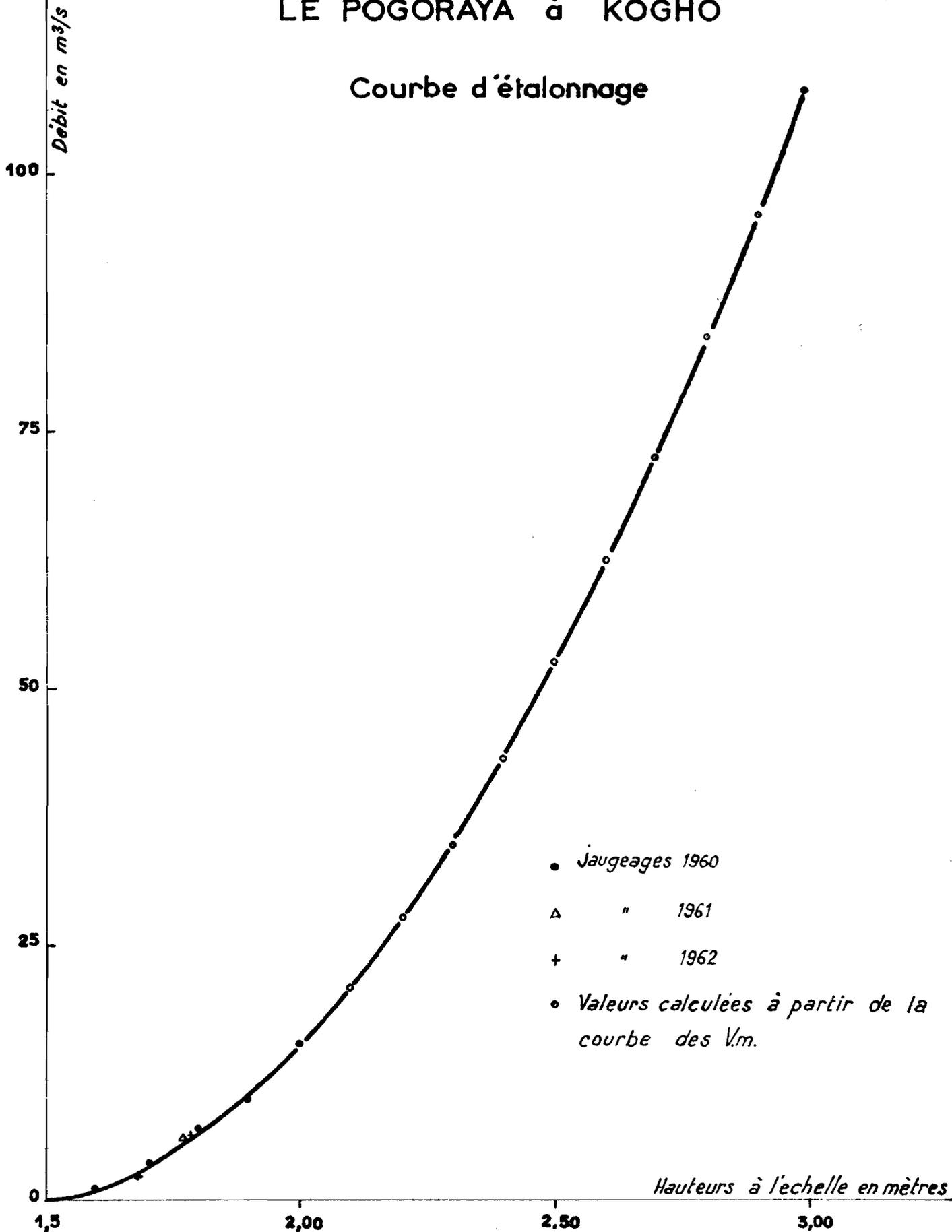
Débits moyens journaliers en m³/s
de la POGORAYA à KOGHO
en 1962

: Jours :	: Juin :		: Juillet :		: Août :		: Septembre :	
	: Q _{moy} :	: Q _{max} :	: Q _{moy} :	: Q _{max} :	: Q _{moy} :	: Q _{max} :	: Q _{moy} :	: Q _{max} :
: 1 :					: 0,001 :		: 0,812 :	
: 2 :					: 0,071 :		: 1,80 :	: 4,30 :
: 3 :					: 1,95 :	: 4,60 :	: 5,40 :	: 11,50 :
: 4 :					: 0,035 :		: 4,50 :	: 7,30 :
: 5 :	: 0,546 :	: 4,43 :					: 0,917 :	
: 6 :							: 0,002 :	
: 7 :								
: 8 :								
: 9 :								
: 10 :			: 0,308 :	: 1,50 :				
: 11 :								
: 12 :								
: 13 :	: 1,58 :	: 9,20 :						
: 14 :								
: 15 :			: 2,77 :	: 7,30 :				
: 16 :			: 0,109 :				: 0,133 :	
: 17 :							: 2,66 :	: 6,00 :
: 18 :					: 42,6 :	: 108 :	: 0,308 :	
: 19 :	: 1,52 :	: 9,50 :			: 2,75 :			
: 20 :	: 0,073 :				: 3,01 :	: 5,70 :		
: 21 :					: 0,577 :		: 1,84 :	: 4,70 :
: 22 :			: 0,079 :	: 0,400 :			: 0,183 :	
: 23 :								
: 24 :					: 0,254 :			
: 25 :					: 1,73 :	: 5,40 :		
: 26 :					: 0,029 :			
: 27 :					: 0,479 :	: 1,12 :	: 0,791 :	: 2,50 :
: 28 :					: 4,41 :	: 9,80 :	: 0,502 :	
: 29 :					: 4,83 :	: 9,20 :	: 0,947 :	: 2,75 :
: 30 :					: 0,584 :		: 0,010 :	
: 31 :					: 0,557 :			
: Débit :								
: moy. mens. :	: 0,124 :		: 0,105 :		: 2,06 :		: 0,694 :	

Débit moyen annuel : 0,251 m³/s

LE POGORAYA à KOGHO

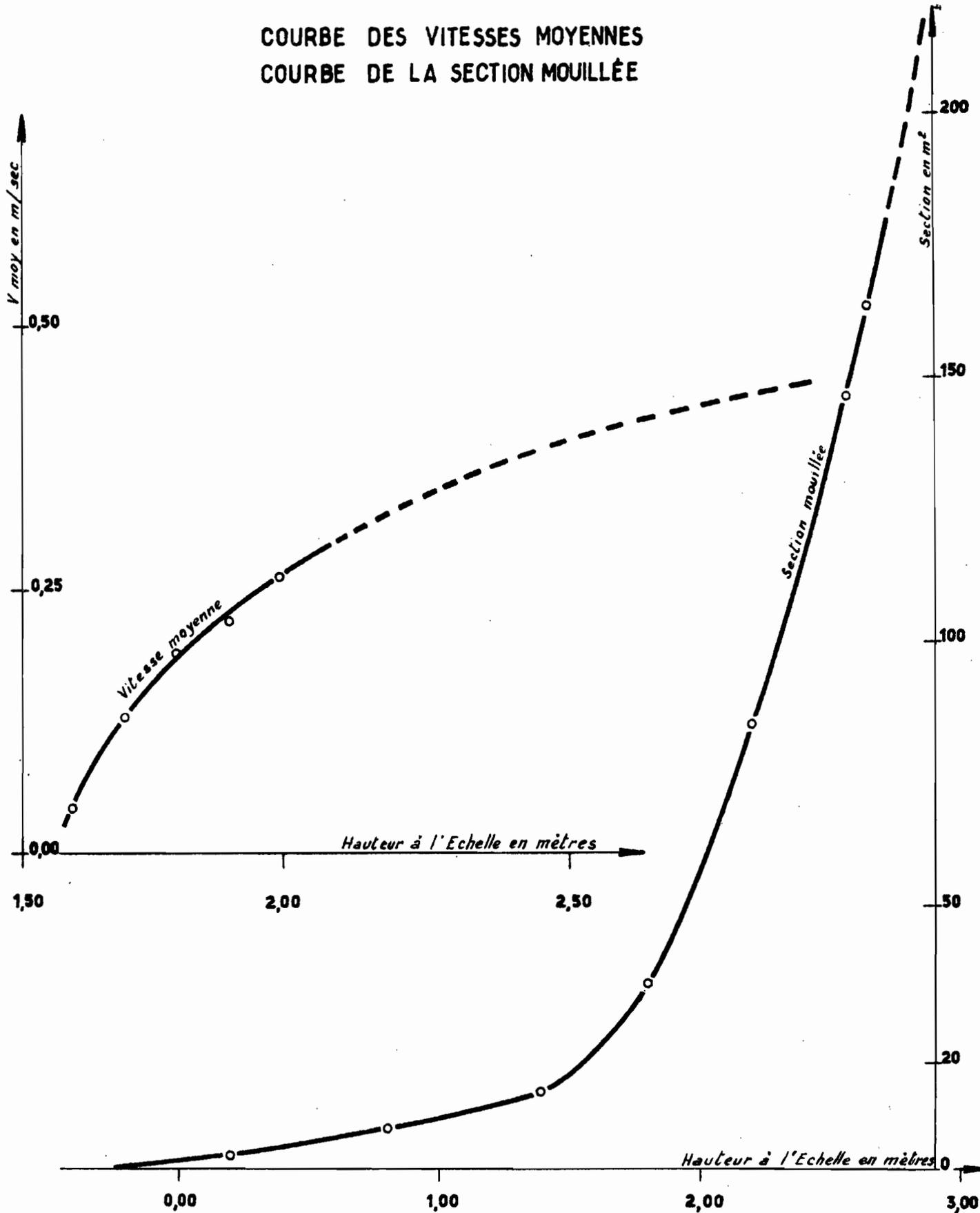
Courbe d'étalonnage



Le POGORAYA à KOGHO (Station n°2)

Gr-7

COURBE DES VITESSES MOYENNES
 COURBE DE LA SECTION MOUILLÉE



6.3 - Averses et crues observées

Les relevés du pluviomètre P9, qui occupe une position assez centrale dans le bassin de la POGORAYA, sont représentatifs des précipitations affectant ce bassin. Les précipitations observées à cet appareil ont été classées et figurent dans le tableau ci-dessous :

Pluies	Mai du 24 au 31	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Total du 24/5 au 8/10
0 - 10 mm		5	3	6	5	1	20
10 - 20 "	1	1	3	6	2	(1)	14
20 - 30 "			1	2	4		7
30 - 40 "		2	2		1		5
40 - 50 "				1			1
50 - 60 "		1	1				2
> 60 "				1 (164mm)			1
	1	9	10	16	12	2	50

La répartition des pluies est très voisine de celle du pluviographe P₁ puisque l'on note 9 pluies supérieures à 30 mm à P₉ contre 10 à P₁.

On n'observe d'autre part que 4 averses en moins à ce poste (50 contre 54) dont 2 inférieures à 10 mm, ce qui montre que moins de 10 % des précipitations n'affectent que l'un des deux appareils distants de 6 km entre eux.

La comparaison des averses tombées de Juillet à Septembre en P₉ au cours des trois campagnes montre que l'année 1961 a été très défavorisée alors que les années 1960 et 1962 ont à peu près la même distribution. Mais cette distribution a peu près identique n'entraîne pas les mêmes hydrogrammes annuels :

- en 1960, les fortes pluies s'observent principalement au mois de Juillet, si bien que toutes les crues notables se groupent dans cette période. La fin de la saison des pluies est moins favorisée, la saturation est toujours médiocre et le volume écoulé annuel est constitué presque entièrement par les crues 1 à 5;
- en 1962, la répartition des pluies ne permet pas, par son étallement, la formation de fortes crues (la crue du 18 Août naturellement mise à part), un seul débit de pointe est supérieure à 14 m³/s contre 4 en 1960. Mais la mise en eau quasi permanente du réseau hydrographique favorise le déclenchement de nombreuses crues d'importance moyenne (5 crues voisines de 10 m³/s) d'où un volume écoulé annuel triple de celui de 1960.

Répartition des averses du 3ème trimestre au pluviographe P₉ :

Pluies	1960	1961	1962
0 - 10 mm	13	25	14
10 - 20 mm	8	10	11
20 - 30 mm	7	2	7
30 - 40 mm	3	0	3
40 - 50 mm	3	0	1
50 - 60 mm	1	1	1
> 60 mm	1	1	1
Total	36	39	38

En 1962, les mêmes averses ont donné lieu à un écoulement sur les bassins du NIEBSDODE et du POGORAYA, sauf l'averse du 5 Juin affectant principalement l'Ouest du bassin n° 2.

Voici la description des principales averses et de leurs crues correspondantes :

Averse du 5 Juin :

L'épicentre de l'averse est sur l'Ouest du bassin : 64,4 mm à P₁₁. La pluie moyenne est de 38,5 mm contre 19,4 mm sur le NIEBSDODE, la répartition est donc hétérogène. L'averse est longue avec plusieurs pointes d'intensité moyenne. La crue se produit brutalement mais passe rapidement ($t_r = 8$ h), c'est le premier écoulement de l'année à la station de mesure.

Averse du 13 Juin :

Le maximum ponctuel est de 57,0 mm à P₂ et P₈, la pluie moyenne est de 40,5 mm. La tornade vient du Nord-Ouest, fortes intensités initiales (126 mm en 5 minutes à P₇), le corps de l'averse fait 85 % de l'ensemble. La saturation est médiocre ($I_H = 15$), le coefficient d'écoulement est de 4,1 % et le débit de pointe de 9,2 m³/s.

Averse du 19 Juin :

Le maximum ponctuel est de 54,1 mm à P₁, la pluie moyenne est de 40,5 mm. La tornade a une répartition assez homogène et la crue a des caractéristiques semblables à celle du 13, temps de montée court : 3 h .30, temps de ruissellement de 12 h, $Q'_{M} = 6,9$, donc très élevé, le débit de pointe est de 9,5 m³/s. Le coefficient d'écoulement est de 4,2 % pour $I_H = 21$.

Ainsi, le mois de Juin présente 3 crues supérieures à 4 m³/s.

La première quinzaine de Juillet est peu favorisée et les conditions de saturation restent médiocres.

Averse du 15 Juillet :

Le maximum ponctuel est de 75,0 mm, la pluie moyenne est de 45,0 mm.

La pluie est assez hétérogène sur le bassin de POGORAYA. Les temps de montée et de ruissellement sont plus longs avec, respectivement, 7 h et 26 h, Q'_{M} s'abaisse et passe de 6,9 à 2,9, bien que $I_H = 24$, le coefficient d'écoulement est déjà plus élevé : 6,7 % ; le débit de pointe est de 7,3 m³/s.

Averse du 3 Août :

Le maximum ponctuel est de 54,9 mm, la pluie moyenne de 40,8 mm. L'averse est assez homogène mais formée de plusieurs grains séparés par de longues accalmies, d'où un temps de montée de 12 h.50, un temps de ruissellement de 29 heures. Le débit de pointe est faible = 4,6 m³/s. Le coefficient d'écoulement est de 5,3 % avec I_H = 21. Notons qu'à la station du NIEBSDODE, le débit maximal était de 3,7 m³/s.

Averse du 18 Août :

Cette averse, la plus importante de l'année, a donné entre minuit et onze heures du matin 204 mm au pluviographe P₇ et 193,5 mm au pluviographe P₁₂ (rappelons que P₁ reçoit 159 mm pendant le même temps). La répartition est très homogène et la pluie moyenne est estimée sans grande erreur à 180 mm pour l'ensemble du bassin.

Le diagramme des intensités est sensiblement le même aux trois appareils enregistreurs .

La phase paroxysmale dure de minuit à 4 heures du matin avec de nombreuses pointes d'intensités comprises entre 50 et 100 mm. Cette période donne 80 à 85 % de la pluie. La traîne dure jusqu'à onze heures environ avec une intensité de 5 mm/h.

La crue commence très rapidement à 0 h.30 et atteint son maximum à 5 h.30, soit un temps de montée de 5 heures, avec un débit de pointe estimé à 108 m³/s.

L'écoulement dure 25 heures. Les conditions de saturation ont été améliorées par la pluie de la veille, mais I_H n'est que de 29. Le coefficient d'écoulement est cependant de 26,4 % (rappelons que le plus fort coefficient d'écoulement de 1960 n'était que de 16,6 % le 1/8).

Le volume écoulé correspondant à cette seule averse est de 3 890.10³ m³, à titre de comparaison indiquons que le volume écoulé de 1960 était de 2 215.10³ m³ et celui de 1961 de 501.10³ m³ seulement.

Après cette crue, la saturation reste élevée jusqu'à la mi-Septembre ; chaque averse de 20 mm et plus donne lieu à une crue et le ruissellement de tout le bassin arrive jusqu'à l'exutoire.

On observe fin Août - début Septembre d'autres crues intéressantes.

Averse du 28 Août :

Le maximum ponctuel est de 53,3 mm à P₄, la pluie moyenne est de 34,6 mm.

La saturation est bonne ($I_H = 47$) d'où un coefficient d'écoulement de 17 %.

Le débit de pointe est de 9,8 m³/s, il est atteint après une montée de 13 h.30. L'écoulement dure 45 heures.

Averse du 29 Août :

Le maximum ponctuel est de 33,6 mm à P₃, la pluie moyenne est de 19,5 mm. Cette averse assez faible survient alors que l'écoulement de la veille se poursuit, l'indice d'humidité est très élevé avec 73, d'où un coefficient d'écoulement de 21,6 %.

Le débit de pointe est de 9,2 m³/s. A noter un temps de montée assez court : 7 heures.

Averse du 3 Septembre :

Le maximum ponctuel est de 52,1 mm à P₄, la moyenne est de 31,8 mm, pour $I_H = 57$, $K_e = 20$ %.

Le lendemain, le 4 Septembre, on observe le plus fort coefficient d'écoulement de l'année, $K_e = 30,5$ % alors que la pluie moyenne n'est que de 13,7 mm seulement pour un maximum ponctuel de 20 mm. Une telle valeur est assez étonnante, mais notons toutefois que $I_H = 70$, et l'averse qui ne dure qu'un quart d'heure en moyenne présente de très fortes intensités : 132 mm/h en 5 minutes à P₇ et 162 mm/h en 5 minutes à P₁.

Après cette période de pluies groupées en quelques jours, les pluies s'espacent et les conditions de saturation deviennent moins bonnes.

Les 17 et 21 Septembre, 2 autres averses donnent un débit dépassant 4 m³/s.

6.4 - Caractéristiques des crues :

On trouvera rassemblées dans les tableaux ci-après toutes les valeurs caractéristiques des crues de 1962, ainsi que celles des deux années précédentes, à savoir :

- 1 - Numéro de l'averse et de la **crue** correspondante
- 2 - Date
- 3 - Pluie maximale ponctuelle P_M en mm
- 4 - Coefficient d'abattement K en %
- 5 - Pluie moyenne P_{moy} en mm
- 6 - Hauteur de pluie utile P_u en mm
- 7 - Intensité moyenne utile I_u en mm
- 8 - Durée de pluie utile t_u en minutes
- 9 - Intervalle de temps t_i à la pluie précédente
- 10 - Volume d'écoulement V_e en 10^3 m^3
- 11 - Coefficient d'écoulement K_e en %
- 12 - Temps de montée t_m de la crue
- 13 - Temps de réponse t_p de la crue
- 14 - Débit maximal Q_M en m^3/s
- 15 - Débit maximal Q'_M rapporté à un volume d'écoulement de $100\ 000 \text{ m}^3$
- 16 - Indice d'humidité I_H , tel que $I_H = \sum \frac{P_i}{t_i}$

VALEURS CARACTERISTIQUES des CRUES

de la POGORAYA à KOGHO

(82 km²)

N°	Date	P _M	K	P _{moy}	P _u	I _u	T _u	t _a (1)	V _e	K _e	t _m	t _p	Q _M	Q _M '	I _H
		mm	%	mm	mm	mm/h	mm	j	10 ³ m ³	%	heures	heures	m ³ /s	m ³ /s	
Année 1960															
1	6-7	56,4	60	33,6	26,3	44	36	$\bar{4}$	99,5	3,6	3 50	4 15	6,2	6,2	-
2	17-7	52,0	69	36,0	35,2	60	35	1	273	9,2	5 20	5 30	14,3	5,2	27
3	17/18-7	58,0	64	37,0	(33,3)	(22)	(90)	$\bar{1/2}$	403	13,3	3 20	4 45	17,6	4,4	55
4	18/19-7	58,5	64	37,2	19,5	62	19	$\bar{1}$ (2)	467	15,3	5 10	4 45	17,6	3,8	70
5	1-8	81,7	74	60,1	48,5	47	62	2 (2)	819	16,6	5 10	5 15	40,5	4,9	25
7	25-8	60,7	64	38,9	29,7	51	35	3	53,4	1,7	3 30	12 30	2,8	5,3	16
Année 1961															
1	18/19-8	98,0	81	79,5	61,0	49	75	3	501	7,4	5 20	5 45	19	3,8	14

Nota : (1) $\bar{4}$ signifie "pluie supérieure à 20 mm, quatre jours auparavant"

(2) pluie préliminaire 3 heures avant l'averse

(3) averse double

VALEURS CARACTERISTIQUES des CRUES

de la POGORAYA à KOGHO

(82 km²)

Année 1962

N ^o	Date	P _M mm	K %	P _{moy} mm	P _u mm	I _u mm/h	T _u mn	t _a j	V _e 10 ³ m ³	K _e %	t _m heures	t _p heures	Q _M m ³ /s	Q' _M m ³ /s	I _H
1 bis	5-6	64,4	60	38,5	32,3	45	43	7	(47)	(1,5)	(0 45)	4 00	(4,5)	(9,6)	-
1	13-6	57,0	71	40,5	34,5	69	30	2	136,3	4,1	3 30	4 30	9,2	6,7	15
2	19-6	54,5	74	40,5	32,7	72	25	2,5	(138)	4,2	3 30	3 40	9,5	6,9	21
3	15-7	75,0	60	45,0	34,1	41	50	2	248,4	6,7	7 00	6 20	7,3	2,9	24
4	2/3-8	54,9	74	40,8	24,4	66	22	3	177,3	5,3	12 50	13 00	4,6	2,6	21
5	18-8	204,0	88	180	147,5	51	174	1	3890	26,4	5 00	5 00	108	2,8	29
6	20-8	74,6	39	29,1	22,8	44	31	2	260,3	10,9	12 30	12 30	5,7	2,2	106
7	24-8	39,1	50	19,5	12,3	39	19	1	(174)	10,8	15 30	16 00	5,4	3,1	58
9	28-8	53,3	65	34,6	15,7	63	24	2	482,4	17,0	13 30	12 00	9,8	2,0	47
10	29-8	33,6	58	19,5	-	-	-	1	344,9	21,6	7 00	-	9,2	2,7	73
11	2-9	33,8	77	26,1	13,1	60	13	0,5	180,7	8,4	13 00	13 30	4,3	2,4	45
12	3-9	52,1	61	31,8	22,4	44	30	1,5	520,9	20,0	12 00	12 00	11,5	2,2	57
13	4-9	20,0	69	13,7	13,4	89	9	1	343,1	30,5	12 30	12 30	7,3	2,1	70
15	17-9	39,5	70	27,8	17,9	44	25	1	246,6	10,8	13 00	13 30	6,0	2,4	42
16	21-9	55,2	49	27,0	23,3	60	24	4	174,6	7,9	7 20	13 20	4,7	2,7	21

Nota : Les crues ont le même numéro aux bassins versants de KOGHNERE et de KOGHO en 1962
 Les crues n^o 2 bis, 8, 17 et 18 inférieures à 4 m³/s ne sont pas décrites ici
 N^o 4 - Inverse double

La campagne 1962 a permis l'observation d'une vingtaine de crues dont 15 supérieures à $4 \text{ m}^3/\text{s}$; 1960 n'a compté que six crues dépassant cette limite et 1961 une seule.

Comme pour le bassin de NLEBSDODE, ces crues ont été rendues possibles par la pluviosité exceptionnelle de 1962 avec des pluies étalées sur une grande partie de l'hivernage, donnant jusqu'à la mi-Septembre de bonnes conditions de saturation.

La considération des caractéristiques des hydrogrammes de crue montre, comme précédemment, une disparité sensible entre les valeurs des deux premières campagnes et celles de la dernière campagne.

Les 7 crues disponibles en 1960-1961 permettaient de définir un hydrogramme assez vraisemblable ayant les valeurs suivantes :

- temps de montée : 5 h.15
- temps de base compris entre 16 et 20 h
- débit de pointe Q'_M , rapporté à un volume d'écoulement de $100\ 000 \text{ m}^3$, de l'ordre de $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Soulignons qu'il n'est pas possible, pour les raisons déjà indiquées, de définir un véritable hydrogramme unitaire, mais on peut cependant dégager certains ordres de grandeur, les crues présentant malgré tout une certaine affinité entre elles.

On notait cependant déjà des variations notables dans le temps de montée et le débit de pointe Q'_M :

Le temps de montée a tendance à s'allonger au milieu de la saison des pluies, il passe de 3 h.50, crue n° 1/60, à 5 h.10, crue n° 4-5/60 pour revenir à 3 h.30, crue n° 7/60 ; Q'_M passe, pour les mêmes exemples, de 6,2 à 3,8 puis remonte à 5,3.

Certes, ces variations étaient dues surtout à la position de l'épicentre de l'averse, à l'intensité de celle-ci, mais les conditions de saturation semblaient intervenir également de façon sensible.

En 1962, les premières crues de la saison (n° 1 et 2 en particulier) présentent des valeurs assez comparables, $t_m = 3 \text{ h.30}$, $t_r = 12 \text{ h.00}$, $Q'_M = 6,7$ et $6,9$.

Les crues n° 3 et 4 ont des temps de montée très longs, liés aux caractéristiques de l'averse. La crue n° 5, celle du 18 Août, a un temps de montée de 5 heures, un temps de ruissellement de 25 heures assez conformes aux grandeurs précédemment avancées, mais ensuite t_m et t_r ont des valeurs systématiquement plus fortes, en particulier le temps de montée est de l'ordre de 12 h.30 à 13 h.00.

Il semble donc que cette profonde différence soit due, comme pour le NIEBSDODE et de façon encore plus frappante, à la modification des conditions de saturation du bassin.

En temps normal, c'est-à-dire les années à pluviométrie moyenne, sans averses exceptionnelles, seule une partie du bassin semble participer à l'écoulement.

Nous avons vu que la morphologie de ces contrées est très molle.

La végétation herbacée, très dense au milieu de la saison des pluies, et les nombreuses petites dépressions plus ou moins fermées retiennent une partie considérable du ruissellement. Seule, une fraction du bassin présente un réseau hydrographique discernable et peut donc être normalement drainée. Au sens strict du mot, le reste du bassin ruisselle peut-être, mais la partie de ce ruissellement qui réussit à rejoindre le réseau est trop faible pour avoir une influence notable sur la forme de l'hydrogramme.

Ainsi, en année moyenne, le stockage des eaux de pluies est considérable à la surface du bassin et les hydrogrammes observés ne sont pas représentatifs d'une surface de 82 km², mais peut-être de 40 km² seulement.

L'averse exceptionnelle du 18 Août (180 mm de moyenne, répétons-le) a profondément modifié cette situation en saturant le bassin tout entier. A partir de cette date, le ruissellement d'un point éloigné de l'exutoire peut parvenir jusqu'à celui-ci au lieu d'être absorbé par une succession de mares plus ou moins remplies. La forte pluviométrie et la répartition des averses de la fin de l'hivernage permettent le maintien de cet état.

Si bien qu'en définitive, les temps de montée et de ruissellement font plus que doubler. Q_M s'abaisse lui aux environs de 2,5.

On observe des hydrogrammes ayant des caractéristiques assez semblables permettant de définir le véritable hydrogramme moyen du bassin, correspondant à la théorie des hydrogrammes unitaires, tel que :

- temps de montée : 12 h.30
- temps de ruissellement: 40 h
- débit de pointe Q'_M : 2,5

Ces constatations confirment la remarque faite dans les rapports précédents, à savoir que la perte d'écoulement en cours de route entre un point du réseau hydrographique et l'exutoire est énorme en année moyenne.

Ainsi donc, il est possible de définir le véritable hydrogramme du bassin, mais celui-ci ne pourra s'observer qu'aux conditions suivantes : année très pluvieuse et pluie exceptionnelle saturant tout le bassin. Il est donc probable que cet hydrogramme n'est possible qu'une année sur cinq ou peut-être moins encore. Remarquons d'ailleurs que celui-ci n'est pas, par son temps de montée très long et son débit de pointe Q'_M très faible, favorable à un débit maximal de crue élevé, par contre, le volume écoulé est très élevé. Il semble donc qu'en année moyenne, où la totalité du bassin ne ruisselle pratiquement jamais, on puisse retenir les ordres de grandeur avancés lors du rapport 1961.

6.5 - Etude du Coefficient d'écoulement

Les remarques faites au sujet du bassin du NIEBSDODE s'appliquent au bassin du POGORAYA avec autant de rigueur.

Il n'y a aucune relation au sens strict du mot entre le coefficient d'écoulement et la hauteur de pluie moyenne puisque l'écoulement reste étroitement subordonné au remplissage des nœuds du bassin, c'est-à-dire à l'état de saturation du sol.

On observe bien que les averses survenant en début de saison des pluies ne donnent soit aucun écoulement, soit seulement un écoulement faible. Ainsi, pour la crue du 6/7/1960, $K_e = 3,6 \%$ pour $P_{\text{moy}} = 33,6 \text{ mm}$.

Le coefficient d'écoulement augmente ensuite avec l'état de saturation, ceci est très visible en 1960 pour les n° 2, 3, 4 : les averses survenant à de très courts intervalles (moins de 24 heures entre elles) font croître rapidement l'humidité du sol, si bien que, pour des pluies moyennes très proches, 36, 37 et 37,2 mm, les coefficients d'écoulement respectifs sont de 9,2 , 13,3 et 15,3 %.

Par contre, en 1962, les averses n° 1, 2, 3, 4 d'importance sensiblement égale (40 à 45 mm) sont trop espacées entre elles pour donner des coefficients d'écoulement très différents les uns des autres (4,1 à 6,7 %).

Après l'averse du 18 Août 1962, qui donne un coefficient d'écoulement de 26,4 %, l'humidité des terrains reste élevée, si bien que l'on peut noter par exemple, le 29 Août, $K_e = 21,6 \%$ pour $P_{\text{moy}} = 19,5 \text{ mm}$ et, le 4 Septembre, $K_e = 30,5 \%$ pour $P_{\text{moy}} = 13,7 \text{ mm}$. Survenues en Mai ou Juin, ces deux dernières averses n'auraient même pas ruisselé.

Ainsi, on ne peut introduire une relation entre le coefficient d'écoulement et la pluie moyenne que si l'on fait intervenir l'état de saturation préalable.

Comme pour le bassin du NIEBSDODE (cf. 5-4), celui-ci peut être représenté de façon satisfaisante par l'indice d'humidité

$$I_H = \sum \frac{P_i}{t_i}$$

L'influence de ce paramètre a été étudiée également par la méthode des résidus, appliquée comme précédemment.

En poussant jusqu'à la seconde approximation, on obtient en définitive une courbe $K_e - P_{\text{moy}}$ en fonction d'une même valeur de l'indice I_H passant à travers des points très regroupés (graphiques 11 et 12).

La corrélation est encore meilleure que pour le NIEBSDODE.

Cette courbe a été établie en se servant de toutes les crues observées pendant les trois campagnes.

Pour un même indice $I_H = 30$, soit une saturation très moyenne, la courbe $K_e - P_{\text{moy}}$ donne les valeurs suivantes :

pour $P_{\text{moy}} = 20 \text{ mm}$	$K_e = 4 \%$
30 mm	= 8,5 %
40 mm	= 12,5 %
50 mm	= 15,5 %
60 mm	= 18 %
70 mm	= 20 %
80 mm	= 22 %
100 mm	= 24 %

Afin de pouvoir comparer les coefficients d'écoulement des bassins du NIEBSDODE et du POGORAYA, on a ramené cette relation à un indice I_H de 35 donnant une saturation moyenne. Les valeurs respectives sont les suivantes :

Pluie moyenne mm	Coefficient d'écoulement (%)	
	Bassin du NIEBSDODE	Bassin du POGORAYA
20	10	5,5
30	18	10
40	23	14
50	25	17
60	26	20
100	29	25

Ainsi le bassin du POGORAYA a des coefficients d'écoulement plus faibles que le bassin du NIEBSDODE. Les conditions de drainage sont inférieures et les pertes d'écoulement sont souvent observées entre les stations de KOGHNERE et de KOGHO.

Remarque importante :

Les valeurs des coefficients d'écoulement que nous donnons sont des valeurs moyennes rapportées à toute la superficie du bassin. Elles permettent de calculer le volume écoulé d'une crue quelconque, mais il ne faut pas trop s'attacher à leur valeur absolue. En effet, en réalité, seule une fraction plus ou moins grande et difficilement estimable des bassins participe à l'écoulement. Ainsi, en prenant le cas du NIEBSDODE, pour une pluie de 20 mm, seule peut-être la moitié aval du bassin ruisselle vers l'exutoire d'où un coefficient d'écoulement réel de 20 %, mais rapporté à 10,7 km² seulement. Cette façon de procéder ne nuit en rien à l'estimation des crues exceptionnelles.

ORSTOM

A^o

DATE :

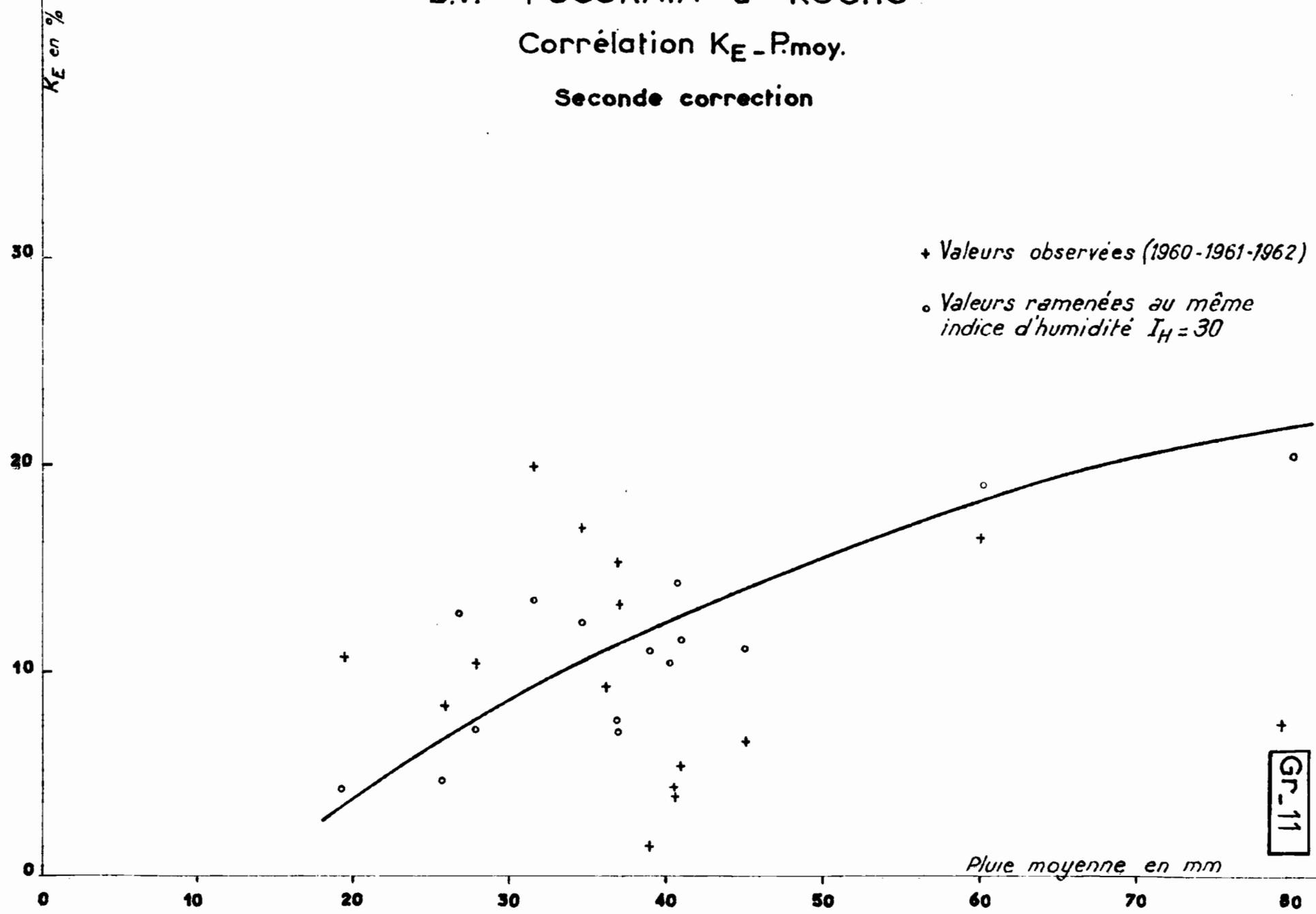
DESSIN :

VOL. 61.188

B.V. POGORAYA à KOGHO

Corrélation K_E - P.moy.

Seconde correction

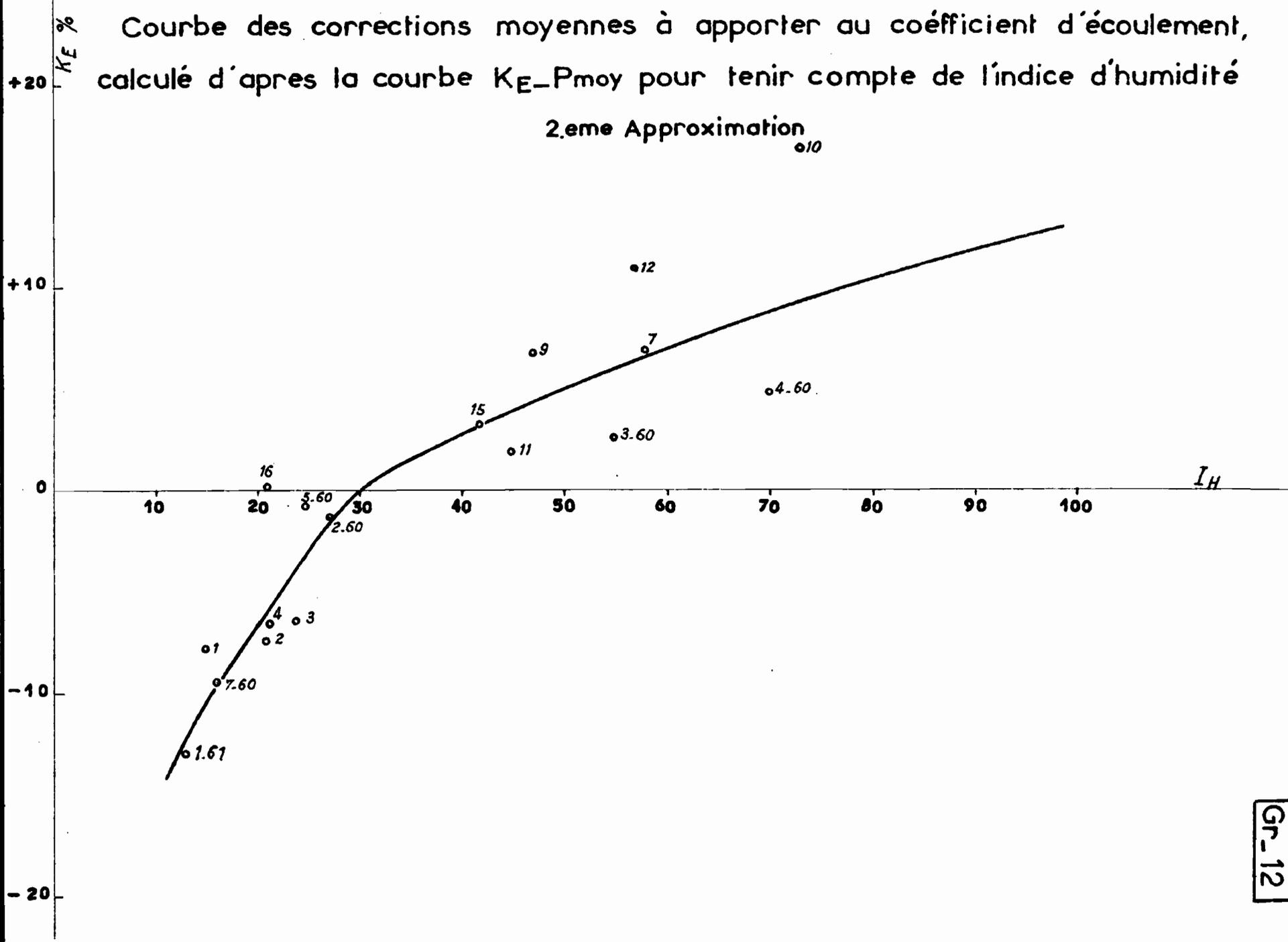


Gr. 11

O R S T O M
 A O
 DATE:
 DESSIN:
 VOL. 61.189

Courbe des corrections moyennes à apporter au coefficient d'écoulement,
 calculé d'après la courbe $K_E - P_{moy}$ pour tenir compte de l'indice d'humidité

2.eme Approximation



Gr. 12

6.6. - Estimation des crues exceptionnelles

L'estimation des crues de différentes fréquences se heurtent aux mêmes difficultés que celles indiquées au paragraphe 5.5.

Nous envisagerons deux éventualités d'apparition pour l'averse de fréquence donnée.

1 - En début de saison des pluies

L'état de saturation est très médiocre, soit $I_H = 20$. Le volume écoulé est faible et provient d'une partie seulement du bassin. Le coefficient d'écoulement est donc très faible. Le débit de pointe Q'_M (ramené à un même volume écoulé de 100 000 m³) est élevé, nous le prendrons égal à 6 m³/s.

2 - En fin de saison des pluies

L'état de saturation s'est amélioré, on prendra une valeur moyenne, soit $I_H = 35$. Volume écoulé et coefficient d'écoulement sont plus élevés.

Le débit de pointe Q'_M est nettement plus faible, on le prendra égal à 4 m³/s. Certes, dans le cas où tout le bassin ruisselle, Q'_M s'abaisse en dessous de 3, mais choisir une telle valeur conduirait sans doute à une sous-estimation du débit maximal.

On considère que la crue de fréquence donnée est causée par l'averse de même fréquence rencontrant des conditions de saturation moyenne. On retiendra donc les valeurs de la seconde hypothèse.

6.6.1 - Crue annuelle

L'averse de fréquence annuelle est de 60 mm, on prendra un coefficient d'abattement de 70 % soit une hauteur de pluie moyenne de 42 mm.

1 - Début de saison des pluies :

$$\begin{aligned} \text{pour } I_H &= 20 \\ K_e &= 7 \% \\ Q'_M &= 6 \\ V_e &= 82 \times 42 \times 7 \times 10^3 = 240\,000 \text{ m}^3 \\ Q_M &= 6 \times \frac{240\,000}{100\,000} \\ Q_M &= 14,5 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

2 - Fin de saison des pluies

$$\begin{aligned} \text{pour } I_H &= 35 \\ K_e &= 14,5 \% \\ Q'_H &= 4 \\ V_e &= 82 \times 42 \times 14,5 \times 10^3 = 500\,000 \text{ m}^3 \\ Q_H &= 4 \times \frac{500\,000}{100\,000} \\ \underline{Q_M} &= \underline{20 \text{ m}^3/\text{s}} \end{aligned}$$

On retiendra pour la crue annuelle 20 m³/s soit 250 l/s.km².

Notons en passant, qu'en 1962, les averses n° 1, 2, 3 et 4 avaient des caractéristiques très voisines de celles de l'averse annuelle, mais I_H était comparable ou inférieur à l'hypothèse n° 1, d'où le 19/6 pour une pluie moyenne de 40,5 mm, un débit de pointe de 9,5 m³/s seulement.

6.6.2 - Crue décennale

La pluie de fréquence décennale est de 110 mm, son coefficient d'abattement est estimé à 80 %, d'où une hauteur moyenne de 88 mm.

1 - Début de saison des pluies

$$\begin{aligned} \text{pour } I_H &= 20 \\ K_e &= 15 \% \\ Q'_M &= 6 \\ V_e &= 82 \times 88 \times 15 \times 10^3 = 1\,100\,000 \text{ m}^3 \\ Q_M &= 6 \times \frac{1\,100\,000}{100\,000} \\ Q_M &= 65 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

2 - Fin de saison des pluies

$$\begin{aligned}
 \text{pour } I_H &= 35 \\
 K_e &= 25 \% \\
 Q'_M &= 4 \\
 V_e &= 82 \times 88 \times 25 \times 10^3 = 1\,800\,000 \text{ m}^3 \\
 Q_M &= 4 \times \frac{1\,800\,000}{100\,000} \\
 \underline{Q_M} &= \underline{72 \text{ m}^3/\text{s}}
 \end{aligned}$$

On remarque que les valeurs du débit de pointe sont très voisines dans les deux hypothèses. L'onde de crue, brutale dans le premier cas est plus lente dans le second. Par contre, les volumes écoulés sont très différents, celui du second cas est bien plus important. On retiendra, pour la crue décennale : 72 m³/s soit 900 l/s.km².

Cette valeur est sensiblement inférieure à la crue du 18 Août 1962 qui a donné 108 m³/s, mais avec une pluie moyenne de 180 mm.

6.7 - Bilan hydrologique :

Les apports annuels en 1962 sont de près de 8 millions de m³ contre 0,5 million en 1961. La seule crue du 18 Août donne un volume écoulé supérieur au total des volumes écoulés de 1960 et 1961 à la station de KOGHO.

La comparaison des trois bilans hydrologiques annuels de la POGORAYA s'établit comme suit :

	1960	1961	1962
Volume total des apports annuels	2 215 000 m ³	501 000 m ³	7 915 000 m ³
Lame d'eau écoulée	27 mm	6,1 mm	97 mm
Pluviométrie moyenne de l'année sur le bassin versant	775 mm	675 mm	1 120 mm
Coefficient d'écoulement annuel	3,5 %	0,9 %	8,7 %
Déficit d'écoulement annuel	748 mm	669 mm	1 023 mm

Ainsi, les apports annuels varient considérablement avec la pluviométrie. Une augmentation de 48 % de celle-ci par rapport à 1960, année sensiblement moyenne, donne une augmentation du volume écoulé de 360 %. On note que le déficit d'écoulement: 1023 mm, est le même que celui que l'on rencontre sur les bassins des grands cours d'eau dont la pluviométrie moyenne est de 1100 mm.

On constate, comme pour le NIEBSDODE, que l'irrégularité inter-annuelle du coefficient d'écoulement annuel est très grande : 0,9 % seulement en 1961 contre 8,7 % en 1962.

La perte des eaux de pluie par infiltration est certainement infime, si bien que le déficit d'écoulement est représenté à peu près intégralement par l'évapotranspiration directe ou différée.

Avec une telle variation d'une année à l'autre, le volume écoulé en année moyenne sur le bassin du POGORAYA est difficilement estimable, d'autant plus qu'à pluviométrie annuelle égale, l'écoulement sera plus important si la répartition des pluies est favorable.

On peut cependant admettre un volume écoulé voisin de celui de 1960 soit 2 000 000 m³.

Il semble, d'autre part, assez vraisemblable que par ses caractéristiques l'année 1962 représente assez bien le volume écoulé en année déconnale humide, soit 8 000 000 de m³.

VII



**Étude de l'Écoulement
du KOULOUOKO à NIEGHA**

VII - ETUDE de l'ÉCOULEMENT du KOULOUOKO à NIEGHA (1 010 km²) -

7.1 - Mesure des débits

La chaussée submersible, sur laquelle étaient effectués les jaugeages, a été légèrement détériorée pendant la saison sèche 1961-1962 et, de plus, la diguette déversante élevée spécialement pour les basses eaux l'année précédente a été supprimée, d'où une modification de la courbe d'étalonnage.

L'écoulement commence non plus à la cote 1,15 m comme en 1961, mais à la cote 0,90 m (l'eau s'écoule à travers les blocs de latérites disjoints de la chaussée).

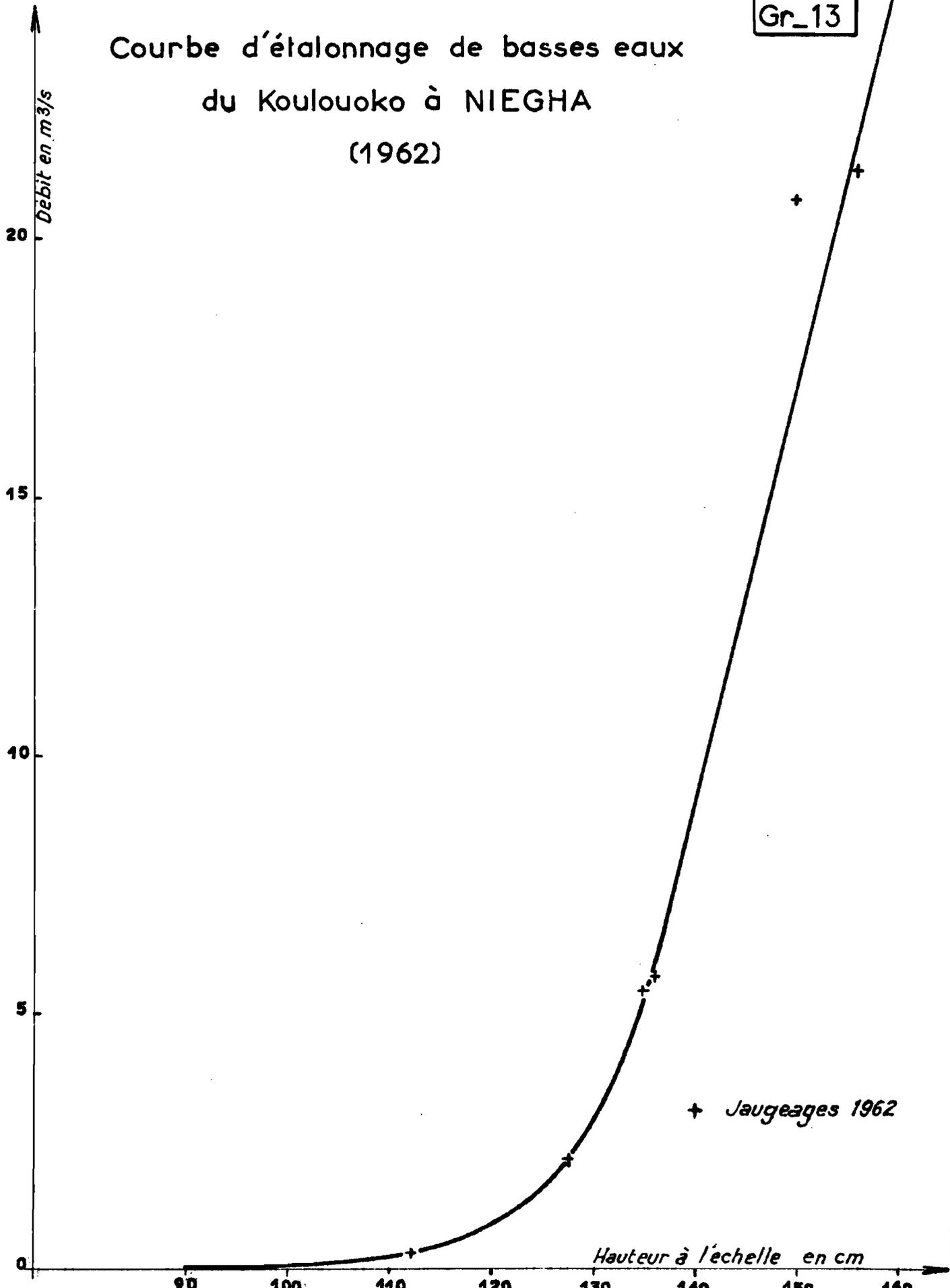
Neuf jaugeages ont été effectués au cours de la campagne 1962, leurs résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Date	Hauteur en cm	Débit en m ³ /s
30 Juin	112	0,32
14 Août	128 - 127,5	2,15
24 Septembre	135,5	6,45
10 Septembre	136,5 - 136	6,70
31 Août	149,5 - 150	20,1
6 Septembre	156 - 155,5	21,3
22 Août	161 - 159	25,0
20 Août	183 - 182	44,9
20 Août	210 - 196,5	88,3

La plus forte crue observée en 1962, le 18 Août, a atteint une hauteur de 2,55 m. Il est difficile de bien estimer le débit correspondant, la courbe d'étalonnage a été extrapolée tant bien que mal jusqu'à cette hauteur en tenant compte des différentes vitesses moyennes et de la superficie de la section mouillée. On obtient un débit de 250 m³/s. Cette valeur n'est qu'un ordre de grandeur, elle doit être entachée d'une erreur de l'ordre de 20 %.

Gr_13

Courbe d'étalonnage de basses eaux du Koulouoko à NIEGHA (1962)



+ Jaugeages 1962

Hauteur à l'échelle en cm

7.2 - Apports annuels

7.2.1 - Débits journaliers

On a observé à la station de NIEGHA un écoulement ininterrompu du 30 Mai à la fin Octobre. Le 20 Octobre, le débit était encore de 60 litres/seconde.

L'hydrogramme annuel a une forme très irrégulière, en dents de scie. Après chaque crue, le tarissement est rapide, d'autant plus que les mares du lit et les plaines d'inondation tronquent l'écoulement. Cependant, en 1962, l'écoulement s'est étalé sur six mois, il est bien plus important que les 2 années précédentes. Entre le 31 Juillet et le 5 Octobre, le débit ne descend jamais en dessous de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ et l'on note même pendant 22 jours consécutifs un débit supérieur à $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le tableau des débits journaliers de 1962 se trouve à la page 49.

7.2.2 - Débits moyens mensuels

Ils sont les suivants :

Mai	:	(0,03) m^3/s
Juin	:	1,96 m^3/s
Juillet	:	6,17 m^3/s
Août	:	20,5 m^3/s
Septembre	:	10,9 m^3/s
Octobre	:	(0,60) m^3/s

Notons la valeur particulièrement importante du débit du mois d'Août.

7.2.3 - Débit moyen annuel

Le tableau ci-après donne la valeur des modules des trois années d'observations.

DEBITS MOYENS JOURNALIERS en m³/s
du KOULOUOKO à NIEGHA
 en 1962

Jours	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
1		0,90	1,41	2,81	25,6	4,5
2		0,83	10,8	4,4	26,8	3,0
3		0,64	15,8	6,1	36,6	2,58
4		0,48	9,4	3,3	31,6	2,27
5		0,75	5,6	2,58	22,8	1,74
6		1,00	3,6	2,37	20,8	0,87
7		0,83	4,2	1,64	17,0	0,61
8		0,77	5,1	1,40	12,0	0,44
9		0,80	3,8	12,9	9,7	0,44
10		0,83	4,2	17,7	6,9	0,38
11		0,83	3,60	10,2	5,4	0,35
12		0,83	2,64	4,2	3,9	0,28
13		1,21	2,63	2,79	2,79	0,25
14		5,29	7,7	2,58	2,69	0,22
15		3,41	22,6	2,37	1,74	0,19
16		2,05	22,9	2,16	1,32	0,16
17		1,85	16,1	1,95	2,22	0,14
18		2,05	11,4	11,7	8,6	0,11
19		2,53	9,8	196	17,1	0,09
20		6,91	6,9	67,8	15,3	0,06
21		5,67	4,5	38,3	12,2	(0,04)
22		3,60	3,6	25,8	9,8	(0,02)
23		2,79	3,0	17,7	8,4	(0,01)
24		2,58	3,6	15,9	6,6	(0,05)
25	0,05	2,68	2,16	35,2	4,2	0
26	0,04	2,79	0,83	39,2	2,90	
27	0,02	2,05	0,51	28,3	3,6	
28	0	0,90	0,78	24,2	4,2	
29	0	0,58	0,67	18,4	4,2	
30	0,07	0,38	0,38	18,5	4,8	
31	0,66		1,15	16,9		
Débit moyen mensuel	(0,03)	1,96	6,17	20,5	10,9	(0,60)

Débit moyen annuel : 3,38 m³/s

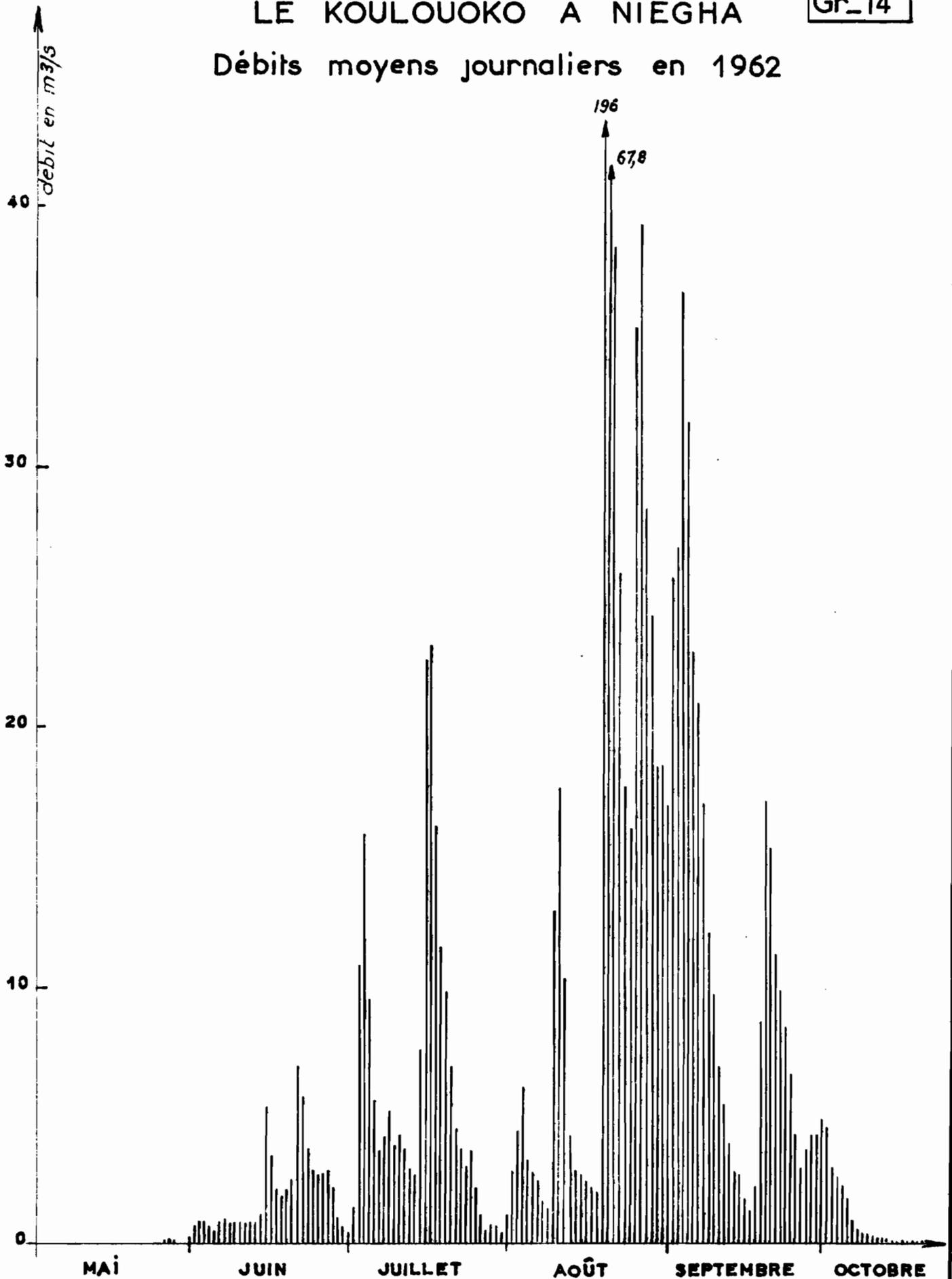
	1960	1961	1962
Module annuel	0,50 m ³ /s	0,95 m ³ /s	3,38 m ³ /s
Module spécifique	0,50 l/s.km ²	0,94 l/s.km ²	3,35 l/s.km ²

L'irrégularité interannuelle du module est très forte puisque celui-ci varie dans les proportions de 1 en 1960 à 7 en 1962.

Compte tenu des pluviométries de ces trois années, il semble que le module moyen interannuel soit légèrement inférieur à 1 m³/s.

LE KOULOUOKO A NIEGHA

Débits moyens journaliers en 1962



7.2.4 - Bilan hydrologique des trois campagnes

Période	Pluie moyenne mm	Volumes écoulés 10 ³ m ³	Lame d'eau écoulée mm	Coefficient d'écoulement %	Déficit d'écoulement mm
1960					
Janvier - Juin	(50)	0	0	0	(50)
Juillet	(260)	6 600	6,5	(2,5)	253,5
Août	185	4 780	4,8	2,6	180,2
Septembre	155	4 330	4,3	2,8	150,7
Octobre - Décembre	0	43	0,0		0
Année	(650)	15 753	15,6	(2,4)	634,4
1961					
Janv.-Mi-Juin	(135)	0	0	0	(135)
2ème quinz. Juin	(55)	740	0,7	(1,3)	(54,3)
Juillet	172	5 430	5,4	3,1	166,6
Août	270	11 100	11,0	4,1	259
Septembre	188	12 700	12,6	6,7	175,4
Octobre-Décembre	(20)	0	0	0	(20)
Année	(840)	29 970	29,7	(3,5)	810,3
1962					
Janv.- fin Mai	(90)	(80)	0,1	* 0	89,9
Juin	160	5 080	5,0	3,1	155
Juillet	270	16 530	16,4	6,1	253,6
Août	405	54 910	54,4	13,4	350,6
Septembre	200	28 300	28,0	14,0	172
Octobre	25	1 615	1,6	6,4	23,4
Novembre-Décembre	0	0	0	0	0
Année	(1150)	106 515	105,5	9,2	1044,5

7.2.5 - Comparaison des apports annuels des trois bassins :

Bassin	KOULOUOKO	POGORAYA	NIEBSDODE
Superficie (km ²)	1010	82	21,5
Rapport Superficie (%)	100	8,1	2,1
Apports 1960			
Volume (10 ⁶ m ³)	15,75	2,215	0,625
Rapport (%)	100	14	4
Apports 1961			
Volume (10 ⁶ m ³)	29,97	0,50	0,365
Rapport (%)	100	1,65	1,2
Apports 1962			
Volume (10 ⁶ m ³)	106,5	7,91	2,70
Rapport (%)	100	7,4	2,5

En 1962, la pluviométrie a été uniformément répartie sur l'ensemble des bassins, si bien que les apports du NIEBSDODE et de la POGORAYA sont, en proportion de leurs surfaces respectives, assez voisins de ceux du KOULOUOKO.

7.3 - Averses et crues observées :

7.3.1 - Classement des averses

Les averses classées au pluviomètre de NIEGHA (n° 23 en 1962) sont les suivantes :

Pluies	24 - 31 : Mai	Jun	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Total du 24/5 au 8/10
0 - 10mm		1	3	6	5	3	18
10 - 20 "	1	4		3	4		12
20 - 30 "		2	1	4	1	1	9
30 - 40 "		1	1	2	1		5
40 - 50 "		1	5				6
50 - 60 "			1				1
> 60 "				1 (90,9 mm)			1
Total	1	9	11	16	11	4	52

Le nombre d'averses est sensiblement le même sur les trois bassins et varie entre 50 et 54. Le poste de NIEGHA reçoit 13 averses supérieures à 30 mm contre 10 au pluviographe 1 et 9 au pluviomètre 9. La proportion de fortes averses est donc plus grande dans cette partie du bassin principal ; par contre, la pluie du 18 Août a relativement peu affecté le village puisqu'on a recueilli 90,9 mm en tout, alors que quelques kilomètres plus à l'ouest, le bassin recevait 200 mm et plus.

7.3.2 - Principales averses

-- Averse du 13 Juin :

20,6 mm à NIEGHA. La pluie affecte surtout le Nord du bassin (57,0 mm aux pluviomètres 2 et 8, mais 61,0 mm au P₂₂). La hauteur moyenne sur le bassin du KOULOUOKO est de 42 mm, sur le bassin du NIEBSDODE = 45,4 mm
sur le bassin de la POGORAYA = 40,5 mm

-- Averse du 19 Juin :

30,6 mm à NIEGHA. Pluie surtout sur le Nord du bassin (54,5 mm au pluviomètre 1). La hauteur moyenne sur le bassin du KOULOUOKO est de 27 mm, sur le bassin du NIEBSDODE = 48,6 mm
sur le bassin de la POGORAYA = 40,5 mm

-- Averse du 19 Juillet :

40,9 mm à NIEGHA. La pluie a son épïcentre sur le Sud du bassin. La hauteur moyenne sur le KOULOUOKO est estimée à 30 mm, sur le bassin du NIEBSDODE = 12 mm
sur le bassin de la POGORAYA = 11 mm.

A noter que P₂₁, qui totalise les averses du 29 Juin et du 1er Juillet, a reçu 116,9 mm.

-- Averse du 13 Juillet :

20,9 mm à NIEGHA. Epïcentre de l'averse à P₂₂ avec 73,5 mm. La hauteur moyenne sur le KOULOUOKO est de 35 mm, sur le bassin du NIEBSDODE = 10 mm
sur le bassin de la POGORAYA = 14 mm

-- Averse du 15 Juillet :

40,2 mm à NIEGHA. La pluie affecte la périphérie du bassin. La hauteur moyenne sur le KOULOUOKO est de 43 mm, sur le bassin du NIEBSDODE = 44,2 mm
sur le bassin de la POGORAYA = 45,0 mm

-- Averse du 3 Août :

20,7 mm à NIEGHA. Le Nord du bassin est particulièrement arrosé (54,9 mm au pluviomètre 4). La hauteur moyenne sur le KOULOUOKO est de 30 mm, sur le bassin du NIEBSDODE = 47,6 mm
sur le bassin de la POGORAYA = 40,8 mm

- Averse du 8 Août :

10,9 mm à NIEGHA. Epicentre sur le centre-Est du bassin (P22 reçoit 105,8 mm et le pluviomètre de BOULSA 79,5 mm). La hauteur moyenne sur le KOULOUOKO est de 38 mm, sur le bassin du NIEBSDODE elle est de 11 mm, sur le bassin de la POGORAYA de 6 mm seulement.

- Averse du 18 Août :

Cette averse exceptionnelle est assez bien connue sur le bassin résiduaire du KOULOUOKO grâce aux pluviomètres totalisateurs qui ont été relevés à la fin de l'averse. Le P₁₇ reçoit 219 mm et le P₂₂ 217,5 mm. Deux parties de bassin touchent ainsi plus de 200 mm : la région Nord-Ouest et la région Centre-Sud. La répartition de cette averse est homogène et seule une faible partie du bassin reçoit moins de 100 mm. Il s'agit de la frange orientale avec 90,9 mm au pluviomètre de NIEGHA et 44,3 mm au pluviomètre de BOULSA.

La hauteur moyenne sur le KOULOUOKO est de 180 mm, soit la même valeur que pour le bassin de la POGORAYA, le bassin du NIEBSDODE moins touché, ne compte que 140 mm.

Cette averse a donné lieu à la plus forte crue observée au cours des 3 campagnes. Le débit de pointe est estimé à 250 m³/s.

- Averse du 28 Août :

10,6 mm à NIEGHA. Cette averse tombe surtout sur le Nord-Est du bassin (41,5 mm à BOULSA). La hauteur moyenne est difficilement estimable car les relevés des pluviomètres totalisateurs concernent les pluies des 28, 29 et 30 Août. Elle est de l'ordre de 25 mm.

Les bassins du NIEBSDODE et de la POGORAYA sont plus favorisés avec respectivement 42,9 mm et 34,6 mm.

- Averse du 1er Septembre :

10,9 mm à NIEGHA. La pluie tombe principalement sur le centre et le Nord du bassin (33,8 mm au pluviomètre 5). La hauteur moyenne sur le KOULOUOKO est estimée à 25 mm, valeur assez proche de celles des deux autres bassins 24,1 mm sur le NIEBSDODE et 26,1 mm sur la POGORAYA.

- Averse du 3 Septembre :

10,7 mm à NIEGHA. La hauteur moyenne est de l'ordre de 25 mm sur le KOULOUOKO. Les bassins du NIEBSDODE et de la POGORAYA sont plus arrosés avec, respectivement, 28,3 mm et 31,8 mm. Le maximum ponctuel est de 52,1 mm au pluviomètre 14.

- Averse du 17 Septembre :

27,5 mm à NIEGHA. L'averse affecte surtout le centre du bassin. La hauteur moyenne est estimée à 35 mm sur le KOULOUOKO. Elle est de 21,8 mm sur le NIEBSDODE et de 27,8 mm sur la POGORAYA.

7.3.3 - Crues observées

- Crue du 13 au 16 Juin :

Cette crue est produite par l'averse du 13 Juin. La hauteur moyenne de la pluie est de 42 mm mais les conditions de saturation sont médiocres à cette époque de l'année. L'amont du bassin, plus arrosé, ruisselle davantage et le débit de pointe observé à la station de KOGHO est de $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ alors qu'à la station de NIEGHA, il n'est que de $6,3 \text{ m}^3/\text{s}$ seulement. Les pertes sont donc fortes entre ces deux points, elles sont dues au stockage des eaux d'écoulement dans les dépressions du bassin résiduaire. Le coefficient d'écoulement est très faible avec 2,4 %. Une grande partie du ruissellement a dû être absorbée en cours de route si bien que l'hydrogramme ne correspond qu'à une fraction du bassin, la durée totale de la crue n'est d'ailleurs que de 4 jours, c'est la première crue notable à NIEGHA.

- Crue du 19 au 23 Juin :

Cette crue est produite comme précédemment par une seule averse, l'averse du 19 Juin. La hauteur de pluie moyenne n'est que de 27 mm, mais l'écoulement observé provient principalement du Nord du bassin qui a été, comme le 13 Juin, plus arrosé. Ainsi, on note un débit de pointe de $9,5 \text{ m}^3/\text{s}$ à la station de KOGHO; à la station de NIEGHA le débit tombe à $8,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Il ne semble pas qu'une plus grande partie du bassin ait participé à l'écoulement et l'on observe des temps de montée et d'écoulement identiques à ceux de la crue précédente. Le débit de base était cependant de $2,27 \text{ m}^3/\text{s}$ en début de crue d'où un coefficient d'écoulement plus élevé = 6,2 %.

- Crue du 1er au 9 Juillet :

Cette crue est due principalement à l'averse du 1er Juillet qui est tombée surtout sur le Sud du bassin. On n'observe aucun écoulement notable à la station de KOGHO. Le 2 Juillet, alors que l'onde maximale de crue arrive à NIEGHA, survient une nouvelle averse qui, comme la précédente, touche le centre et le Sud du bassin. La hauteur de pluie moyenne est de 20 - 25 mm. Survenant à un moment favorable, cette pluie facilite l'écoulement. Le temps de montée de l'hydrogramme est long : 42 heures environ, mais le débit de pointe est de 17,8 m³/s. Le volume écoulé est de 4,2.10⁶ m³. Seuls, le centre et le Sud du bassin ont participé à l'écoulement.

- Crue du 13 au 21 Juillet :

Cette crue est amorcée par l'averse du 13 Juillet. Seule la moitié Sud du bassin ruisselle; dans la matinée du 15, le débit de pointe atteint 14 m³/s. C'est alors que se produit une averse de 43 mm de moyenne. L'amont immédiat de NIEGHA est bien arrosé, d'où un ruissellement très rapide permettant au débit de se maintenir pendant douze heures au même palier, ensuite, l'apport des eaux d'écoulement du reste du bassin donne une nouvelle montée brutale qui donne 6 heures après un débit maximal de 45,8 m³/s. Le temps de montée total de la crue est de 37 heures. Le temps de ruissellement est de dix jours. La pluie du 15 Juillet a permis à tout le bassin de ruisseler, le coefficient d'écoulement est de 11,5 % et le volume écoulé est de près de 10 millions de mètres cubes.

- Crue du 31 Juillet au 7 Août :

Il s'agit d'une crue complexe résultant de la composition de plusieurs ruissellements, le débit maximal est de 7,2 m³/s. Le temps de montée n'a aucune signification.

- Crue du 8 au 17 Août :

La crue est due principalement à l'averse du 8 Août, les pluies des 13 et 14 ne font que ralentir légèrement la décrue. Seule la moitié Sud du bassin ruisselle. Le temps de montée est donc assez court : 28 heures. Le débit de pointe est de 19,8 m³/s.

- Crue du 18 au 24 Août :

C'est la plus forte crue observée à la station de NIEGHA. Elle est provoquée par une pluie de 180 mm de moyenne. C'est un rare cas où tout

le bassin ruisselle vraiment. Le maximum de débit à KOGHNERE est de 25 m³/s, à KOGHO de 108 m³/s et à NIEGHA de 250 m³/s environ. L'enregistrement de la montée de la crue étant défectueuse, on ne connaît pas l'heure du début de la crue. On peut cependant estimer le temps de montée à 28 heures (temps de réponse : 33 heures). Ce temps semble assez court puisque tout le bassin a ruisselé. L'importance de l'averse a toutefois permis au réseau hydrographique de se remplir très rapidement. Le maximum s'est produit le 19 Août. L'onde de crue, correspondant à l'arrivée simultanée des deux affluents qui se jettent dans le KOULOUOKO près de la station, a dû être très brutale. D'autre part, l'apport des parties amont a dû arriver assez vite, les fortes crues se déplaçant plus rapidement. Il est certain que les pertes d'écoulement en cours de route par stockage dans les plaines d'inondation ont été énormes. Le débit à la station de NIEGHA n'est qu'un peu plus du double de celui observé à la station de KOGHO, alors que la surface du bassin est 12 fois plus grande .

Le temps de base de l'hydrogramme est de douze jours au moins. Le coefficient d'écoulement est de 19,4 % (plus forte valeur observée), le volume écoulé est estimé à 35,2 millions de mètres cubes.

La pluie du 20 Août, de 20 mm de moyenne sur le KOULOUOKO, donne sur l'hydrogramme une légère remontée en cours de décrue, mais la partie de l'écoulement correspondant à cette averse est très minime.

- Crues du 24 au 31 Août :

Une nouvelle crue est amorcée par l'averse du 24 Août qui a donné une hauteur moyenne de 20 mm sur les bassins du Nord. La hauteur sur le KOULOUOKO est difficilement estimable car les pluviomètres totalisent les pluies des 23, 24 et 26 Août. Après un maximum à 39,4 m³/s, on observe 20 heures après un second maximum à 43,0 m³/s dû à la pluie de la nuit du 25 au 26 Août.

L'ensemble de ces averses a intéressé principalement le Sud du bassin, on relève 106,7 mm au pluviomètre totalisateur 20 et 2 autres appareils recueillent plus de 90 mm.

Le 28 Août se produit une nouvelle interruption de la décrue par une pluie de 25 mm.

Le coefficient d'écoulement total est de 16,6 %. Cette valeur est importante si l'on considère qu'aucune de ces pluies ne présentait de caractéristiques remarquables. Toutefois, ces pluies favorables à l'écoulement puisque tombant surtout sur le Sud du bassin, ont rencontré des conditions de saturation très propices. Toutes les plaines d'inondation étaient encore engorgées par les eaux de l'averse du 18 Août et la décrue n'était pas encore terminée. On comprend aussi que les débits de pointe aient pu atteindre et dépasser 40 m³/s, le débit observé avant la crue du 24 Août étant de 14,2 m³/s. On a d'ailleurs observé, après l'averse du 17 Août, de forts coefficients d'écoulement aux deux bassins de la POGORAYA et du NIEBSDODE.

- Crue du 1er au 11 Septembre

Les averses des 1^{er} et 3 Septembre donnent deux crues composées.

La première averse favorise le Nord du bassin, elle donne un temps de montée de 24 heures et un débit de pointe de 33 m³/s. La seconde averse a le même point d'impact que la première et la même valeur moyenne (25 mm), elle produit un nouveau gonflement de l'écoulement avec un temps de montée de 20 heures et un débit de pointe de 39,4 m³/s. La propagation de l'écoulement dans le réseau hydrographique est facilitée par la bonne saturation du bassin. La décrue de l'averse du 28 Août n'était pas et, de loin, achevée puisque le débit relevé avant la crue du 1er Septembre est de 16,2 m³/s, d'où là encore les fortes valeurs des débits de pointe.

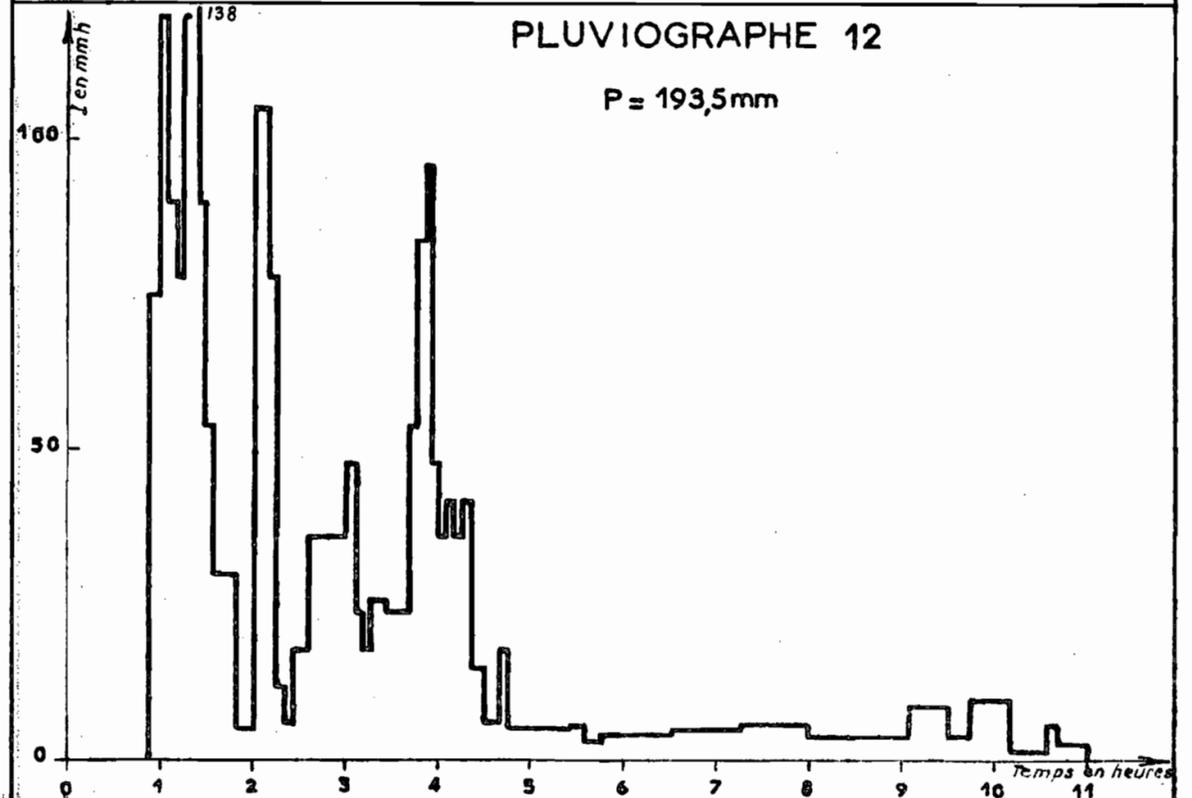
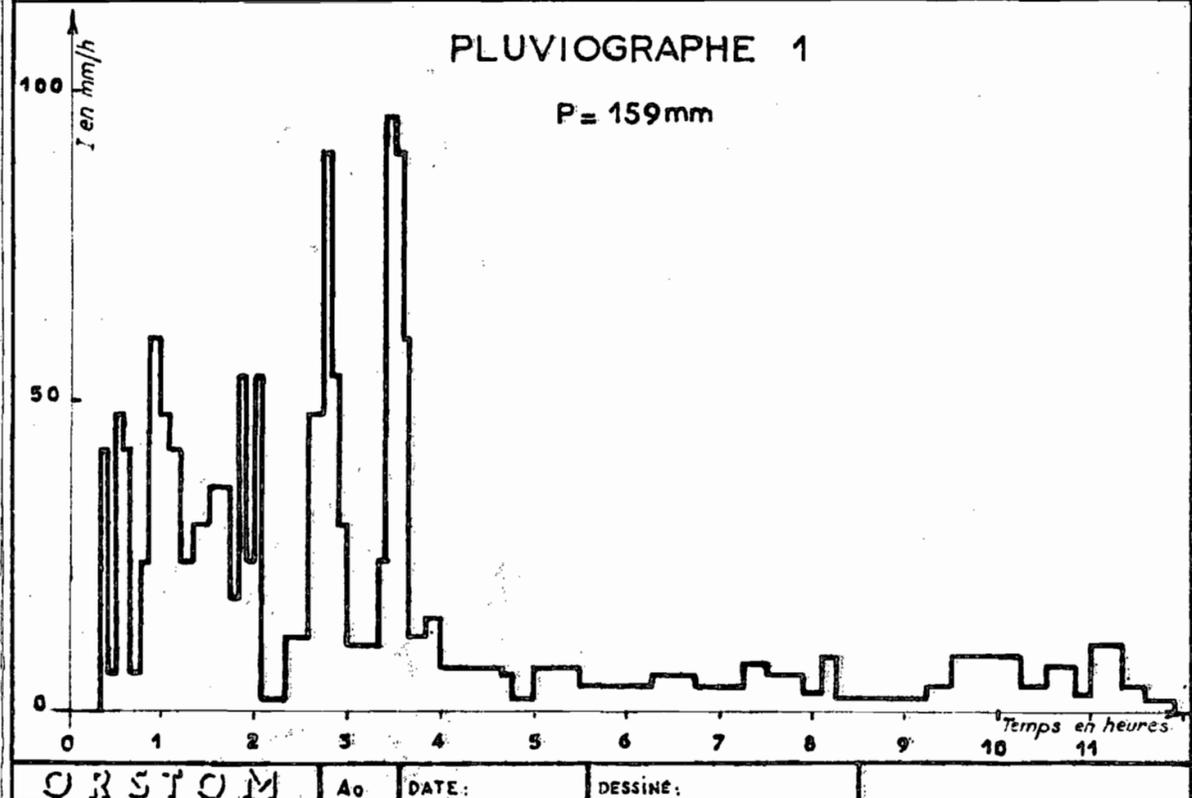
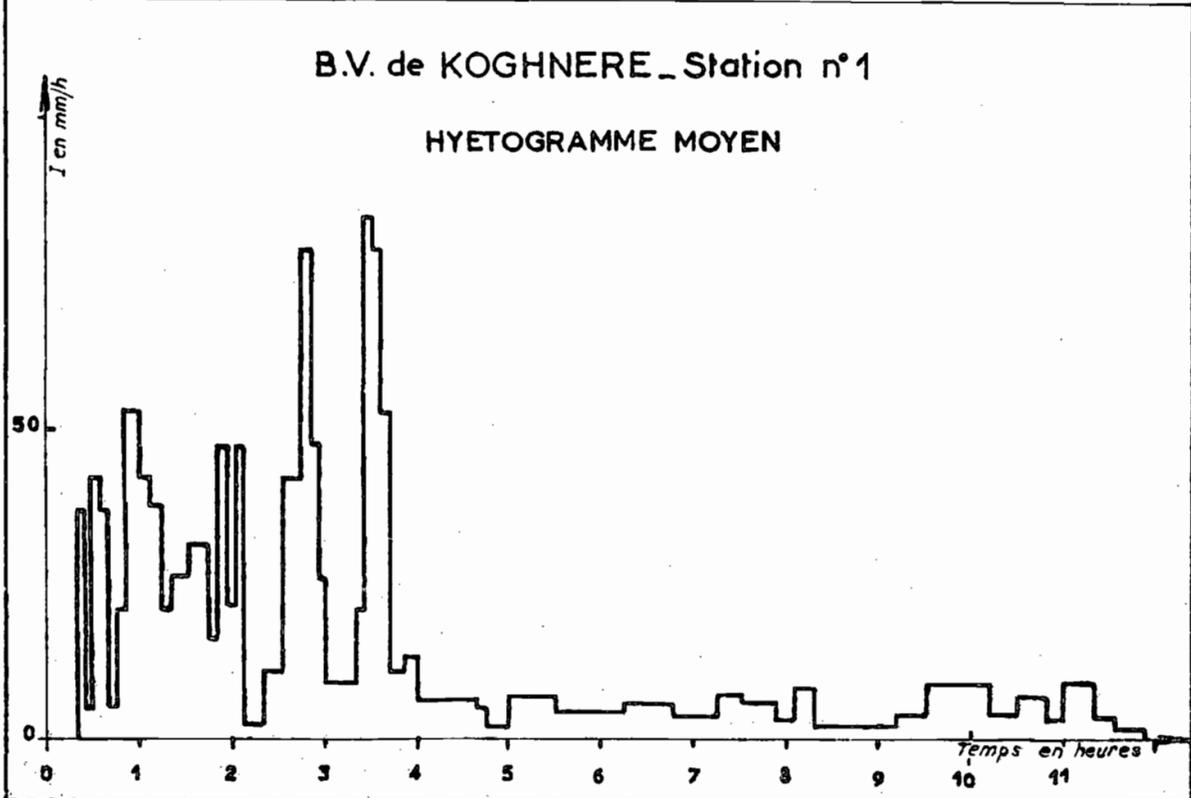
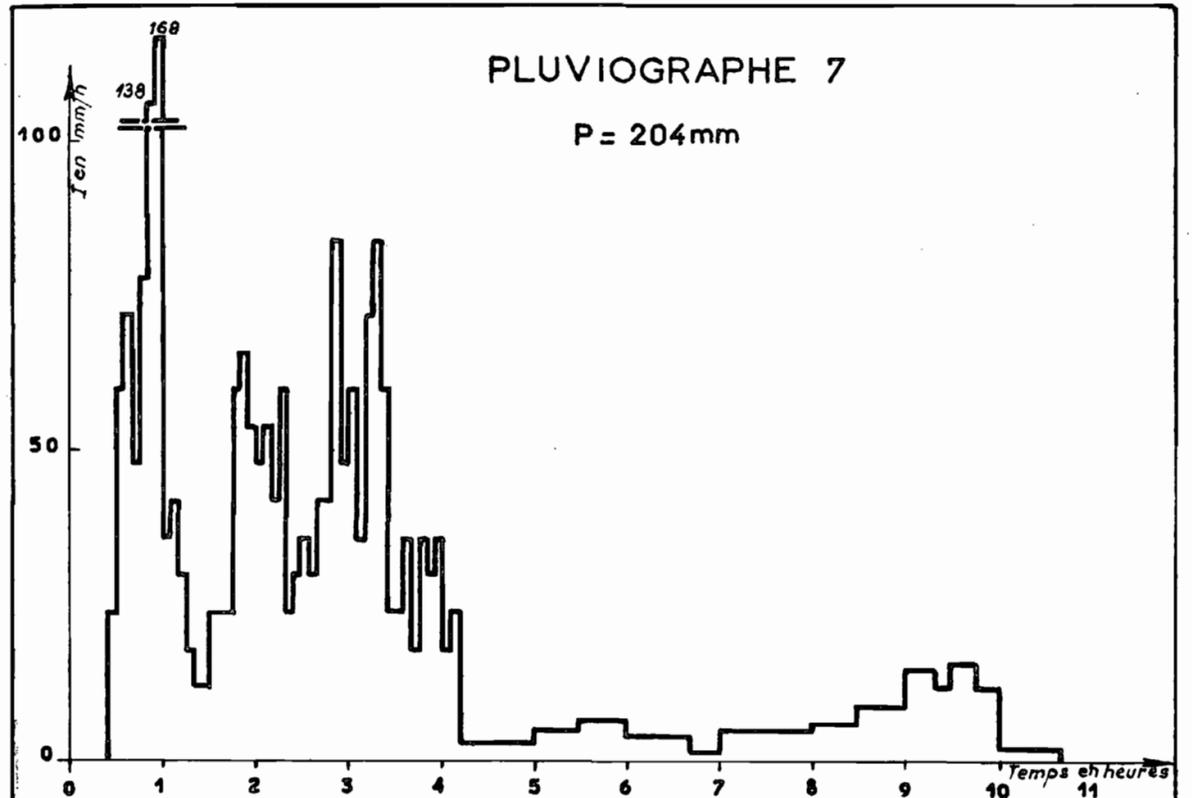
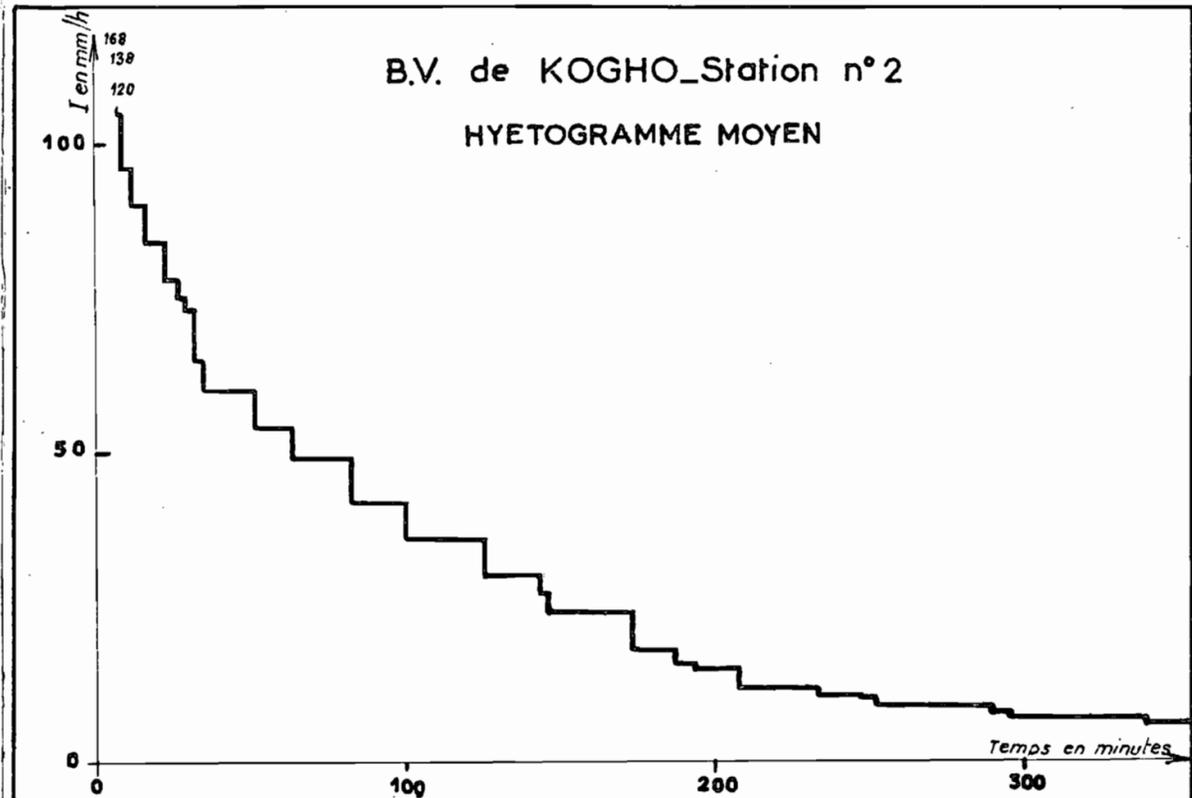
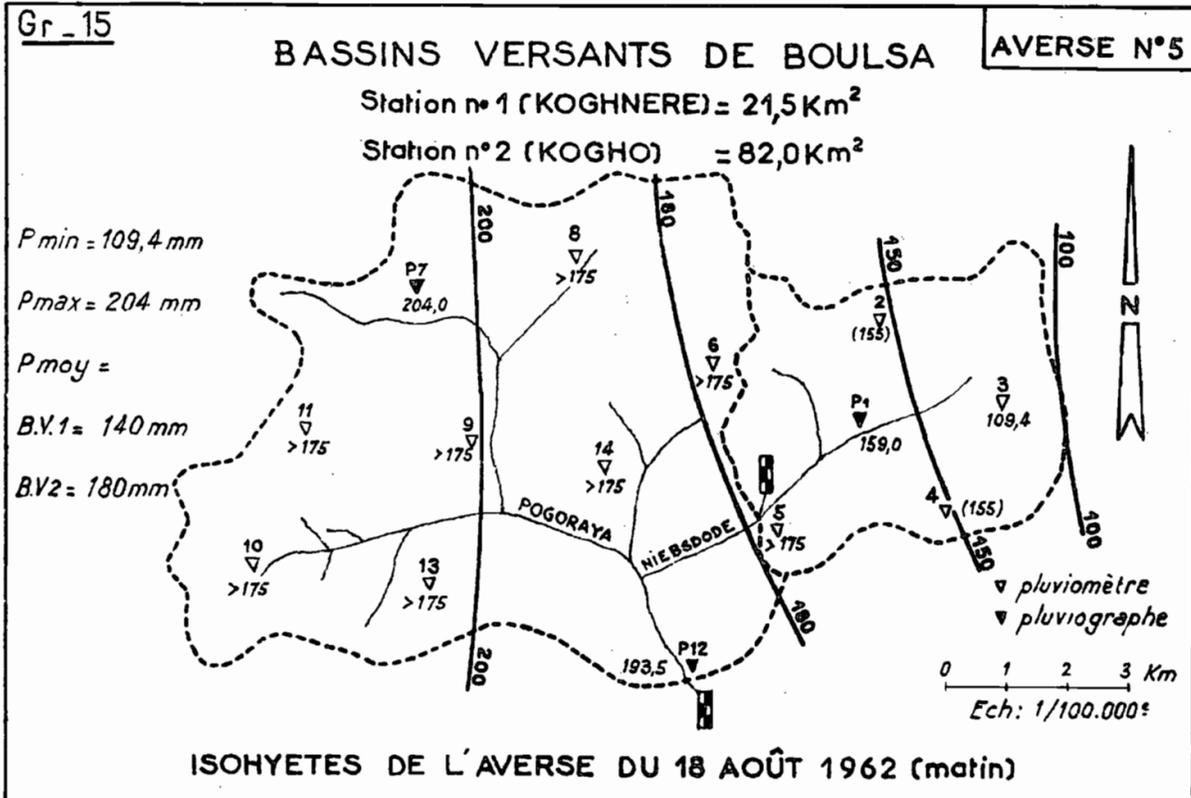
Ces conditions favorables amènent à un coefficient d'écoulement de 18,8 % et à un volume écoulé de 15,6 millions de mètres cubes.

- Crue du 17 au 26 Septembre

La crue est due surtout à l'averse du 17 Septembre dont la hauteur moyenne est estimée à 35 mm. Les conditions de saturation sont redevenues assez moyenne, le débit de base est tombé à 1,21 m³/s. Le temps de montée est de 36 heures, il correspond au ruissellement de la quasi-totalité du bassin. Le débit de pointe est de 17,8 m³/s.

La décrue est retardée par les averses des 21 et 24 Septembre. Le temps de base est de onze jours environ.

En fin de mois, les dernières pluies de la saison maintiennent le débit à plusieurs m³/s jusqu'au début d'Octobre. On observe ensuite un tarissement progressif jusqu'à la fin du mois d'Octobre.

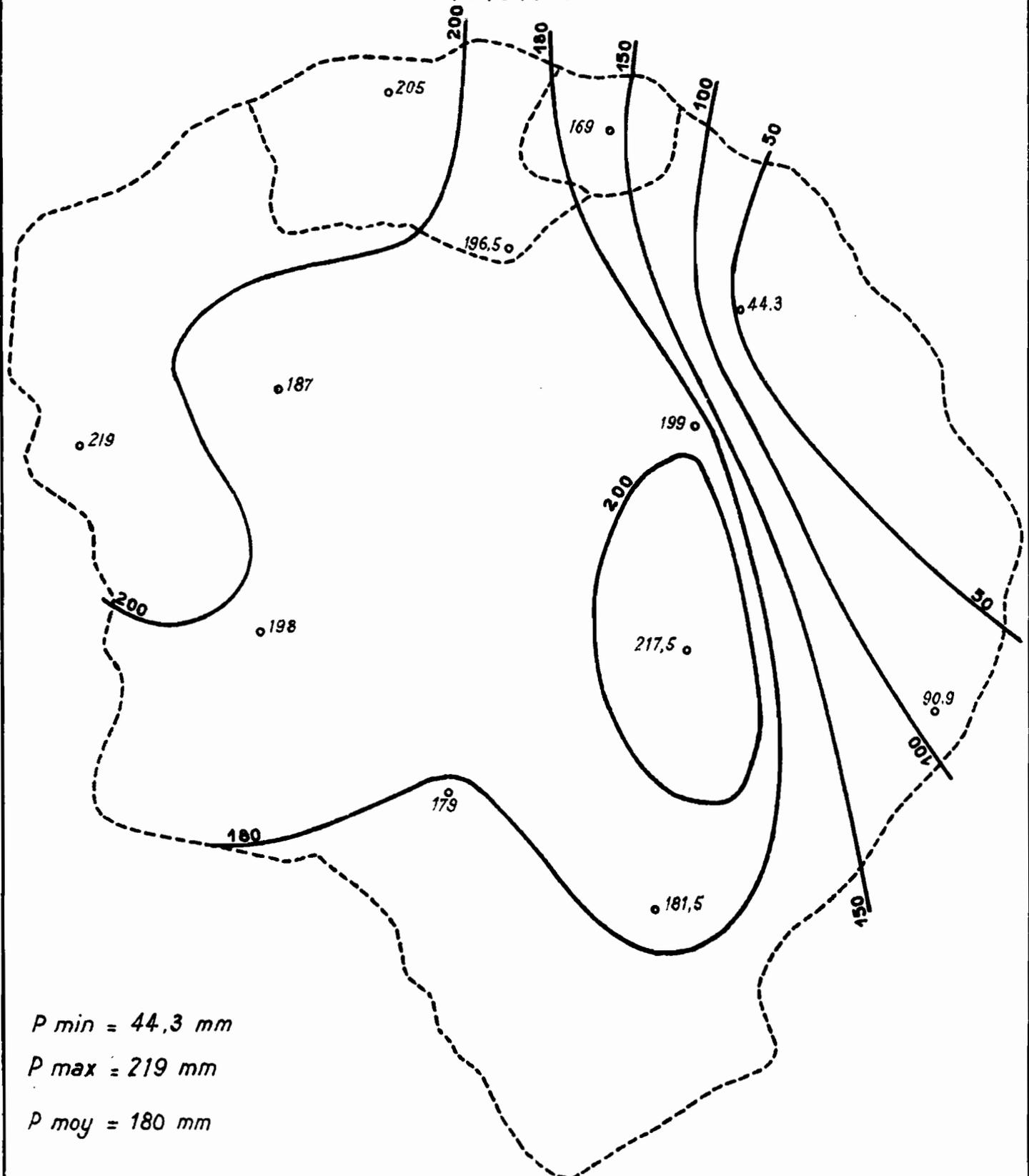


Isohyètes de l'averse du 18 Août 1962

Gr_16

(matin et soir)

B.V. de NIEGHA
1010Km²



P min = 44,3 mm

P max = 219 mm

P moy = 180 mm

ORSTOM

Ao

DATE :

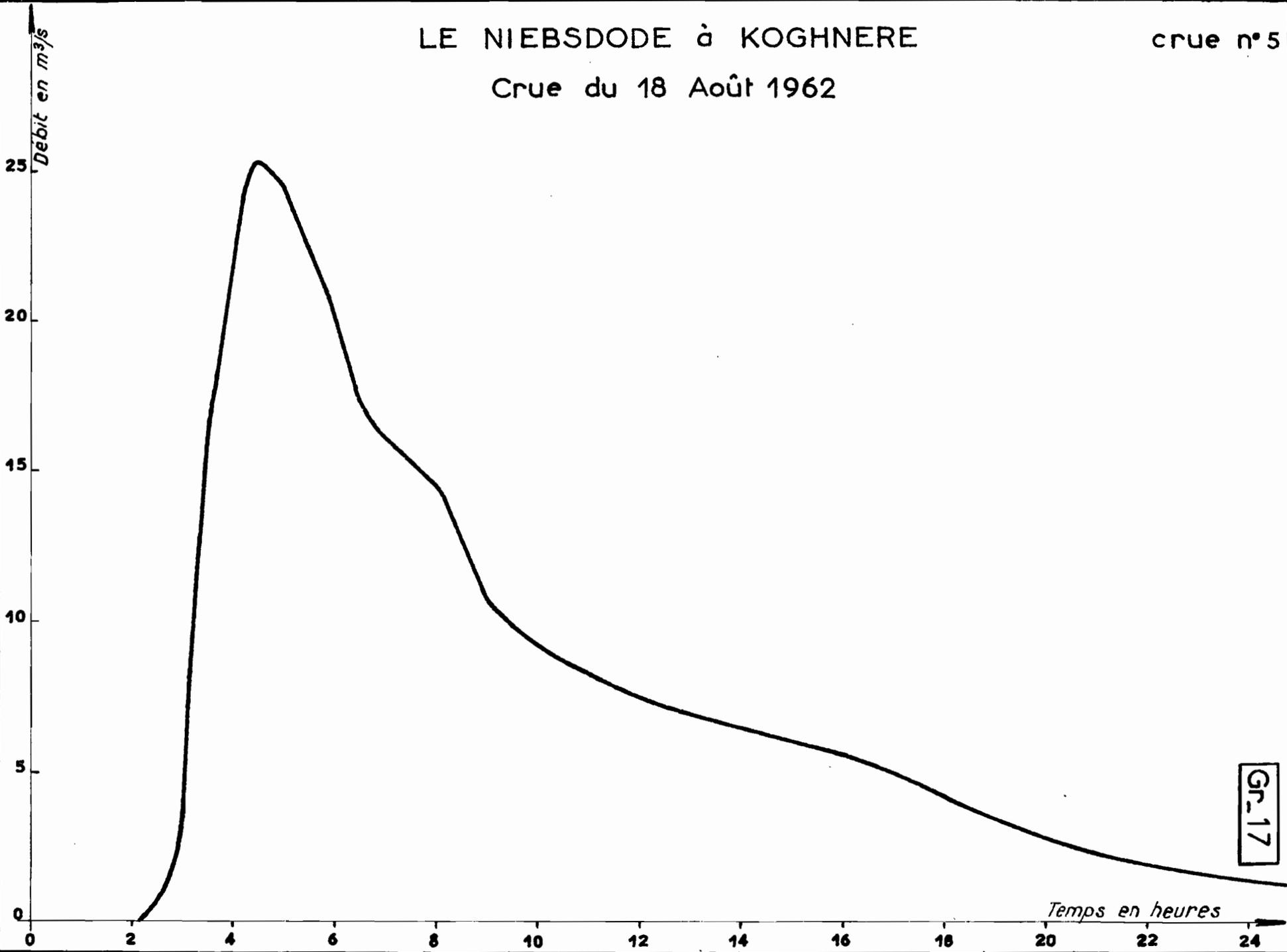
DESSINE :

VOL. 61.194

LE NIEBSDODE à KOGHNERE

crue n° 5

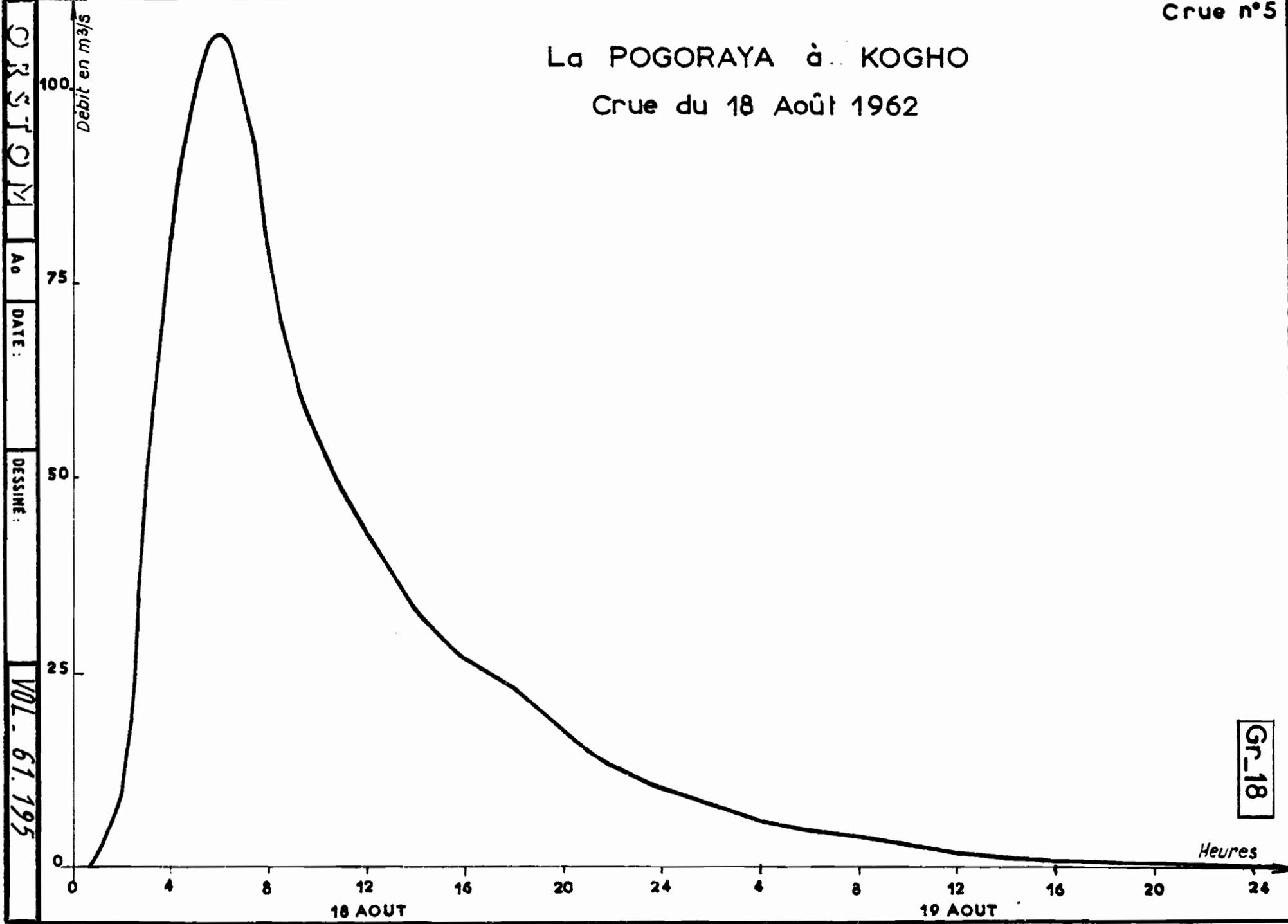
Crue du 18 Août 1962



Gr. 17

La POGORAYA à KOGHO

Crue du 18 Août 1962



CRISTOM
A0
DATE:
DESSINE:
VOL. 61.195

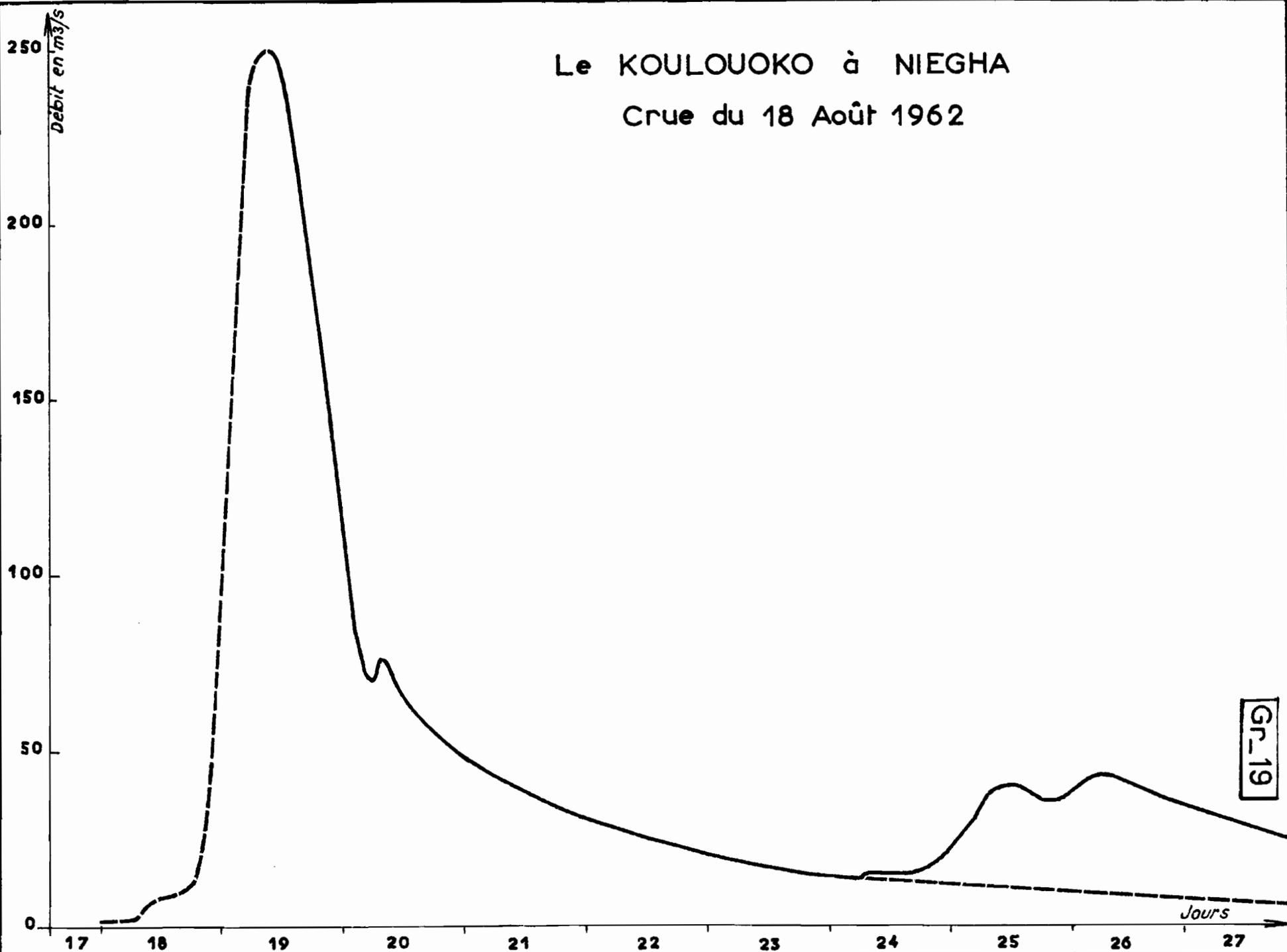
Gr.18

Heures

18 AOUT

19 AOUT

Le KOULOUOKO à NIEGHA
Crue du 18 Août 1962



Gr_19

ORSTOM
Ao
DATE :
DESSINE :
VOL - 61.196

7.4 - Caractéristiques des crues :

Nous avons établi, avec les mêmes symboles que précédemment, le tableau des caractéristiques de crues du KOULOUOKO à NIEGHA.

Certes, la méthode des hydrogrammes unitaires n'est pas valable pour un bassin d'une telle étendue, mais la connaissance des valeurs rassemblées dans ce tableau est indispensable si l'on veut faire une analyse de l'écoulement.

Il est bon de préciser que beaucoup de ces caractéristiques sont difficiles à établir et que certaines d'entre elles n'ont pas toujours la signification qu'on leur prête ordinairement.

En effet, la dimension du bassin est telle que l'hydrogramme de crue observé à la station de NIEGHA provient rarement du ruissellement d'une seule averse. Le plus souvent, il s'agit d'un hydrogramme complexe résultant de la composition des ruissellements de plusieurs averses.

Ainsi,

- la colonne P_M correspond soit au maximum ponctuel d'une pluie isolée (cas des 13 et 19 Juin 1962 par exemple), soit au plus fort total des précipitations se rapportant à la colonne "date des averses".

Il est agréable de noter que la plus forte crue de 1962 est due, comme également les deux plus fortes crues de 1961, à une seule averse, ce qui facilite singulièrement l'analyse.

- on peut faire les mêmes remarques en ce qui concerne le coefficient d'abattement et la pluie moyenne.
- la valeur de t_i est mal déterminée et représente très médiocrement l'état de saturation du bassin. Une averse assez faible, inférieure à 20 mm, peut passer pratiquement inaperçue ou n'intéresse qu'une petite partie du bassin.
- les réflexions faites sur les autres bassins au sujet du coefficient d'écoulement s'appliquent ici avec plus de rigueur encore:

On a établi la valeur du coefficient d'écoulement en prenant la surface totale du bassin alors qu'en réalité, l'écoulement est très hétérogène. Ainsi, le 1er Juillet 1962, le tableau des caractéristiques indique

VALEURS CARACTERISTIQUES des CRUES du KOULOUOKO à NIEGHA

(1 010 km²)

Date de la crue 1960	Date des averses	P _M mm	K %	P _{moy} mm	t _i jour	V _e 10 ³ m ³	K _e %	t _m heures	t _p heures	t _r jours	Q _M m ³ /s	Q _o ⁽⁴⁾ m ³ /s	Q _M ^r m ³ /s	Impact
8 au 16/7		-	-	-	5	1 850	-	66	90 ⁷⁶		4,2	0,35	2,3	
17 au 26/7	17-18-19	174	55	95	1	4 200	4,4	(50)	57/45/ 20		18,2	1,20	4,3	a. b. réparti
2 au 11/8	1er	<u>82</u>	56	<u>46</u>	2	2 740	5,9	(40)	67		8,9	0,64	3,3	Nord
<hr/>														
1961														
27/6 au 1/7	27/6	39,4(?)	-	-	$\bar{7}$	695	-	16	-	4	6,0	0	8,65	
9 au 14/7	9 et 11	95	(42)	(40)	5	1 500	3,7	37	-	(6,5)	6,0	0	4,0	Est-Sud
14 au 21/7	<u>14</u>	(85)	<u>71</u>	(61)	$\bar{3}$	2 950	4,8	16	-	(7,5)	<u>29,5</u>	1,5	10,0	Est-Sud
31/7 au 10/8	<u>31/7</u> et <u>1,2,3/8</u>	113	65	73,5	2(1)	3 800	5,1	(25)	-	(10	16,4	0,6	5,2	Est-Centre (3) -Sud
10 au 20/8	5,6,8, <u>10</u> ,11	135,6	59	80	5(2)	4 350	5,3	(60)	-	(9,5)	15,9	1,3	3,65	a. b. réparti
22 au 29/8	<u>18</u> et 19	130	53	69,5	3	1 970	2,8		127(?)	(10)	7,4	1,1	3,7	a. b. réparti
2 au 10/9	<u>2</u>	<u>111</u>	<u>57</u>	<u>63</u>	2	10 100	15,9	37	(32)	(12)	<u>52</u>	0,3	5,15	Cent. -Sud -Est
10 au 21/9	8,10, <u>11</u> ,13, <u>14</u>	80	67	54	-	2 000	3,7	66	-	11,5	7,1	4,2	3,5	

(1) concerne l'averse du 31 Juillet

(2) " " du 10 Août

(3) rapportée uniquement à l'averse du 3 Août.

(4) Q_o : débit initial

VALEURS CARACTERISTIQUES des CRUES du KOULOUOKO à NIEGHA

(1 010 km²)

Date de la crue 1962	Date des averses	P _N mm	K %	P _{moy} mm	t _i jours	V _e 10 ³ m ³	K _e %	t _m heures	t _p heures	t _r jours	Q _M m ³ /s	Q _O m ³ /s	Q _M ¹ m ³ /s	Impact
13 au 16/6	<u>13</u>	61,0	69	42	2	1 015	2,4	26	25	(4)	6,3	0,90	6,2	Centre-Nord
19 au 23/6	<u>19</u>	54,5	50	27	2	1 690	6,2	24	21	(4,5)	8,1	2,27	4,8	Est-Nord
1 au 9/7	29, <u>1</u> , et 2	136	55	75	2	4 200	5,5	(42)	-	(9)	17,8	0,35	4,2	Centre-Sud
13 au 21/7	13, <u>15</u> , 18	147	59	86	2 (1)	9 980	11,5	(37)	(63)	(10)	45,8	2,37	4,6	Centre
31/7 au 7/8	31, <u>3</u>	(86)	(70)	(60)	3 (2)	2 145	3,5	-	-	(10)	7,2	0,25	3,4	-
8/8 au 17/8	<u>8</u> , 13, 14	139	45	63	5	4 915	7,7	28	-	(9,5)	19,8	1,21	4,0	Centre-Est
18/8 au 24/8	<u>18</u>	219	82	180	1	35 230	19,4	(28)	33	(12)	250	1,74	7,1	b.répartie
24/8 au 31/8	23, 24, 26, 28, 29	146	(65)	(95)	-	15 570	(16,2)	-	-	(11)	43,0	14,2	2,8	Centre-Sud
1 au 11/9	<u>1</u> , 2, 3, 4, 6, 7	88	93	82	3(3)	15 570	(18,8)	-	-	(11)	39,4	16,2	2,5	b.répartie
17 au 26/9	16, <u>17</u> , 21, 24	121	(73)	(88)	1(4)	7 580	8,5	(36)	(51)	(11)	17,8	1,21	2,3	b.répartie

- (1) concerne l'averse du 15 Juillet
 (2) " " du 3 Août
 (3) " " du 1er Septembre
 (4) " " du 17 Septembre

un coefficient d'écoulement de 5,5 %, à vrai dire, il est de zéro pour la moitié Nord du bassin (aucun ruissellement) et de 11 % pour la seule moitié Sud.

De plus, les précipitations ont été groupées en fonction des relevés des pluviomètres totalisateurs. Il a souvent été délicat, voire impossible, de séparer les différentes averses (cas des crues des 1er au 9/7/1962 et 24/8 au 31/8/1962 par exemple).

La prise en compte de toutes les averses dans l'intervalle entre deux relevés des totalisateurs conduit à une sous-estimation systématique du coefficient d'écoulement car certaines d'entre elles n'ont pas donné lieu à ruissellement.

D'ailleurs, même s'il était possible de séparer chaque averse, on ne pourrait guère distinguer l'hydrogramme correspondant ; en effet, l'écoulement est assez lent et les hydrogrammes élémentaires tendent à se fondre en un hydrogramme unique qui est, en fait, un hydrogramme complexe.

Le temps de montée est difficile à définir correctement, il varie considérablement suivant la position de l'impact de la pluie, la répartition de celle-ci, l'importance de l'écoulement.

De plus, le temps de montée observé correspond rarement à une crue simple, mais le plus souvent à une crue composée (crue du 13 au 21/7/1962 par exemple).

On a cherché à voir quel était le temps de montée d'une crue provenant de l'extrémité du bassin, c'est-à-dire de la partie Nord :

- La crue du 2 Août 1960, crue simple, donne une trentaine d'heures.
- La crue du 18 Août 1961 donne soixante heures, notons la faible valeur de l'écoulement ($K_e = 2,8 \%$) et les fortes pertes de l'amont vers l'aval.
- La crue du 17 Juillet 1960 donne cinquante heures, mais en réalité, c'est la pluie du 18 et non celle du 17 qui provoque le maximum d'écoulement.

En 1962, les deux premières crues de l'année, celles des 13 et 19 Juin, proviennent d'averses isolées et donnent des crues simples. Les temps de montée sont respectivement de 26 et de 24 heures.

Enfin, la crue du 18 Août 1962 est un des rares crues provenant d'un ruissellement généralisé. Son temps de montée est de 28 heures, les marigots de la région de NIEGHA gonflent immédiatement. Mais la forte montée due à l'apport du flot principal ne dure que seize heures.

Ainsi, le temps de montée d'une crue provenant de l'extrémité du bassin est d'au moins 24 heures, il peut atteindre deux jours et davantage suivant les conditions de drainage et les caractéristiques de la pluie.

L'existence en 1962 de nombreuses crues communes aux deux stations de KOGHO et de NIEGHA permet d'étudier l'évolution des crues entre ces deux points et de confirmer les constatations émises dès le rapport 1960.

- Il se produit un étalement de l'onde de crue et un aplatissement du débit de pointe par débordement sur les rives entre les 2 stations. Ainsi, le 13 Juin 1962, pour des pluies moyennes semblables, on note un débit maximal de $9,2 \text{ m}^3/\text{s}$ à KOGHO et de $6,3 \text{ m}^3/\text{s}$ à NIEGHA.

- Le 18 Août 1962, pour une même hauteur de pluie moyenne de 180 mm, le débit est de $108 \text{ m}^3/\text{s}$ à KOGHO et $250 \text{ m}^3/\text{s}$ seulement à NIEGHA (alors que le rapport des bassins est de 12,3).

- Le temps qui sépare les maximums à KOGHO et à NIEGHA est très variable et dépend de l'importance des débits.

Le 13 Juin, le maximum a lieu à la station principale 23 h.30 plus tard qu'à la station amont, cette durée s'abaisse à 8 heures le 15 Juillet et à 5 heures le 18 Août; elle remonte à 38 heures le 17 Septembre.

Nous verrons plus loin, lors de l'étude des crues exceptionnelles, les conclusions que l'on peut déduire de ces faits d'observation.

On peut faire, pour le débit initial de crue Q_0 , les mêmes remarques que pour le rapport 1961. Q_0 reflète mal l'état de saturation du bassin. Il peut représenter en effet simplement l'état du réseau hydrographique aux proches abords de la station de mesure.

Quant au débit Q'_M (débit de pointe rapporté à un volume écoulé de 10^6 m^3), il est d'autant plus mal défini que l'hydrogramme est plus complexe. Notons toutefois que :

- sa valeur est élevée (5 à 10) si la crue n'affecte qu'une portion du bassin (cas des crues du 27/6 au 1/7/61 et du 14 au 21/7/61), si le ruissellement est très important (cas des crues du 2 au 10/9/61, du 18/8 au 24/8/62);
- sa valeur s'abaisse (2 à 4) si l'écoulement est complexe (cas des crues du 24/8 au 31/8/62, du 1 au 11/9/62).

7.5 - Estimation des crues exceptionnelles :

L'estimation des crues, tant annuelles que décennales, s'avère assez délicate. Pour un bassin d'une telle étendue, et compte tenu de la répartition spatiale des averses dans cette région, on ne peut pas appliquer la méthode des hydrogrammes unitaires. On ne peut pas considérer, a priori, que la crue d'une fréquence donnée est provoquée par l'averse de même fréquence. Chaque année, en effet, plusieurs points du bassin enregistrent des hauteurs de fréquence annuelle et il est même possible de trouver en un point quelconque du bassin une hauteur ponctuelle décennale.

Vu l'assez lente évolution des crues, la composition de plusieurs écoulements est fréquente et il semble à première vue que l'on doive chercher la genèse d'une forte crue à partir d'une période pluvieuse de cinq jours.

Les particularités du réseau hydrographique de ces régions doivent cependant être prises en ligne de compte :

Nous avons constaté, pour les deux premiers bassins, que seule une partie de leur surface participait à l'écoulement. Nous sommes ici en présence du même phénomène et le long du réseau hydrographique, une grande partie de l'écoulement se perd d'amont en aval par débordement dans les plaines d'inondation. Les fortes crues enregistrées à la station de KOGHO se retrouvent très amorties à la station de NIEGHA.

Le maximum de crue observé à NIEGHA n'est pas dû à l'arrivée du flot des bassins du Nord. Selon l'importance du maximum amont, l'écoulement sera plus ou moins important à la station aval, mais le maximum amont ne fera que retarder la décrue en aval, il ne participe pas au débit de pointe. Le maximum à NIEGHA ne sera produit, en réalité, que par une portion Sud du bassin, autrement dit par les deux affluents près de NIEGHA.

Ce fait est important car le débit de pointe spécifique observé sera finalement bien plus faible à NIEGHA que ne le laisserait envisager la valeur du débit spécifique de la POGORAYA à KOGHO.

On aura ainsi un débit de pointe assez faible pour un bassin de 1010 km^2 .

Il ne sera pas nécessaire d'étudier les périodes pluvieuses de cinq jours car la crue pourra être produite par une averse "de 24 heures" tombant sur le Sud du bassin.

Il n'est pas possible de traduire l'état de saturation du bassin par un paramètre satisfaisant, en particulier par t_1 ou Q_0 . De toutes façons, cette saturation est très hétérogène sur un bassin de cette superficie.

Le coefficient d'écoulement sera difficile à évaluer. On sait qu'il varie fortement en cours d'hivernage : assez faible (quelques pour cent) en début de saison des pluies, il s'élève ensuite au milieu de celle-ci.

Il est évidemment fonction de l'état de remplissage du réseau hydrographique et est d'autant plus notable que les pluies sont plus groupées.

Le débit de pointe Q'_M (débit rapporté à un volume écoulé de 10^6 m^3) est très variable également, Nous avons vu au paragraphe 7 que sa valeur dépendait de l'importance de l'écoulement et du pourcentage du bassin participant à l'écoulement.

C'est l'examen des plus fortes crues des trois campagnes (particulièrement celles relatives à 1962) qui va nous permettre de dégager des données fort utiles quant à la formation et à la valeur des crues de diverses fréquences.

7.5.1 - Crue annuelle (médiane) :

Six crues peuvent fournir des indications intéressantes :

7.5.1.1 - Crue du 17 au 26/7/60 :

Cette crue est due à plusieurs averses assez bien réparties sur tout le bassin. L'indice d'humidité ne doit pas être très élevé.

$$K_e = 4,4 \% \quad Q_H = 17,8 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q'_M = 4,3$$

7.5.1.2 - Crue du 14 au 21/7/61 :

La crue provient d'une seule averse (de hauteur moyenne : 61 mm) assez localisée sur l'Est et le Sud du bassin. Les conditions de saturation sont les mêmes sensiblement que pour l'averse précédente.

$$K_e = 4,8 \% \quad Q_H = 29,5 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q'_M = 10,0$$

7.5.1.3 - Crue du 1 au 9/7/62 :

Elle est due principalement à l'averse du 1er Juillet qui affecte le Centre et le Sud du bassin.

$$K_e = 5,5 \% \quad Q_H = 17,8 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q'_M = 4,2$$

7.5.1.4 - Crue du 13 au 21/7/62

La formation de cette crue est intéressante car elle montre que deux averses moyennes peuvent, en composant leur ruissellement, donner un fort débit.

L'averse du 13 a une hauteur moyenne de 35 mm, elle donne $Q_H = 14 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'averse du 15 a une hauteur moyenne de 43 mm ; survenant comme la précédente sur le Sud du bassin alors que le KOULOUOKO est en crue, elle donne un fort écoulement.

L'ensemble de la crue donne :

$$K_e = 11,5 \% \quad Q_H = 45,8 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q'_M = 4,6$$

7.5.1.5 - Crue du 8 au 17/8/62 :

Elle est due à plusieurs averses, surtout celle du 8, elle touche le Centre et l'Est du bassin. La saturation semble moyenne.

$$K_e = 7,7 \% \quad Q_M = 19,8 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q'_M = 4,0$$

7.5.1.6 - Crue du 17 au 26/9/62 :

Elle est due à plusieurs averses, principalement celles des 16 et 17, elle est bien répartie et les conditions de saturation sont bonnes sur le bassin.

$$K_e = 8,5 \% \quad Q_M = 17,8 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q'_M = 2,3$$

L'analyse de toutes ces données permet d'envisager 3 possibilités de formation pour la crue annuelle :

- 1 -- La crue est formée par le ruissellement de plusieurs averses réparties sur tout le bassin. Le volume écoulé est important, mais Q_M est moyen et Q'_M assez faible. C'est le cas des exemples 7.4.1.1. et 7.4.1.6.
- 2 -- La crue est formée par le ruissellement d'une seule averse affectant seulement le Sud du bassin. Le volume écoulé est plus faible, mais Q_M et Q'_M sont plus élevés. C'est le cas des exemples 7.4.1.2 et 7.4.1.3.
- 3 -- Alors que le KOULOOUFO est en crue à NIEGHA, il survient une pluie tombant sur le Sud du bassin. Le volume écoulé est assez important, mais Q_M peut être très élevé. C'est le cas de l'exemple 7.4.1.4.

Ces réflexions nous amènent aux calculs suivants :

1er cas :

$$\begin{aligned} P_M &= 150 \text{ mm} \\ K &= 60 \% \\ P_{\text{moy}} &= 90 \text{ mm} \\ Q'_M &= 3,5 \\ K_e &= 6 \% \\ V_e &= 5,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \\ Q_M &= \underline{19 \text{ m}^3/\text{s}} \end{aligned}$$

2ème cas :

$$\begin{aligned} P_M &= 80 \text{ mm} \\ K &= 60 \% \\ P_{\text{moy}} &= 48 \text{ mm} \\ Q_M^p &= 8 \\ K_e &= 5 \% \\ V_e &= 2,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \\ Q_M &= \underline{22 \text{ m}^3/\text{s}} \end{aligned}$$

3ème cas :

	1ère averse	2ème averse
P_M	= 50 mm	50 mm
K	= 70 %	70 %
P_{moy}	= 35 mm	35 mm
Q_M^p	= 8	6
K_e	= 4 %	12 %
V_e	= $1,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$4,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Q_M	= $11,3 \text{ m}^3/\text{s}$	$25,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Soit un volume écoulé de : $5,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
et un débit de pointe de : $37 \text{ m}^3/\text{s}$

Éliminons le résultat du cas n° 1 qui est manifestement bien trop faible. L'hypothèse de l'averse annuelle tombant sur le Sud du bassin (cas n° 2) donne un débit de pointe de $22 \text{ m}^3/\text{s}$, alors que l'hypothèse de deux averses plus faibles tombant à 24 heures d'intervalle (cas n° 3) amène un débit de pointe de $37 \text{ m}^3/\text{s}$. La différence entre les deux valeurs est très grande et l'averse "annuelle" semble produire une crue assez modeste.

Il ne faut, en effet, pas oublier qu'étant donné la surface du bassin, l'hétérogénéité de la saturation et la répartition spatiale des averses, les crues de fréquence médiane peuvent très bien provenir de conditions exceptionnelles : soit d'une averse décennale tombant en un point quelconque du bassin (1), mais rencontrant une saturation nulle, soit d'une averse de fréquence plus élevée que la médiane mais tombant sur une partie du bassin où la saturation est excellente.

Aussi, la prise en considération, pour l'évaluation de la crue annuelle (médiane), des seules averses de fréquence médiane, entraînerait certainement une sous-estimation du débit de pointe de même fréquence.

Si l'on classe par ordre décroissant les plus forts débits de crues des trois années d'observations, en retenant uniquement les crues indépendantes les unes des autres (on élimine ainsi les deux fortes crues de 43,0 et 39,4 m³/s suivant celle du 18 Août 1962), on aboutit à la liste suivante, qui ne concerne que les premières valeurs :

	<u>Débit</u>
1er rang	: 250 m ³ /s
2ème rang	: 52 m ³ /s
3ème rang	: 45,8 m ³ /s
4ème rang	: 29,5 m ³ /s

etc.....

Il n'est évidemment pas question, avec seulement trois années, de tirer de ce classement la valeur de la fréquence expérimentale médiane.

D'ailleurs, la valeur obtenue (52 m³/s) serait bien trop élevée puisque la seule année 1962 fournit à la fois la crue de 1er rang de très faible fréquence et la crue de 3ème rang.

(1) Pendant 10 ans, il peut tomber un certain nombre d'averses au moins égales à l'averse décennale en divers points du bassin. Au sens strict la notion d'averse décennale n'est valable que pour un point ou une petite surface.

Mais, à supposer qu'au cours des deux années qui viennent, il ne se produise aucune crue supérieure à $46 \text{ m}^3/\text{s}$, la valeur médiane pour cinq années d'observations serait encore de $45,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pour que la valeur médiane soit celle du 4ème rang (correspondant à 7 années d'observations), il faudrait admettre qu'au cours des 4 prochaines années, il ne se produira aucune crue supérieure à $30 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui est malgré tout fort peu probable.

Toutes ces considérations permettent, en définitive, d'estimer le débit de pointe médian à $40 \text{ m}^3/\text{s}$ (soit 40 l/s.km^2), c'est-à-dire sensiblement la valeur du cas n° 3.

On pourra retenir pour le volume écoulé de même fréquence : 5 millions de m^3 , un peu inférieur à celui du cas n° 3.

7.5.2 - Crue décennale :

La crue du 18 Août 1962 est intéressante à plus d'un titre.

Les hauteurs relevées aux pluviographes et aux pluviomètres totalisateurs dépassent et de beaucoup la valeur décennale.

Rappelons que l'on a mesuré 219 mm en P₁₇ et 217,5 mm en P₂₁ et que la hauteur moyenne sur tout le bassin est de 180 mm.

Une grande partie de l'Est et du Centre touche plus de 200 mm et les pluviomètres du Sud, 180 mm.

Quelle est la fréquence de cette pluie ?

La fréquence cinquantenaire d'une averse dans cette région de HAUTE-VOLTA est de 160 mm. Si l'on s'en tient à l'extrapolation des courbes de distribution, la fréquence centenaire serait légèrement inférieure à 200 mm. Encore ne s'agit-il là que d'une hauteur ponctuelle et non d'une hauteur moyenne sur un bassin de 1010 km^2 ! Mais, étant donné l'importance de l'extrapolation, on ne doit pas donner à ce chiffre d'autre signification que celle d'une vague indication. En quinze ans, c'est la troisième averse ponctuelle de cet ordre de grandeur observée avec toutes garanties de sécurité dans ces régions (une autre a été observée à FORT-LAMY et une troisième à BANAKO).

Par contre, elle semble présenter la plus grande extension des trois fortes averses observées. Par sa valeur ponctuelle on peut, sans se tromper, affirmer qu'elle est comprise entre l'averse cinquantenaire et l'averse centenaire.

Si l'on tient compte de son extension, elle se rapprocherait peut être de l'averse centenaire.

Le débit de pointe ($250 \text{ m}^3/\text{s}$) de la crue correspondant à cette averse est-il de même fréquence ? Il est difficile d'en juger, mais les conditions de saturation étaient assez médiocres et l'épicentre de l'averse était sur le Nord-Ouest et non sur le Sud, ce qui est légèrement défavorable.

A titre simplement indicatif, on pourrait la considérer comme cinquantenaire. Il est bon de noter que le coefficient d'écoulement est de 19,4 % seulement, ce qui semble bien montrer qu'une valeur supérieure à 20 % est assez peu probable.

Notons également que le débit de pointe Q'_M est de 7,1.

Une autre crue à retenir non par son volume, qui est élevé sans être exceptionnel, mais par son caractère particulier, celle du 2 au 10/9/61.

Cette crue provient d'une seule averse de 63 mm de hauteur moyenne, affectant le Centre et le Sud du bassin, donc avec un impact très favorable, elle donne :

$$K_e = 15,9 \% \quad Q_M = 52 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q'_M = 5,2$$

Ainsi, les deux plus fortes crues observées pendant les trois dernières années sont dues à des averses isolées. Les coefficients d'écoulement varient entre 15 et 20 % et les débits de pointe Q'_M entre 5 et 7.

N'oublions pas cependant que la crue du 13 au 21/7/62 qui vient au troisième rang avec un débit de $45,8 \text{ m}^3/\text{s}$ est produite par deux averses simplement moyennes, mais survenant à un moment propice.

Aussi, nous pouvons émettre deux possibilités pour la formation de la crue décennale :

- 1 - La crue est simple, formée par l'écoulement relatif à une averse isolée de fréquence décennale ayant un abattement assez élevé, tombant sur le Sud du bassin et rencontrant des conditions de saturation satisfaisantes.
- 2 - La crue est composée, formée par l'écoulement relatif à deux averses de fréquence sensiblement annuelle, tombant sur le Sud du bassin et suffisamment rapprochées pour que leurs maximums de débit s'ajoutent.

1er cas :

$$\begin{aligned} P_M &= 110 \text{ mm} \\ K &= 75 \% \\ P_{\text{moy}} &= 82,5 \text{ mm} \\ Q_M^i &= 7 \\ K_c &= 20 \% \\ V_e &= 16,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \\ Q_M &= 120 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

2ème cas :

	1ère averse	2ème averse
P_M	$= 80 \text{ mm}$	80 mm
K	$= 70 \%$	70%
P_{moy}	$= 56 \text{ mm}$	56 mm
Q_M^i	$= 8$	6
K_e	$= 8 \%$	25%
V_e	$= 4,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$14,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Q_M	$= 36,2 \text{ m}^3/\text{s}$	$84,8 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\text{soit } \underline{V_e \text{ total}} = \underline{18,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3}$$

$$\text{et } \underline{Q_M} = \underline{121 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Nous retiendrons pour la crue décennale :

- un débit maximal de $120 \text{ m}^3/\text{s}$, soit 120 l/s.km^2
- et un volume écoulé de 18,5 millions de m^3 .

A titre indicatif, on peut retenir pour la crue cinquantaire, les valeurs de la crue du 18 Août 1962,

- soit un débit maximal de $250 \text{ m}^3/\text{s}$, soit 250 l/s.km^2
- et un volume écoulé de 35 millions de m^3 .

CONCLUSIONS

Les trois campagnes d'études menées sur les bassins de BOULSA permettent de dégager des données assez représentatives de cette région de l'Est-VOLTA.

Ces études ont mis en évidence la grande irrégularité inter-annuelle de l'écoulement ; même pour des hauteurs annuelles de pluie voisines de la moyenne, le coefficient d'écoulement varie beaucoup d'une année à l'autre.

Les pertes d'eau, par stockage à la surface du sol puis évaporation, sont considérables car les pentes sont faibles et seulement une partie du réseau hydrographique participe vraiment à l'écoulement. Cette portion, plus ou moins grande du bassin dépend de l'état de saturation et l'influence de la répartition des pluies au cours de l'hivernage est particulièrement sensible. Le rôle de la saturation a pu d'ailleurs être précisé pour les bassins du NIEBSDODE et de la POGORAYA par une étude de régressions multiples.

Les coefficients d'écoulement annuels oscillent ainsi suivant les années entre 1 et 10 %. Le bassin de NIEBSDODE présente le coefficient d'écoulement le plus élevé des trois bassins grâce à des pentes légèrement plus fortes.

Les volumes écoulés annuels en année moyenne et en année décennale humide sont les suivants :

	B.V. NIEBSDODE	B.V. POGORAYA	B.V. KOULOUOKO
Année moyenne	$0,625 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Année décennale humide	$2,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Le module spécifique moyen sur le KOULOUOKO est ainsi de 1 l/s.km^2 .

Les débits de crues annuelles sont les suivants :

- NIEBSDODE	(21,5 km ²)	-	500 l/s.km ²
- POGORAYA	(82 km ²)	-	250 l/s.km ²
- KOULOUOKO	(1010 km ²)	-	40 l/s.km ²

Les volumes de crues respectifs sont de $0,18 \cdot 10^6$; $0,40 \cdot 10^6$ et $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

On pourrait prévoir, pour la superficie standard de 25 km^2 , pour un bassin type NIEBSDODE: 450 à 500 l/s.km².

Les débits de crues décennales sont les suivants :

- NIEBSDODE	(21,5 km ²)	-	1050 l/s.km ²
- POGORAYA	(82 km ²)	-	900 l/s.km ²
- KOULOUOKO	(1010 km ²)	-	120 l/s.km ²

Les volumes de crues respectifs sont de $0,6 \cdot 10^6$; $1,6 \cdot 10^6$ et $18,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Pour la superficie standard de 25 km^2 , on pourrait prévoir pour un bassin type NIEBSDODE: 1000 l/s.km².

Pour la superficie standard de 1000 km^2 , on pourrait prévoir pour un bassin type KOULOUOKO : 120 l/s.km^2 .

Cette dernière valeur est assez sûre car la faible densité du réseau pluviométrique sur le grand bassin du KOULOUOKO à NIEGHA a été palliée par la pluie exceptionnelle du 18 Août 1962 provoquant une crue plus rare que la crue décennale.

En définitive, la dernière campagne, grâce à sa très forte pluviométrie et à ses nombreuses crues, dont une de faible fréquence, a permis de déterminer les principales caractéristiques avec une précision satisfaisante.

Annexes

ANNEXES

RELEVES PLUVIOMETRIQUES (en mm)

PLUVIOMETRIE de l'ANNEE 1962

Station de BOULSA

Date	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1					4,6		2,6		19,2			
2							4,3	29,5	21,0			
3									18,9	5,0		
4												
5						6,9					1,2	
6					22,6				7,3			
7				7,6			12,6	79,7	5,0			
8					14,0				2,7	19,2		
9							16,4				0,9	
10						15,1		3,2				
11									22,0			
12						48,0	18,0	6,9				
13								5,5				
14							16,8					
15							4,5		27,5			
16				23,0				17,2	37,1			
17							12,9	41,2				
18				7,8				3,1				
19				0,7		17,8		21,0				
20								6,5	25,4			
21							17,5	16,8				
22					0,6			0,4				
23						3,5		10,4				
24								26,0				
25							0,4	1,0	0,9			
26								8,0	25,9			
27								21,3	41,5	1,3		
28						26,6	11,8	4,3	9,1			
29					22,0							
30						20,0						
31							24,7	7,2				
Total mensuel	0	0	0	39,1	63,8	155,4	163,5	312,2	223,3	24,2	2,1	0

Total annuel : 983,6 mm

Nombre de jours de pluie : 66

Bassins Versants de BOULSA

Pluviométrie du 26 au 31 Mai 1962

Date	P _{E1}	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P _{E7}	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P _{E12}
29	6,0	6,5	5,5	6,0	8,5	6,5	24,0	17,5	12,4	7,0	8,5	8,0
Date	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅	P ₁₆	P ₁₇	P ₁₈	P ₁₉	P ₂₀	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	
29	5,5	7,5	22,0	10,0	19,0	59,7	24,4	20,1	54,5	47,5	10,5	

Bassins Versants de BOULSA
Pluviométrie du mois de Juin 1962

Date	P _{E1}		P ₂		P ₃		P ₄		P ₅		P ₆		P _{E7}		P ₈		P ₉		P ₁₀	
	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S
5	25,0		23,5		13,4		13,1		22,4		24,0		60,0		43,0		59,7		62,7	
11	7,5		10,9		8,2		12,4		7,2		10,5		6,0		5,7		7,9		9,5	
13	47,8		57,0		49,4		40,1		32,8		47,5		49,0		57,0		36,3		34,5	
16	14,2		11,5		7,6		5,4		8,0		9,1		10,0		10,0		8,9		8,3	
17	6,0		7,1		7,7		2,6		8,2		8,0		4,5		7,8		5,6		5,7	
19		54,5		52,5		51,6		33,6		36,2		46,0		32,5		42,1		35,3		45,8
22	9,0		7,6		11,6		10,7		13,7		9,5		5,5		8,9		9,8		31,1	
24	8,5		6,7		12,1		8,1		9,5		6,5		3,0		3,7		3,9		2,1	
29	14,0		13,2		20,8		24,4		19,4		10,6		14,0		12,9		15,8		19,6	
Total	186,5		190,0		182,4		150,4		157,4		171,7		184,5		191,1		183,2		219,3	

N.B. P = Pluviomètre Association

P_E = Pluviographe à augets basculeurs

M = Relevés de 19 heures la veille à 7 heures

S = Relevés de 7 heures à 19 heures

Bassins Versants de BOULSA

Pluviométrie du mois de Juin 1962 (Suite)

Date	P ₁₁		P _{E12}		P ₁₃		P ₁₄		P ₁₅	P ₂₃
	M	S	M	S	M	S	M	S		
5	64,4		9,0		44,7		39,5		6,9	40,9
11	6,3		10,5		9,0		7,6		15,1	20,5
13	33,1		6,5		28,2		42,8		48,0	20,6
16	8,7		2,5		8,9		10,7			10,4
17	7,6				5,3		4,2			30,6
19		41,1		13,5		38,3		45,1	17,8	
21										10,7
22	11,1		12,5		13,8		9,2		17,5	10,6
24	3,0		1,5		2,6		6,6		3,5	9,0
29	21,6		20,5		16,3		15,9		26,6	10,8
Total	196,9		76,5		167,1		181,6		135,4	164,1

N.B. P₁₅ = Pluviomètre de BOULSA

P₂₃ = Pluviomètre de NIEGHA

Bassins Versants de BOULSA
Pluviométrie du mois de Juin 1962 (Suite)
(Relevés des pluviomètres totalisateurs)

Date du relevé	P ₁₆	P ₁₇	P ₁₈	P ₁₉	P ₂₀	P ₂₁	P ₂₂	Date des averses
5	46,0	84,5	30,5	44,5	13,9	38,4	16,7	5
11	11,0	7,4	17,5	8,5	6,3	48,8	35,9	11
13	17,6	41,8	52,0	21,3	45,8	26,0	61,0	13
17	7,5	8,4	5,2	14,5	56,9	23,6	5,6	17
19	34,6	23,0	16,1	22,2	17,9	30,5	28,0	19
23	22,2	10,8	23,0	16,7	14,0	15,5	20,5	22
25	0,0	16,0	17,5	10,0	2,1	18,3	25,7	24
Total	138,9	191,9	161,8	137,7	156,9	201,1	193,4	

N.B. - La pluie du 29 Juin a été relevée en Juillet et ne figure donc pas dans le total du mois de Juin.

Bassins Versants de BOULSA
Pluviométrie du mois de Juillet 1962

Date	P _{E1}		P ₂		P ₃		P ₄		P ₅		P ₆		P _{E7}		P ₈		P ₉		P ₁₀	
	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S
1	12,0		13,2		16,6		11,8		9,5		12,0		18,5		10,2		10,0		7,5	
2		3,5		1,7		5,7		5,5		6,0		3,8		3,0		2,1		6,1		14,2
7		17,0		20,0		13,7		16,0		18,6		23,7		18,0		22,6		12,0		14,8
10	30,0		18,0		24,2		22,5		26,8		36,2		41,0		37,8		38,3		16,5	
13	9,0		8,5		10,7		11,0		13,0		8,5		26,5		8,8		10,0		18,8	
15	33,5		46,8		51,3		37,7		52,0		27,5		36,5		36,4		52,9		45,4	
18	18,5		21,1		18,8		14,5		15,2		18,0		24,5		29,6		17,0		17,5	
22	23,5		41,2		24,3		22,9		19,1		52,9		12,5		33,3		39,3		27,4	
24	3,0		9,8		25,5		26,5		10,5		0,8		5,5							
28	14,5		37,8		23,5		22,4		15,1		27,9		38,0		36,0		26,2		19,6	
29	14		14,4		11,1		16,2		12,3		14,7		9,5		8,1		14,7		16,8	
31	30,0													9,0						
Total	208,5		232,5		225,4		207,0		198,1		226,0		242,5		224,9		226,5		198,5	

Bassins Versants de BOULSA
Pluviométrie du mois de Juillet 1962 (suite)

Date	P ₁₁		P _{E12}		P ₁₃		P ₁₄		P ₁₅	P ₂₃
	M	S	M	S	M	S	M	S		
1	8,1		15,0		10,0		10,8		22,6	40,9
2		11,5		11,0		11,1		5,7	4,3	30,6
7		14,7		18,0		12,0		13,9	12,6	40,7
10	36,1		23,0		39,6		37,8		16,4	40,8
13	19,0		21,5		19,1		13,3		18,0	20,9
15	45,4		40,5		75,0		48,5		16,8	40,2
18	20,0		17,5		16,5		16,7		(4,5 le 16) 12,9	4,3
22	24,5		24,0		29,5		36,3		16,8	6,4
24	0,0		2,0		0,0		0,0		0,4 (0,4 le 26)	40,8
28	20,0		15,5		24,4		22,0		21,3	9,0
29	11,9		13,5		14,3		22,8		11,8	
31				21,5					24,7	60,0
Total	211,2		223,0		251,5		227,8		183,5	334,6

Bassins Versants de BOULSA
Pluviométrie du mois de Juillet 1962 (Suite)
(Relevés des pluviomètres totalisateurs)

Date du Relevé	P ₁₆	P ₁₇	P ₁₈	P ₁₉	P ₂₀	P ₂₁	P ₂₂	Date des averses
2	29,2	36,8	30,7	62,5	88,5	116,9	79,7	29 Juin-1 ^o Juillet:
3	48,6	45,5	32,4	29,2	15,4	19,3	20,9	2
8	25,3	13,2	15,2	33,1	53,0	30,8	10,5	7
11	22,1	8,6	3,9	52,9	24,4	33,5	13,2	10
14	56,0	20,7	59,5	58,9	13,5	43,0	73,5	13
16	23,5	41,0	30,2	48,5	60,8	28,7	53,7	15
20	12,2	12,0	10,6	9,3	2,8	15,3	20,1	18
23	8,5	9,8	19,0	7,8	26,5	8,5	7,8	22
26	14,3	18,4	13,8	12,9	14,8	20,8	18,2	24
30	28,5	5,2	13,0	23,0	15,0	10,7	33,9	28 et 29
Total	268,2	211,2	227,3	338,1	314,7	327,5	331,5	

Bassins Versants de BOULSA
Pluviométrie du mois d'Août 1962

Date	P _{E1}		P ₂		P ₃		P ₄		P ₅		P ₆		P _{E7}		P ₈		P ₉		P ₁₀	
	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S
3	46,5		37,8		51,3		54,9		47,5		42,3		33,5		30,6		45,6		34,2	
8	6,0		5,0		11,4		22,4		8,7		3,8		2,0		2,8		5,0		4,9	
11	2,0		3,8		6,2		5,4		15,7		9,8		23,5		10,5		9,3		4,3	
13	4,0		7,6		8,7		9,3		5,0		8,2		7,0		6,5		6,9		15,7	
14	2,5	1,0	3,6	2,0	6,3	3,8	5,1	10,0	9,4	4,2	5,6	2,3	2,5	0,0	6,5	0,0	3,0	1,5	3,5	2,0
16		13,5												14,0						
17	9,0		41,2		14,2		14,9		10,4		13,0		10,5		27,8		19,6		13,5	
18	159,0	10,0	(155)		109,4		(155)		(180)		(175)		205,0		(190)		(200)		(205)	
20	28,0		74,6		31,0		33,1		32,3		68,5		14,5	3,5	19,8		19,0		19,9	
23		10,0		6,4		7,9		13,3		14,8		11,3		15,0		11,8		11,5		10,0
24		22,0	8,9		0,5		8,8		6,3		9,6		14,5	3,0	10,8		11,2		9,9	
25	1,5		8,7		18,4		10,6		17,3		26,9				4,4		27,9		10,0	
26		18,5		17,5		20,3		14,5		16,9		16,8		20,0		12,9		16,6		17,0
28	30,5		33,5		50,0		53,3		47,2		35,1		37,0		33,3		27,4		24,7	
29	31,5		29,8		33,6		28,2		27,9		29,4		15,5		24,1		14,8		6,2	
30		6,0		14,5		9,9		7,0		15,7		14,2		6,0		5,7		6,7		7,8
Total	401,5		(450)		382,9		(446)		(459)		(472)		427,0		(398)		(426)		(389)	

Bassins Versants de BOULSA
Pluviométrie du mois d'Août 1962 (Suite)

Date	P ₁₁		P _{E12}		P ₁₃		P ₁₄		P ₁₅	P ₂₃
	M	S	li	S	M	S	M	S		
3	37,7		36,0		39,8		48,0		29,5	(5,4 ^{1e} 1) 20,7
8	3,2		11,0		6,8		5,7		79,7	10,9
11	6,2		9,0		3,6		9,7		3,2	20,6
13	11,0		14,5		9,3		5,2		6,9	8,3
14	3,2	1,7	4,5		3,5	5,3	3,2	7,4	5,5	20,4
16										30,9
17	14,6		10,5		13,3		16,6		17,2	
18	(205)		196,5		(200)		(195)		44,3	90,9
20	15,1		35,0		22,9		22,5		21,0	9,0
23		15,3		11,5		11,6		6,9	(6,5 ^{1e} 21) 10,4	7,5
24	10,3			22,5		9,8		7,3	26,0	20,7
25	17,7								1,0	9,0
26		18,7		9,0		10,0		14,2	8,0	20,0
28	21,7		31,5		28,2		29,1		41,5	10,6
29	7,2		10,5		7,7		15,8		4,3	
30		9,3		2,0					7,2	30,6
Total	(398)		404,0		(372)		(387)		312,2	315,5

Bassins Versants de BOULSA
Pluviométrie du mois d'août 1962 (Suite)
(Relevés des pluviomètres totalisateurs)

Date du relevé	P ₁₆	P ₁₇	P ₁₈	P ₁₉	P ₂₀	P ₂₁	P ₂₂	Date des averses
6	25,8	11,9	11,5	8,7	12,8	8,3	13,1	3
8	11,0	10,7	34,3	42,5	56,6	56,2	105,8	8
11	15,5	7,4	1,2	1,1	0,5	1,1	4,3	11
15	35,5	38,7	22,5	22,0	31,5	20,5	33,4	13 et 14
17	12,8	29,3	20,5	22,5	27,8	21,5	28,7	17
18	187	219	198	179	181,5	217,5	199	18
27	60,3	80,5	96,9	87,8	106,7	94,6	76,4	20, 23, 24 et 26
31	30,4	18,8	23,2	27,9	24,3	20,8	19,7	28, 29 et 30
Total	378,3	416,3	408,1	391,5	441,7	440,5	480,4	

Bassins Versants de BOULSA
Pluviométrie du mois de Septembre 1962

Date	P _{E1}		P ₂		P ₃		P ₄		P ₅		P ₆		P _{E7}		P ₈		P ₉		P ₁₀	
	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S
1	4,5	24,0	5,5	19,3	2,0	26,8	2,7	21,4	4,8	29,0	2,4	20,8	2,5	15,5	1,0	13,0	11,5	16,0	18,5	12,3
3	34,0		23,0		35,5		27,0		22,0		28,6		23,5		22,2		27,0		35,5	
4	17,5		9,4		13,8		15,6		17,6		20,0		17,0		9,6		9,7		11,7	
6		1,5		1,0		2,2		3,5		3,2		1,3		0,5		0,4		2,2		1,0
7		1,5		5,4		1,7		4,2		4,6		5,6		3,0		1,5		3,1		3,7
11		10,0		15,5		13,2		8,1		5,8		7,5		3,5		5,9		5,4		10,0
16	27,0		30,2		29,4		19,9		29,5		28,3		16,0		18,5		24,0		17,5	
17	17,0		26,8		29,5		18,3		17,5		19,4		30,5		34,8		33,5		35,2	
21	31,0		55,2		37,5		33,5		35,8		31,5		14,5		24,5		28,4		22,3	
24		19,5		9,2		7,3		14,2		6,2		14,5		4,0		7,0		8,7		7,3
27	34,0		26,3		15,5		18,4		24,4		21,3		13,0		17,4		23,1		14,9	
28		19,0												22,0						
Total	240,5		226,8		214,4		186,8		200,4		201,2		165,5		155,8		192,6		189,9	

Bassins Versants de BOULSA
Pluviométrie du mois de Septembre 1962 (Suite)

Date	P ₁₁		P _{E12}		P ₁₃		P ₁₄		P ₁₅		P ₂₃
	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	
1	13,4	15,2	11,0	15,5	16,7	13,3	10,0	15,8		19,2	10,9
3	29,5		22,5		34,0	15,0	39,7	12,4	21,0	0,2	10,7
4	11,5		11,0						18,7		
6		1,2		2,5		1,3		3,1		7,3	7,5
7		2,6		9,5		5,6		2,9		5,0	5,3
9									2,7		10,9
10			5,0								
11		7,0		10,5		12,4		5,9		22,0	4,2
16	20,5		17,5		17,8		19,4		27,5		19,9
17	28,5		27,2		31,5		39,5		37,1		27,5
21	17,9		18,5		21,7		23,2		25,4		30,9
24		6,2		4,5		9,1		7,9		0,9	0,3
27	16,4		38,0		19,2		22,4		25,9	1,3	9,0
28				16,5						9,1	
Total	169,9		209,7		197,6		202,2		223,3		137,1

Bassins Versants de BOULSA
Pluviométrie du mois de Septembre 1962 (Suite)
(Relevés des pluviomètres totalisateurs)

Date du relevé	P ₁₆	P ₁₇	P ₁₈	P ₁₉	P ₂₀	P ₂₁	P ₂₂	Date des averses
4	47,9	38,3	56,4	49,2	39,6	40,8	55,4	1 et 3
8	37,3	48,5	29,7	39,2	46,6	27,4	33,4	6 et 7
17	67,9	69,9	87,5	67,5	82,6	83,7	89,4	11, 16 et 17:
28	43,7	37,9	58,0	49,2	36,6	42,3	34,8	21, 24, 27 et 28
Total	196,8	194,6	231,6	205,1	205,4	195,2	213,0	

Bassins Versants de BOULSA

Pluviométrie du mois d'Octobre 1962

Date	P _{E1}	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P _{E12}
3	4,0	1,0	2,0	3,5	3,0	5,0	9,5	7,0	6,5	10,0	9,5	21,0
8	18,0	-	-	-	-	-	19,0	-	-	-	-	17,0
Total	22,0	-	-	-	-	-	28,5	-	-	-	-	38,0

Date	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅	P ₁₆	P ₁₇	P ₁₈	P ₁₉	P ₂₀	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃
3	-	-	5,0	10,4	9,7	11,3	8,5	10,5	13,7	16,6	7,8
8	-	-	19,2	18,7	20,3	16,9	12,8	17,1	10,4	14,7	26,8
Total	-	-	24,2	29,1	30,0	28,2	21,3	27,6	24,1	31,3	34,6