

COMMISSION SCIENTIFIQUE
DU LOGONE ET DU TCHAD

Service Hydrologique

SUPPLEMENT 1955
A LA MONOGRAPHIE DU LOGONE INFERIEUR

-----oOo-----

I - ETUDES DE CRUES SUR UN
PETIT BASSIN DE LA REGION DE MAROUA

L E B O U L O R E

Novembre 1956

S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
<u>INTRODUCTION</u>	3
A/- <u>DONNEES GEOGRAPHIQUES</u>	4
I- Situation du bassin versant	4
2- Relief	5
3- Géologie	7
4- Pédologie	8
5- Végétation	10
6- Erosion du sol	14
7- Hydrographie	15
8- Erosion fluviale	18
9- Conséquence pour l'écoulement	19
B/- <u>ETUDE CLIMATIQUE</u>	20
I- Installations météorologiques	20
2- Températures	21
3- Humidité	22
4- Régime des vents	23
5- Evaporation	26
C/- <u>ETUDE PLUVIOMETRIQUE</u>	31
I- Le réseau pluviométrique	31
2- Le régime des pluies à MAROUA	34
3- Les types de pluies sur le B.V. ..	35
4- Hauteurs de précipitations et fré- quences en 1954-55	36
5- Irrégularités des averses sur le bassin	41
6- Etude de l'abattement d'une averse	42
7- Fréquences des précipitations classées	45
8- Hyétogramme moyen	45

	<u>Pages</u>
9- Intensités, durées des pluies exceptionnelles	46
10- Calcul de la pluie moyenne sur le bassin	48
D/- <u>ETUDE HYDROLOGIQUE</u>	50
1- Equipement hydrométrique du bassin	50
2- Régime hydrologique des mayos	54
3- Etude qualitative des crues	55
4- Classement des averses et crues ..	56
5- Etude analytique des averses et crues observées	59
6- Etude des crues d'importance secon- daire	63
7- Détermination de l'Hydrogramme uni- taire, type du B.V.	68
8- Les crues maxima de 1954-1955	79
E/- <u>ETUDE DE L'INFILTRATION</u>	82
1- Généralités - Définitions	82
2- Le potentiel d'infiltration du sol	84
3- La capacité d'absorption du bassin	92
4- Détermination de l'averse critique d'écoulement	100
5- Coefficient d'écoulement des crues	103
F/- <u>BILAN HYDROLOGIQUE</u>	107
1- Coefficients d'écoulement men- suels	107
2- Coefficients et déficits d'écou- lement annuels	108
3- Débits solides	110
<u>CONCLUSION</u>	112

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

Les études relatées dans le présent rapport poursuivent plusieurs buts :

Tout d'abord, le recensement et l'analyse systématique des précipitations pluviométriques (hauteurs d'eau, intensité, durée) et des écoulements qui en résultent sur un bassin versant expérimental donné (allure des crues, intensité, importances relatives du ruissellement et de l'infiltration).

Ensuite, à partir de ces documents, essayer de répondre au problème suivant :

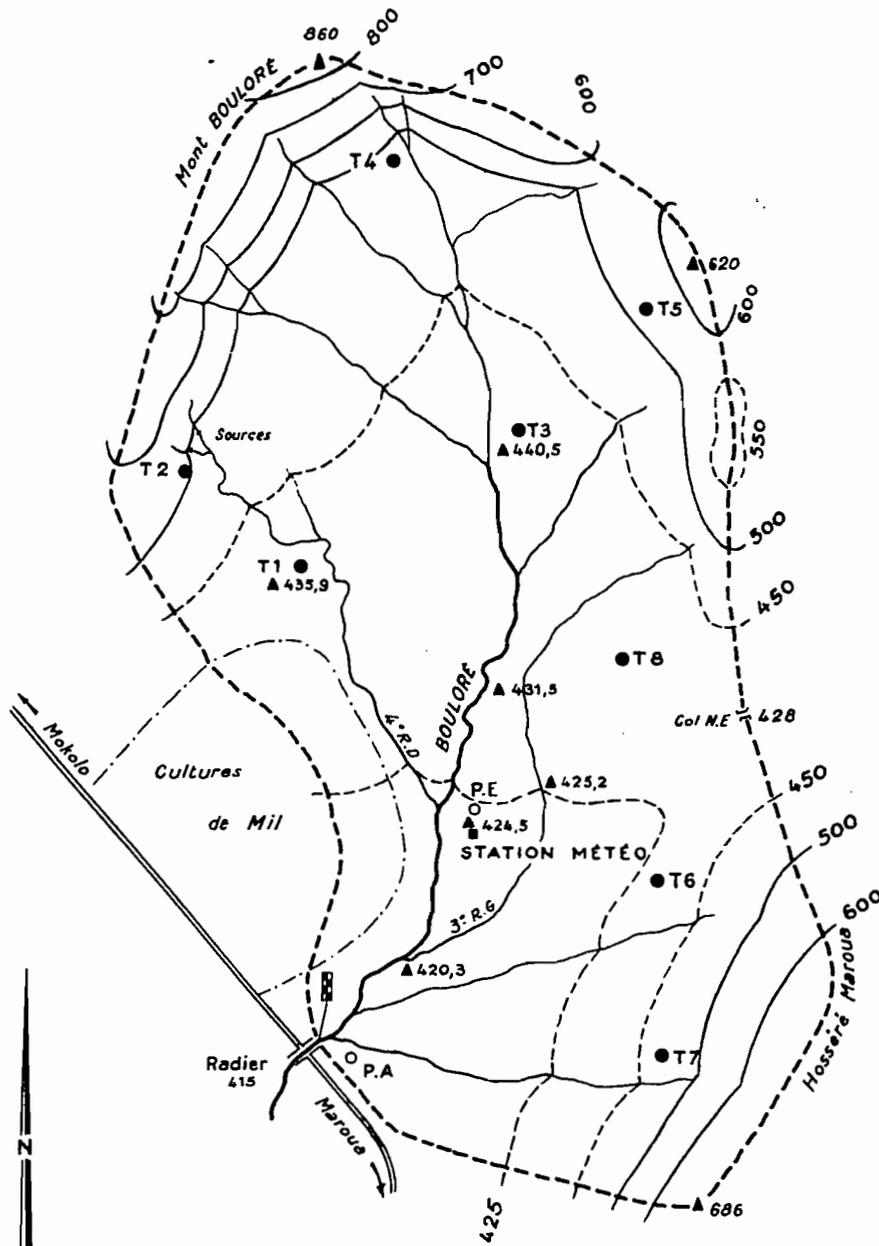
"Etant donné une pluie connue, dans certaines conditions climatiques, quelle crue provoquera-t-elle sur le bassin étudié ? Quels seront le débit maximum, le volume de ruissellement ...?"

Enfin, en s'appuyant sur les résultats obtenus sur le bassin versant étudié et des observations moins poussées sur des bassins voisins, tenter de résoudre des problèmes plus généraux, à savoir : trouver les relations entre une pluie donnée et la crue conséquente sur un bassin versant d'une rivière quelconque, pourvu qu'il soit situé dans une région climatique de caractéristiques semblables à celles du bassin versant étudié, et que les facteurs pente et état du sol soient connus.

Nous allons, en premier lieu, présenter notre bassin versant du point de vue géographique et climatologique, puis nous analyserons l'ensemble des averses et des crues observées au cours des saisons de pluies de 1954 et 1955. Pour ce faire, nous utiliserons la méthode de SHERMAN, dite des "hydrogrammes unitaires", sur laquelle nous donnerons quelques détails plus loin.

A l'issue de la campagne 1954, une mise au net des premières observations a été effectuée. Les résultats obtenus, les premières constatations et hypothèses formu-

BASSIN VERSANT DU BOULORÉ



Echelle: 1/20000

T - Pluviomètre totalisateur

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:	LE: NOV. 56	DES: GROTTARD	VISA:	TUBE N°:	AO
-----	-------------	---------------	-------	----------	----

lées, ont fait l'objet d'une note (1).

Un certain nombre des hypothèses a dû faire l'objet de rectifications, des constatations et des résultats modifiés à la lueur des observations de 1955.

Le présent rapport apporte la conclusion définitive sur ces deux années d'études.

A) DONNEES GEOGRAPHIQUES -

1°) Situation du bassin versant :

Dans la région du Nord-Cameroun, notre choix s'est porté sur la zone montagneuse proche de la ville de MAROUA. L'emplacement du bassin versant est à 5 km. au Nord de MAROUA ; il est situé entre 14°18' et 14°19' de longitude Est, 10°37' et 10°39' de latitude Nord.

On y accède par la route de MAROUA à MOKOLO par le col de MERI.

L'exutoire du bassin versant franchit cette route, par un radier en béton. Le bassin est entièrement situé à droite de cette route ; son entourage de montagnes lui donne l'aspect d'un cirque, mais sa forme réelle s'apparente davantage à un rectangle d'environ 2,5 km de long sur 1 à 1,5 km de large. L'exutoire occupe sensiblement le sommet Sud-Ouest.

Le bassin versant couvre une superficie de 3,75 km², pour un périmètre de 8 km ; de ce fait, son coefficient de forme $K_f = \frac{P}{\sqrt{2} S} = 1,65$.

(1) "Etude des crues sur un bassin de la région de MAROUA (Nord-Cameroun)" parue dans l'Annuaire Hydrologique de la F.O.M. de 1953.

2°) Relief :

La carte du bassin au 1/10.000° (Fig. 1) est l'agrandissement effectué à partir de la carte au 1/100.000° de MAROUA, à l'aide des photographies aériennes.

Le bassin versant est borné sur trois côtés par des montagnes. Seul le côté de l'exutoire, que longe la route, est sensiblement plat.

Le côté Nord-Ouest du bassin est occupé par le Mont BOULORE qui culmine à 860 m., et donne son nom au Mayo (1) qui y prend sa source (Photo n° 1).

Le côté Sud-Est est constitué par le prolongement de l'HOSSERE MAROUA et atteint la cote 686 m. (Photo n° 2).

Ces deux chaînes, sensiblement parallèles, sont réunies sur la face Nord du bassin par une série de croupes ondulées, de 600 m. d'altitude environ, qui, à leur jonction au Nord-Est avec l'HOSSERE MAROUA, donnent un col, point bas du périmètre montagneux, d'altitude 428 m. (Photo n° 3).

Ces trois côtés montagneux ont une forte pente de versant. Au-dessus de la cote 500 m., la pente moyenne est de :

- 1.240 m/km au pied du Mont BOULORE, et de 750 m/km au-dessus de la naissance du quatrième affluent de rive droite, c'est-à-dire 75 à 124 ‰.

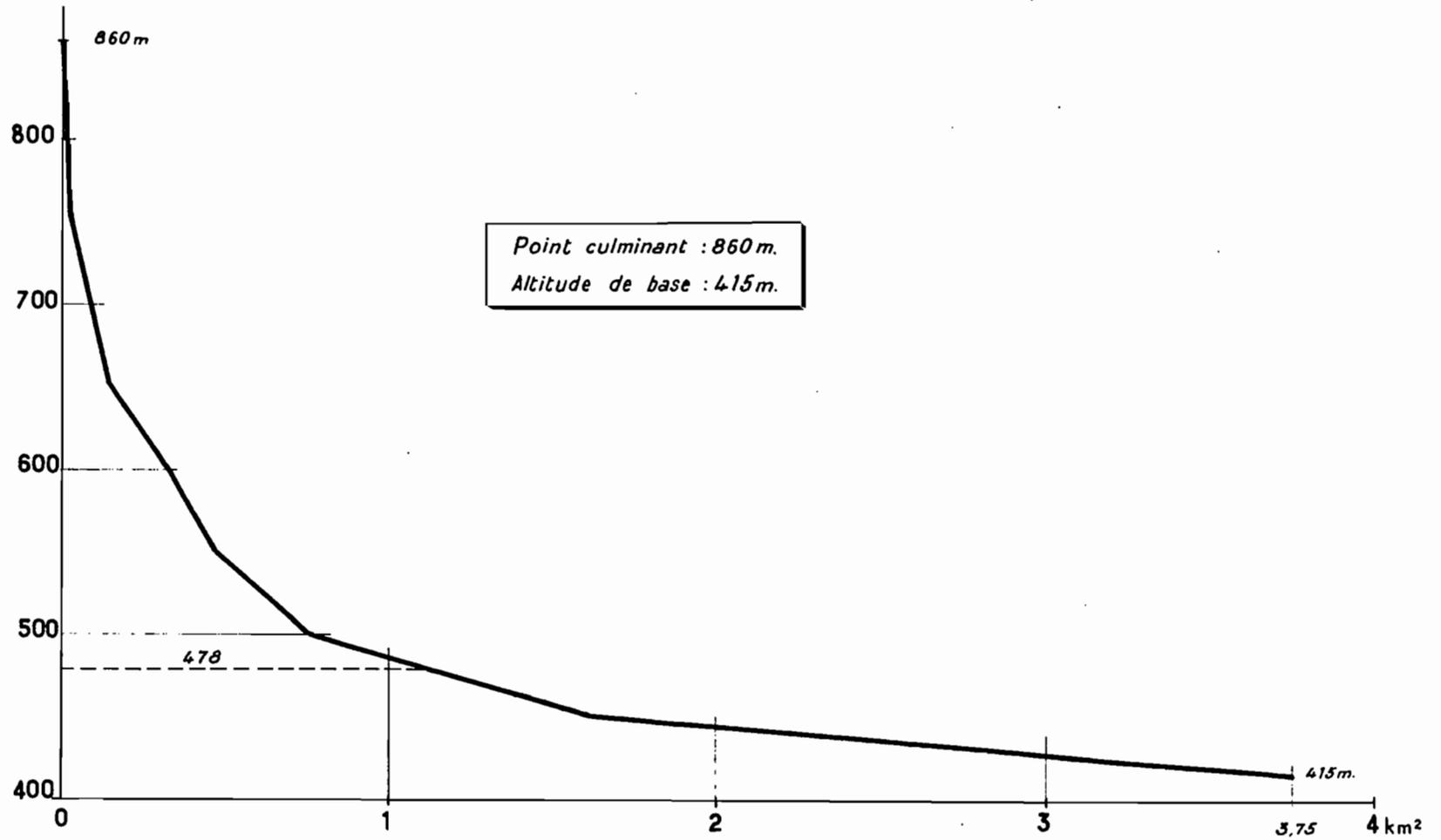
La rupture de pente est nette au pied de ces versants avec la plaine qui occupe la majeure partie du bassin et s'étend, en pente douce, du Nord au Sud, vers l'exutoire.

Les courbes de niveau de la carte au 1/10.000° du bassin ont été déduites de la carte au 1/100.000°.

(1) "Mayo" désigne le cours d'eau en pays Foulbé.

Mayo BOULORÉ

RÉPARTITION HYSOMÉTRIQUE DU BASSIN VERSANT



Point culminant : 860 m.
Altitude de base : 415 m.

ED: _____
LE: NOV 56
DES: GROTTARD
VISA: _____
TUBE N°: _____
AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

Nous avons, par ailleurs, effectué quelques chemi-
nements altimétriques, axés sur les principaux mayos, pour
préciser la pente de la plaine, en dessous de 450 m.

Nous avons pris, comme altitude de base, la cote du
radier déversoir, d'après la carte au 1/100.000° et arrondie à
415 m.

Le tableau suivant donne la répartition hypsométrique
du bassin versant :

Altitude	Surface en Km2	%
Point culminant <u>860</u>	0	0
850	0,005	0,13
800	0,01	0,25
750	0,02	0,5
700	0,07	1,9
650	0,137	3,65
600	0,313	8,35
550	0,46	12,3
500	0,74	19,8
450	1,62	43,2
425	3,10	82,5
Altitude de Base <u>415</u>	<u>3,75</u>	

A partir de la courbe de répartition hypsométrique,
nous obtenons les valeurs caractéristiques suivantes :

- Point culminant : 860 m.
- Altitude de Base : 415 m.
- Altitude moyenne : 478 m.
- Hauteur moyenne du bassin : 63 m.

Le coefficient de pente du bassin :

$$K_p = \frac{dl}{S} = 0,256$$

d = équidistance des courbes de niveau
l = longueur totale de ces courbes.

3°) Géologie :

L'homogénéité de la constitution géologique du bassin versant lui donne une certaine uniformité dans la morphologie externe.

Les roches volcaniques, victimes d'une longue érosion, se présentent à l'oeil sous l'aspect de croupes amollies, aux formes douces et rondes. Parfois, quelques pointements rocheux viennent détruire l'uniformité.

Le bassin versant est situé dans une zone d'émergence volcanique au sein du massif granitique qui couvre, en grande partie, la région montagneuse du Nord-Cameroun. Cette zone réduite apparaît à 15 km au Nord de MAROUA, entoure la ville, et se perd en direction de LORA.

Les produits de décomposition de la roche couvrent le sol ; de nombreux cailloux donnent un aperçu de la roche, très difficile à trouver à l'état intact. Sous la dénomination de roche verte que l'on peut lui donner à priori, apparaissent quelques différences qui permettent de discriminer :

- une roche verte où les cristaux de feldspath et du minéral vert (amphibole ou pyroxène) sont assez différenciés ; on y trouve du mica blanc et parfois d'autres minéraux rares. Cette constitution et son degré de cristallisation permet de la classer comme "andésite".

- une roche vert-noire dont la cristallisation a dû avoir lieu d'un coup : quelques cristaux de mica blanc émergent de la masse à la cristallisation indifférenciée du minéral noir (amphibole, pyroxène ou péridot) ; il doit s'agir d'une micro-andésite ou d'un basalte.

- le fond des mayos laisse parfois apparaître dans les coudes bien érodés une roche schistoïde, complètement délitée, qui s'effrite en poussière dans la main ; il s'agit du premier stade d'altération des roches vertes.

- de nombreux filons de quartz ont laissé des traces sous forme de cailloux ou de galets qui jonchent le sol.

A l'air, ces roches s'oxydent et prennent une teinte marron, couleur terre ; l'importance des cailloux qui jonchent le sol et que l'on trouve à toutes les profondeurs dans ce sol, doit provenir de la décomposition de la roche.

4°) Pédologie :

Résultat de la décomposition des roches volcaniques, le sol du bassin versant est remarquablement homogène. Les seules différences que nous relevons tiendront, d'une part, à l'importance relative des divers horizons, d'autre part, à l'absence locale de certains d'entre eux. L'examen de la géologie, de l'érosion telle qu'elle était et telle qu'elle est aujourd'hui nous montre que, vraisemblablement, les trois horizons, que nous avons distingués, n'ont pas la même origine.

Une origine colluviale a donné naissance au sol superficiel, dont les éléments sont venus là à l'époque jeune des massifs, où le mayo arrachait de gros éléments à la roche pour les déposer sur la plaine.

Dans la plaine, sur la roche en place, mise plus ou moins à nu par l'érosion actuelle du mayo qui reprend le sol primitivement déposé, se forme, actuellement, un sol en place.

Sol d'origine colluviale :

Il comprend du haut en bas :

- un horizon superficiel argilo-humifère :

Il fait souvent défaut ou est si peu épais qu'on le néglige aisément. Alors la végétation, bien que la même, diminue d'intensité et l'horizon inférieur étant plus clair, des taches claires à faible végétation caractérisent donc les zones de carence de cet horizon (en général, à la suite d'une action d'érosion en nappe des eaux de ruissellement). Lorsqu'il existe, il peut atteindre de 10 à 50 cm d'épaisseur ; il est de teinte marron-noir ; c'est un sol lourd dont la teneur en argile doit être importante ; il forme pâte quand on le serre dans la main sans apport d'eau.

- un horizon hétérogène argileux et caillouteux :

Il est l'élément essentiel de ce sol. L'absence réitérée de l'horizon superficiel lui donne une grande importance ; d'épaisseur moyenne de 50 à 60 cm, il peut atteindre 1 m. De teinte marron-rouge clair, son aspect hétérogène lui est fourni par de nombreux cailloux, tantôt en strates, tantôt épars dans tout l'horizon. Ces cailloux

aux arêtes vives, d'un diamètre de 5 à 10 cm, sont les fragments de la roche mère volcanique venus là lors de l'érosion ancienne du mayo (par périodes plus ou moins marquées, correspondant aux strates ?) et que l'on retrouve à la surface du sol mis à jour par l'érosion actuelle (cf. "Erosion").

Sol en place :

- La roche mère se présente sous deux aspects :

- l'aspect sain de la roche volcanique que les apports colluviaux ont protégée de l'érosion ; brune en surface, sa cassure franche montre la teinte verte typique.

- sous son horizon de décomposition, dans le lit des mayos, mise à nu dans les coudes, sur la rive concave, par l'érosion du flot de crue. Elle se présente sous un aspect shistoïde très prononcé ; la teinte générale est brune, elle s'effrite en poussière de petits graviers sous la simple action de la main. Ces petits éléments arrachés par les eaux sont transportés plus loin. Quand elle n'est pas en contact direct avec les eaux de ruissellement, elle donne :

- Un horizon de décomposition argileux :

De teinte jaunâtre, parfois à taches rouges et bleues ; il ne contient pas de cailloux, son épaisseur est variable de la simple couche de quelques centimètres à 30 à 40 cm. Cet horizon est juste inférieur à l'horizon caillouteux du sol colluvial.

Conséquences sur l'écoulement :

Ce sol argileux s'avère peu perméable et ne permettra qu'une infiltration réduite des eaux de pluie et inhibera la possibilité d'une nappe aquifère superficielle.

Sous l'action brutale des tornades, la couche superficielle devient rapidement "mouillante" formant comme un glacié de boue, sur lequel le ruissellement, déjà favorisé par la forte pente du terrain, sera considérable.

5°) Végétation :

La région de MAROUA est située dans la zone tropicale, à 800 mm. de précipitation annuelle moyenne. Les pluies s'étalent de Mai à Octobre. Le reste de l'année est entièrement sec.

Les feux de brousse et les coupes d'arbres non contrôlés ont détruit la forêt sèche primitive pour faire place à une savane clairsemée de montagne, mixte à prédominance d'épineux dans les bas-fonds et de feuillus sur les pentes (Photo n° 4).

- a) Cultures :

La végétation naturelle domine sur l'ensemble du bassin. Une petite portion, sise en bordure Sud-Ouest, de l'ordre du dixième de km², est mise en cultures : le mil alterne avec la jachère.

Après un grossier débroussage par incendie, en laissant les souches des gros arbres, les indigènes sèment le mil en Juin-Juillet, qui sera récolté en Octobre, ou bien repiquent le mil de saison sèche, fin Septembre. Malgré la faible pente, l'érosion est facilitée par la mise à nu du sol sous les tiges de mil.

- b) Végétation naturelle arbustive :

Elle est fort peu abondante et ne couvre que médiocrement le sol. Il faut distinguer, entre la plaine et les versants :

Dans la plaine, la densité arbustive est de l'ordre de 200 à 300 arbustes à l'hectare. Les épineux constituent 90 % environ du peuplement. La famille dominante est celle des acacias, 75 % environ. On discerne les variétés, d'importance décroissante :

Acacia Seyal (A. Stenocarpa
 (A. Scorpioïdes

A. Hebecladoïdes
A. Sieberiana, rare.

Les autres épineux importants sont :

- Ziziphus sp.
- Balanites aegyptiaca.

On trouve quelques types de :

- Commiphora africana
- Combretum sp.
- Annona senegalensis
- Tamarindus indica
- Lannea sp. (Ces deux dernières
- Ficus sp.) espèces, en bordure
- (des mayos.

Enfin, Faidherbia et Callotropis figurent au voisinage des cultures de mil.

La densité arbustive croit progressivement à mesure que la pente augmente.

Sur les versants, elle atteint 800 à 1.000 arbustes à l'hectare.

Le peuplement feuillu est dominant à 75 % et plus varié que dans la plaine.

Par importance décroissante, on rencontre :

- Combretum sp. (la variété *C. glutinosum* est la plus répandue).
- Boswellia odorata (qui devient dominant en approchant des crêtes).
- Commiphora sp.
- Bauhinia (*B. reticulata* dominant)
- Lannéa fructicosa

L'épineux dominant est l'acacia senegalensis.

On trouve quelques cas d' :

- Acacia caffra, var. Campylacantha
- Securidaca longipediculata
- Paupartia birrea
- Prosopis africana
- Cassia alata

Tous ces arbustes ont un faible développement végétatif et leur importance est très réduite dans la lutte antiérosive. Certes, ils maintiennent le sol en place par leurs racines, mais leur faible couvert ne permet pas de freiner les chutes de pluie avant le sol.

- c) Végétation naturelle herbacée :

Les premières pousses suivent les premières pluies de quelque importance de Juin.

Jusqu'à la mi-Août, nous observons la lente croissance du tapis herbacé, qui reste au ras du sol, à quelques espèces près.

La période des floraisons coïncide avec la raréfaction des pluies en fin de saison et peut commencer dès la fin Août.

Les espèces sont peu nombreuses et leurs périodes de floraison se succèdent jusqu'en Novembre, de telle sorte que, à tour de rôle, les espèces semblent dominantes sur le bassin.

En effet, lors de la floraison, la végétation croît brusquement et les tiges dépassent 50 cm, pouvant atteindre 1 m. à 1,50 m. (Photo n° 5).

Les floraisons massives typiques sont celles des :

- Louditia (Aristidée) : 20 Août - 10 Septembre
- Pennisetum : 15 Septembre - 1er Octobre
- Andropogonees : Octobre - début Novembre.

Les graminées constituent plus de 90 % de la flore herbacée. Les espèces très répandues sont :

- Louditia sp.
- Pennisetum : P. pedicellatum
P. subangustum
- Setaria : S. pallidifusca
- Heteropogon contortus
- Telepogon elegans
- Hyparrhenia rufa

On trouve aussi :

- *Dactyloctenium aegypticum*
- *Eleusine indica*
- *Digitaria* sp.
- *Cymbopogon giganteus*

Parmi les non graminées, il faut citer les :

- *Indigofera* et
- Crotalaires, d'une part,

- puis, *Striga hermantica*
- et *Cenchrus biflorus*, parasites des
champs de mil.

Enfin, les *Sesbania*, grandes plantes aquatiques d'un à deux mètres de haut, ont envahi, cette année 1955, le lit du mayo, dans les parties à dépôts alluvionnaires, freinant considérablement l'écoulement.

Cette végétation herbacée paraît, en pleine saison humide, fort impressionnante et, pourtant, son rôle est fort réduit : la densité des graines est, en fait, assez faible, les plantes poussent en hauteur, donnent des tiges d'un à deux mètres. Mais, sous cette fausse couverture, le sol est pratiquement nu ; l'abondance de l'eau à cette période de l'année, permet aux végétaux un système racinaire réduit et superficiel ; le sol n'est donc qu'imparfaitement protégé de l'érosion. Le couvert réduit des arbustes épineux n'améliore pas cette protection du sol. L'érosion sévit avec un maximum d'intensité en Mai-Juin, mais elle se poursuit après : la vitesse des eaux ruisselantes et le débit solide entraîné ne sont que faiblement amortis par cette couverture végétale rudimentaire.

6°) Erosion du sol :

L'érosion qu'ont subi ces roches volcaniques, à leur stade juvénile, par les eaux de ruissellement entraînant vers les points bas les éléments arrachés à la roche, a donné naissance au faciès morphologique qu'il nous est permis d'observer aujourd'hui : croupes amollies, arrondies, couvertes d'une maigre végétation arbustive qui s'accroche à la mince pellicule de sol formée sur la roche en place, laquelle n'est plus guère visible qu'en des pointements isolés ; au bas des versants, une plaine constituée du sol jeune issu de la décomposition de la roche des sommets : aux horizons du sol lui-même se mêle étroitement de nombreux cailloux et fragments de roches, venus là à cette époque primitive où les eaux de ruissellement étaient capables de les charrier.

L'érosion continue de nos jours, plus calme sur le sol et les versants ; le cours d'eau est maintenant l'agent premier d'érosion. Ce qui frappe, à première vue, c'est ce sol couvert de cailloux et où l'examen pédologique révèle un horizon superficiel argilo-humifère pratiquement inexistant (réduit à quelques plaques isolées où la pente est pratiquement nulle) : pas de doute à avoir, c'est l'exemple frappant de l'érosion en nappe, le lent décapage par les eaux de ruissellement des couches superficielles du sol ; le peu d'humus que forme la végétation herbacée de saison des pluies en se décomposant, est vite entraîné à la prochaine saison humide (les premières tornades tombent sur un sol dénudé ; d'ailleurs, la végétation spontanée n'inhibe pas cette forme d'érosion, elle ralentit seulement la vitesse de ruissellement et accroît les pertes par sa consommation propre).

Dès que la pente s'accroît, sur les versants et en bas, aux abords des mayos, des sillons se creusent et l'on passe au stade de l'érosion en rigole ; la rigole grandit vite avec les eaux et sur les pentes, on observe la formation des ravins caractéristiques en "V" d'à peine un mètre carré de section. Toutes les pentes montrent ces ravins d'érosion, pourvus d'une bordure sombre de végétation, qui sont à l'origine des mayos.

7°) Hydrographie :

Prenant naissance sur la pente même du Mont BOULORE, le mayo principal n'est d'abord qu'un ravin d'érosion en "V", d'un à deux mètres d'ouverture en plafond, qui cascade sur les rochers. On peut admettre que ce ravin prend l'aspect d'un lit marqué vers 550 m. d'altitude ; c'est alors un véritable petit torrent dont la pente voisine 30 %, qui sinue au milieu des rochers.

Dès la cote 450 m. atteinte, la rupture de pente est franchie, le mayo entre en plaine. Bien que sinueux et contourné, le mayo BOULORE gardera une direction générale sensiblement Nord-Sud. Il a déjà reçu deux affluents de rive gauche, d'égale importance. Son lit atteint, maintenant, deux à trois mètres de large ; les berges sont encaissées d'environ 0,50 m.

Entre 450 et 440 m., il reçoit deux gros affluents de rive droite, drainant comme lui le BOULORE, aux lits en "V" de quelques deux à trois mètres de large.

A partir de 440 m., la pente s'adoucit encore ; le lit s'élargit par places ; il est encombré de nombreux cailloux (Photo n° 6).

Il côtoie, quelque temps, le troisième et principal affluent de rive gauche. Ce dernier descend des croupes voisines du col Nord-Est et subira deux gros changements de direction. Il descend d'abord le versant, droit sur le mayo BOULORE ; arrivé à moins de 10 m., il oblique brutalement et retourne à l'Est pour revenir vers le BOULORE en empruntant le thalweg du col. De ce fait, il aura une pente moyenne de 23 m/km., soit la moitié de la pente des autres cours d'eau.

A la cote 425 m., le mayo BOULORE reçoit le quatrième et principal affluent de rive droite, qui draine toutes les eaux des contreforts Nord-Ouest du BOULORE. Cet affluent est le seul dont la naissance s'accomplit par deux sources voisines de 50 m., à 490 m. d'altitude, alimentées en pleine saison des pluies par une nappe perchée qu'un banc rocheux force à surgir.

Jusqu'au radier, le mayo BOULORE va longer, sur sa rive droite, à quelque 200 m., la limite Ouest du bassin. Il reçoit alors les eaux qui descendent de l'HOSSERE MAROUA, par les quatrième et cinquième affluents de rive gauche, aux lits de deux mètres de large.

Avant le radier, le mayo BOULORE a un lit de sept à huit mètres de large, plein de cailloux, de toutes dimensions. Les berges distantes de douze à quinze mètres, hautes de 1,50 m. environ, font transition avec le lit caillouteux, par des banquettes enherbées, submergées lors des grosses crues.

Le tableau, ci-après, résume les variations des profils en long du Mayo BOULORE et de ses deux principaux affluents :

Profil en long du BOULORE

Points	Altitude	Δ m	Dist. m.	Dist. cumulée	Pente m/km.
<u>Mayo BOULORE</u>					
Début réel vit.	550				
1er affluent RG.	480	70	250	250	280
Cote	450	30	350	600	86
T 3	439,5	10,5	400	1.000	26,2
Cote	430,6	8,9	700	1.700	12,7
Confluent 4 RD	423	7,6	600	2.300	12,7
Confluent 3 RG	417,6	5,4	450	2.750	12
Radier	<u>415</u>	2,6	380	<u>3.130</u>	6,8
Pente moyenne : $\frac{135}{3.130} = 43 \text{ m/km.}$					
<u>Affluent 4 RD</u>					
Source	490				
Cote	450	40	200	200	200
T 1	435	15	350	550	43
Confluent	<u>423</u>	12	950	<u>1.500</u>	12,6
Pente moyenne : $\frac{67}{1.500} = 44,5 \text{ m/km.}$					
<u>Affluent 3 RG</u>					
Début du lit	455				
Cote	430,9	24,1	550	550	44
T 8	425,2	5,7	300	850	19
Confluent	<u>417,6</u>	7,6	750	<u>1.600</u>	11,1
Pente moyenne : $\frac{37,4}{1.600} = 23,4 \text{ m/km.}$					

Comme nous l'avons dit, à l'exception du troisième affluent de rive gauche, la pente moyenne est de 40 à 45 m/km. Après avoir dévalé les versants avec des pentes de 20 à 30 %, dans la plaine, les mayos suivent la pente du terrain, soit environ 12,5 m/km.

Le graphique N° 3 rassemble les profils en long de tous les mayos importants du bassin.

8°) Erosion fluviale :

Dès qu'il atteint la rupture de pente au bas du versant, le mayo a son lit rempli de cailloux. Ces cailloux, aux formes plus anguleuses qu'arrondies, présentent, sous leur aspect brun, la même constitution que la roche volcanique. Ils proviennent manifestement des dégradations des berges dues à l'action érosive du mayo ; il ne semble pas que le ruissellement soit capable de transporter vers les lits les cailloux laissés à nu par l'érosion en nappe du sol, leur nombre en est la preuve. Les eaux du mayo ont, en effet, une force érosive considérable : les berges de la rive concave, verticales, hautes de un à deux mètres, avec leurs cailloux à moitié dégagés de leur gangue de terre, et leurs sommets surplombant le lit, prêts à s'y effondrer, en portent le vivant témoignage (Photos n° 7 et 8). Parti du ravin d'érosion en "V" original, le mayo atteint vite en profondeur la roche-mère qui, bien que sous l'aspect schisteux délité que nous lui connaissons, reste plus dure à attaquer que les berges de terre ; le profil en travers du mayo, dès la plaine, est en "U", la largeur prenant de plus en plus d'ampleur, sans que les berges suivent.

Le profil en long, succession de mouilles et de maigres, est ici frappant, dans ce mayo toujours à sec entre les tornades. Si les transports solides semblent limités aux éléments fins (limons, sables, graviers), les cailloux du lit subissent néanmoins un brassage perpétuel lors des crues. Le mayo zigzaguant les dépose en masses énormes sur ses rives convexes où ils constituent de véritables barrages (Photo n° 9), surplombant la mouille de la rive concave de, parfois, un mètre de haut, et se raccordant en pente douce avec la rive convexe proprement dite. Ces barrages doivent se déplacer peu à peu vers l'aval au fur et à mesure de l'avance de l'érosion sur la berge concave associée et subir à chaque crue des remaniements

locaux. La rive concave est occupée par une mouille avec la roche à nu ; ces mouilles se détachent difficilement de la berge en fin de concavité, aussi sont-elles séparées par des biefs importants, prolongements des barrages de la rive convexe (Photo n° 10). En saison des pluies, ces mouilles sont des mares d'eau plus ou moins permanentes suivant l'écart des pluies ; leur remplissage est nécessaire avant que l'écoulement se produise. Ce phénomène est général dans toute la zone des roches vertes.

Nous avons essayé, en 1955, d'évaluer l'importance de l'érosion due au mayo. Nous nous sommes attachés à déterminer le débit des matières en suspension dans la masse liquide, lors des crues. Quelques prises de débits solides ont donc été effectuées : nous en rendons compte au chapitre des volumes écoulés, dans la partie F : "Bilan Hydrologique".

9°) Conséquences pour l'Écoulement :

Les facteurs géographiques, que nous venons de passer en revue, semblent bien vouer le bassin versant aux forts ruissellements.

C'est d'abord le sol, argileux, peu perméable qui, sous des pluies d'intensité moyenne, sera rapidement saturé et mouillant ; cela d'autant plus que la végétation arbus-tive n'est pas susceptible de faire écran aux gouttes de pluie. Celles-ci frapperont le sol et ruisselleront sans gêne, entraînant de nombreuses particules solides. Comme nous le verrons, seule la période de floraison de la fin Août à la fin Septembre apportera un certain frein au ruissellement par l'ampleur de sa végétation herbacée.

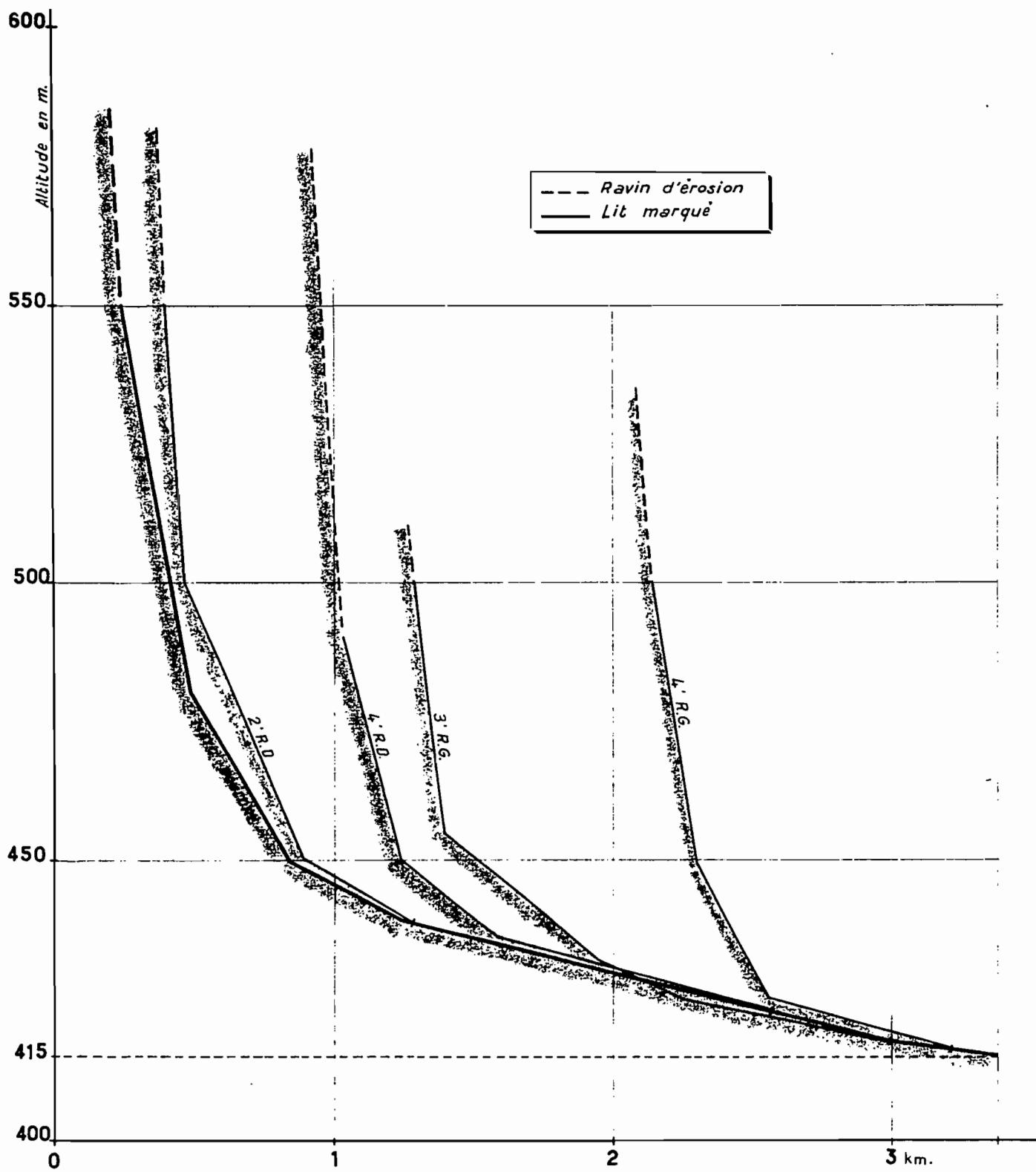
Le très fort relief des versants et la pente encore accentuée de la plaine (12 à 13 m/km) sont encore favorables au ruissellement dont la vitesse doit être grande.

Enfin, la particularité du lit, qui nécessite un certain remplissage de ses mouilles avant de libérer les flots de crue, fera de ces derniers un événement brutal et violent.

On peut donc s'attendre à des ruissellements nombreux entraînant des écoulements de crues brutaux, à la montée très rapide, à une forte vitesse des eaux et à un débit solide important.

Mayo BOULORÉ

PROFILS EN LONG



ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:	LE: NOV. 56	DES: GROTARD	VISA:	TUBE N°:	AO
-----	-------------	--------------	-------	----------	----

B) ETUDE CLIMATIQUE -

1°) Installation météorologique :

Nous ferons abstraction, dans cette partie, de la pluviométrie, qui sera étudiée à part.

Une station météorologique fut installée en 1954, à une vingtaine de mètres sur la rive gauche du mayo BOULORE, à proximité du confluent avec le quatrième affluent de rive droite.

L'ensemble des appareils ayant pour but la détermination des facteurs influant l'évaporation, cette installation devrait plus exactement s'appeler "Station évaporométrique".

Elle comprend :

- un abri renfermant : un évaporomètre PICHE
un psychromètre
un thermomètre à maxima et minima, type NEGRETTI.
- une girouette
- un bac d'évaporation enterré, type COLORADO, en eau libre. Il est situé hors de l'influence microclimatique du lit du mayo et de son encaissement, et bien exposé aux vents.

Cette station a fonctionné du 1er Juin 1954 au 1er Novembre 1954, puis du 1er Mai 1955 au 15 Juin 1955. A cette date, nous l'avons supprimée pour les raisons suivantes :

- L'éloignement de la station, à plus de 5 km de MAROUA, n'a jamais permis d'obtenir des relevés réguliers à heures fixes. Les lectures matinales se trouvaient décalées vers 7 h. 1/2, celles du soir avancées à 17 h., l'observateur indigène redoutant fort de se trouver dans ces montagnes en périodes nocturnes.

- Ces quelques mois d'observations nous ont permis de vérifier la similitude normale des facteurs climatiques entre le bassin et la station de MAROUA-AGRICULTURE.

- S'il existe une petite variation microclimati-

que, elle est due à la situation en cirque du bassin. En saison des pluies, l'humidité plus élevée, les vents plus faibles (seule la face Sud est, en effet, ouverte aux vents, partout ailleurs, ils rencontrent des obstacles montagneux les déviant partiellement) seront cause d'une évaporation légèrement inférieure, en principe, à celle de MAROUA.

Par contre, en Octobre, préfiguration de la saison sèche, l'excès de température doit renverser le phénomène.

Nous avons donc conservé, à l'emplacement de la station, et jusqu'au 1er Novembre 1955, uniquement le bac COLORADO, pour analyser ces écarts possibles.

Nous allons examiner successivement les différents facteurs (température, humidité, vents) influant sur l'évaporation, avant de dire un mot des résultats d'évaporation sur bac d'eau libre et sur la végétation.

2°) Températures :

Nous nous limiterons volontairement à la période des observations hydrologiques (1er Mai - 1er Novembre).

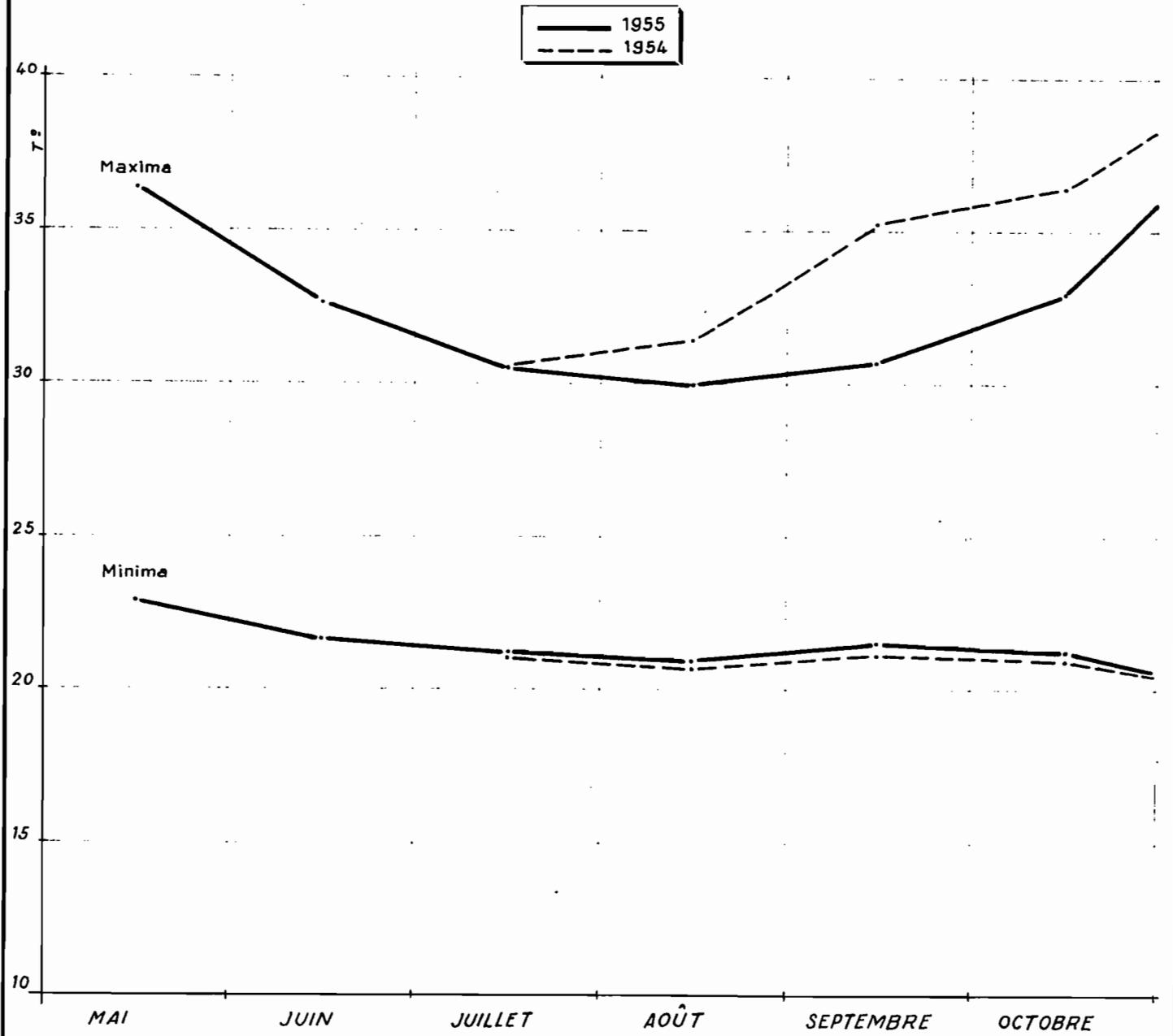
MAROUA a un climat tropical pur ; les températures varient régulièrement de la saison sèche à la saison des pluies. En regardant le graphique n° 4, donnant les moyennes mensuelles des maxima et des minima, on observe :

- d'une année sur l'autre, la variation suit le même sens et les valeurs semblables - sinon égales - pour les minima s'écartent, parfois, pour les maxima. En effet, à un mois de Septembre sec ($35^{\circ} 4$) de 1954 s'oppose un mois pluvieux en 1955 ($30^{\circ} 6$). Seule la plus ou moins grande pluviosité d'un mois peut causer ces écarts.
- les températures décroissent régulièrement depuis Mai - mois le plus chaud ($34^{\circ} 6$ max. et $22^{\circ} 9$ min.) - jusqu'à 30° et 21° environ pendant les mois de Juillet-Août. La remontée des températures maxima est nette dès Octobre. Par contre, les minima descendent toujours vers les périodes froides de Novembre-Décembre (moins de 20°)
- l'écart, entre températures maxima et minima, réduit à 9 à 10° en pleine saison des pluies, augmente considérablement en Mai et Octobre (15 à 18°).

Mayo BOULORÉ

TEMPÉRATURES

Moyennes mensuelles des maxima et minima à MAROUA

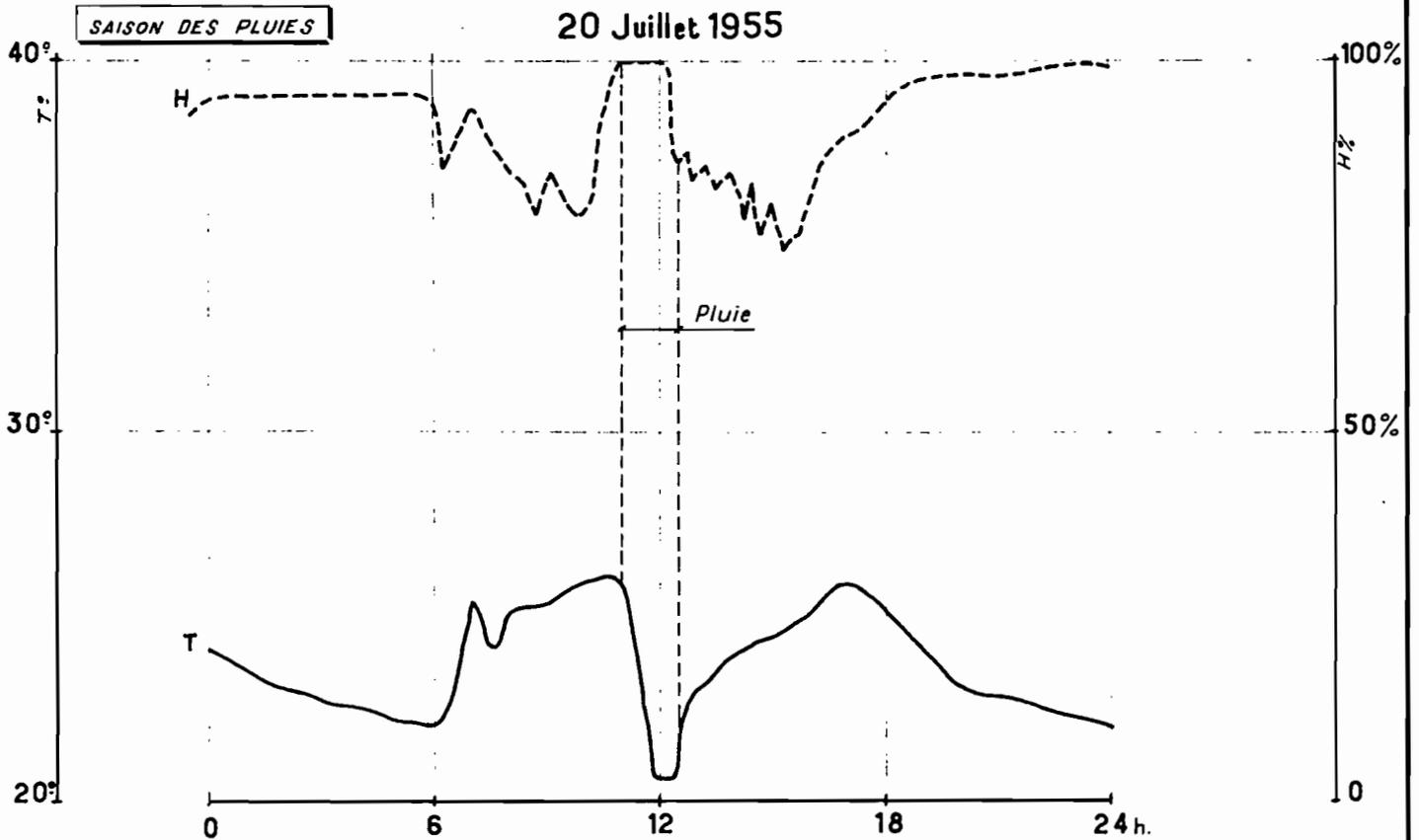
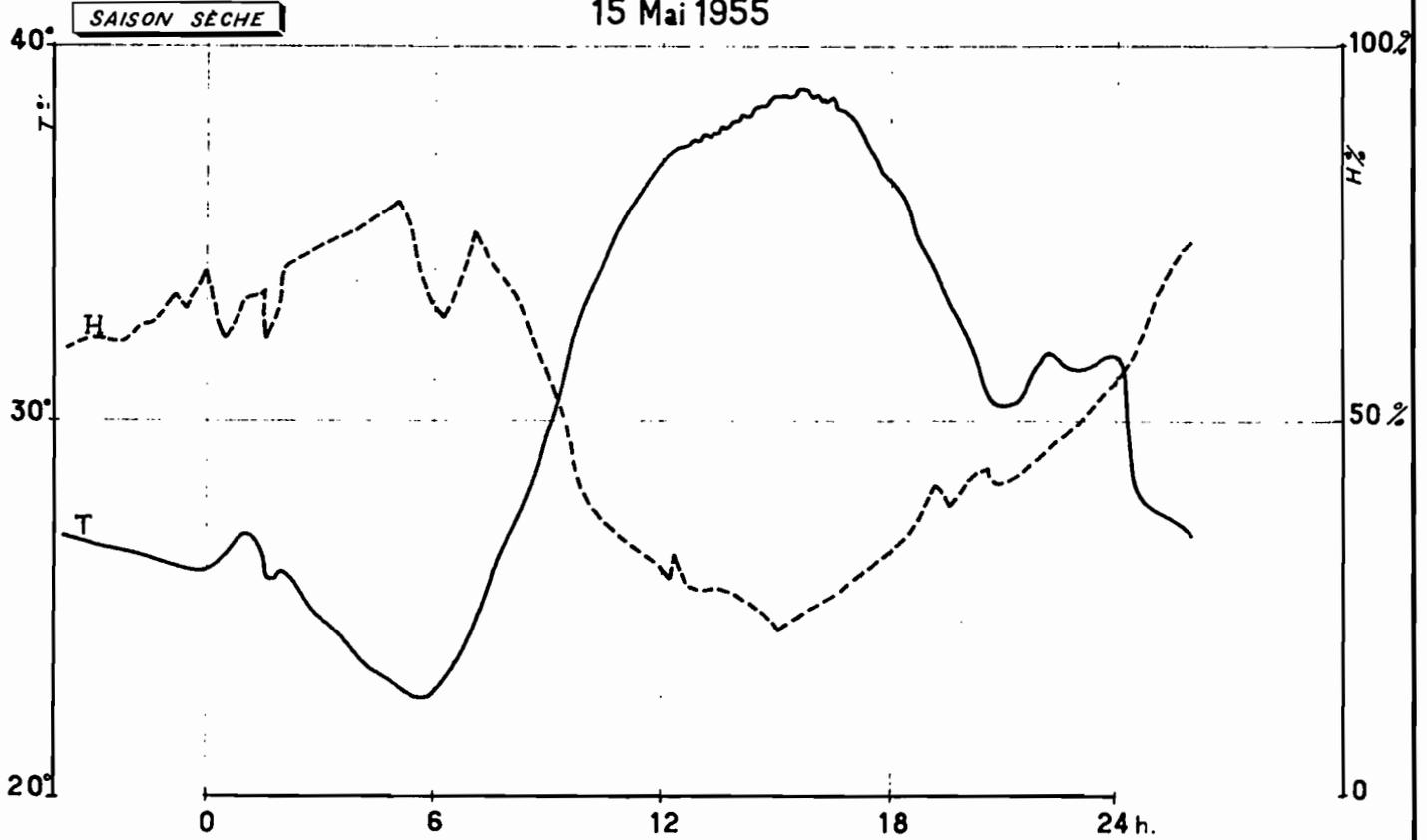


Mayo BOULORÉ

Gr. 5

Variations journalières température-humidité

15 Mai 1955



ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: NOV 56

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

- les variations journalières de température sont mises en évidence par le graphique N° 5. Le contraste est vif entre le 15 Mai - journée de saison sèche typique - et le 20 Juillet - journée avec pluie, en pleine saison.

On notera, en Mai, la courbe en cloche avec minima de 6 h. du matin, suite à la baisse régulière de la nuit, suivit de la montée brutale jusqu'au maximum de 16 h.

Par contre, en Juillet, les variations sont très amorties ; cependant, une averse se signale fort bien par une chute brusque de température en quelques minutes (26 à 20° 5) ; les averses déforment complètement l'allure de la variation journalière.

3°) Humidité :

Le graphique N° 6 donne les variations des moyennes mensuelles d'humidité relative prises à 6 h., 12 h. et 18 h.

On notera :

- la variation dans le même sens ; croissance de l'humidité de Mai à Juillet-Août, puis à nouveau sèche dès Septembre.
- l'humidité relativement élevée de 6 h. (75 à 90 %), alors que 18 h. est nettement plus sec et plus proche en valeur de 12 h. (30 à 60 %).
- l'écart entre les diverses valeurs varie peu en cours de saison, de 15 à 25 % entre les lectures de 18 h. et 6 h., de 5 à 15 % entre celles de 18 h. et de 12 h.
- que l'humidité varie en raison inverse de la température. Cela est encore plus net si l'on reprend le graphique N° 5 où les courbes de variations journalières de température et d'humidité relative sont juxtaposées.

Le 15 Mai - journée sèche - les écarts sont énormes ; l'humidité passe de 70 à 80 % la nuit, à 20 et 30 % en pleine chaleur de 12 à 16 h.

Les courbes du 20 Juillet montrent bien l'apparition de l'averse par un décrochement brutal de l'humidité qui passe de 80 à 100 % en quelques minutes. Ce décrochement est aussi brutal que celui de la température ; ils coïncident bien, comme, d'ailleurs, toutes les autres variations journalières.

En cette saison de pluie, l'humidité reste entre 80 et 100 %, sauf une courte période de 11 h. à 16 h., quand il n'y a pas de grains en prévision.

4°) Régime des vents :

- a) Direction :

La configuration en cirque du bassin doit gêner le passage normal des vents et provoquer une certaine distorsion de la rosace des fréquences. Si l'entrée Sud est largement ouverte aux vents, toute la zone Nord oppose la barrière montagneuse aux masses d'air sec du N-E ; seul, le col N-E permet une pénétration facile à ces vents.

En fait, les relevés de direction n'étant pas continus, mais effectués à 6 h., 12 h. et 18 h., ne peuvent pas donner d'excellents résultats. Les sautes de vent sont fréquentes en saison des pluies ; aussi, ces trois relevés journaliers ne donnent-ils qu'un aperçu de la direction des vents. Les deux tableaux ci-après donnent ces relevés effectués à 1,50 m. du sol, à MAROUA, pour 1954 et 1955.

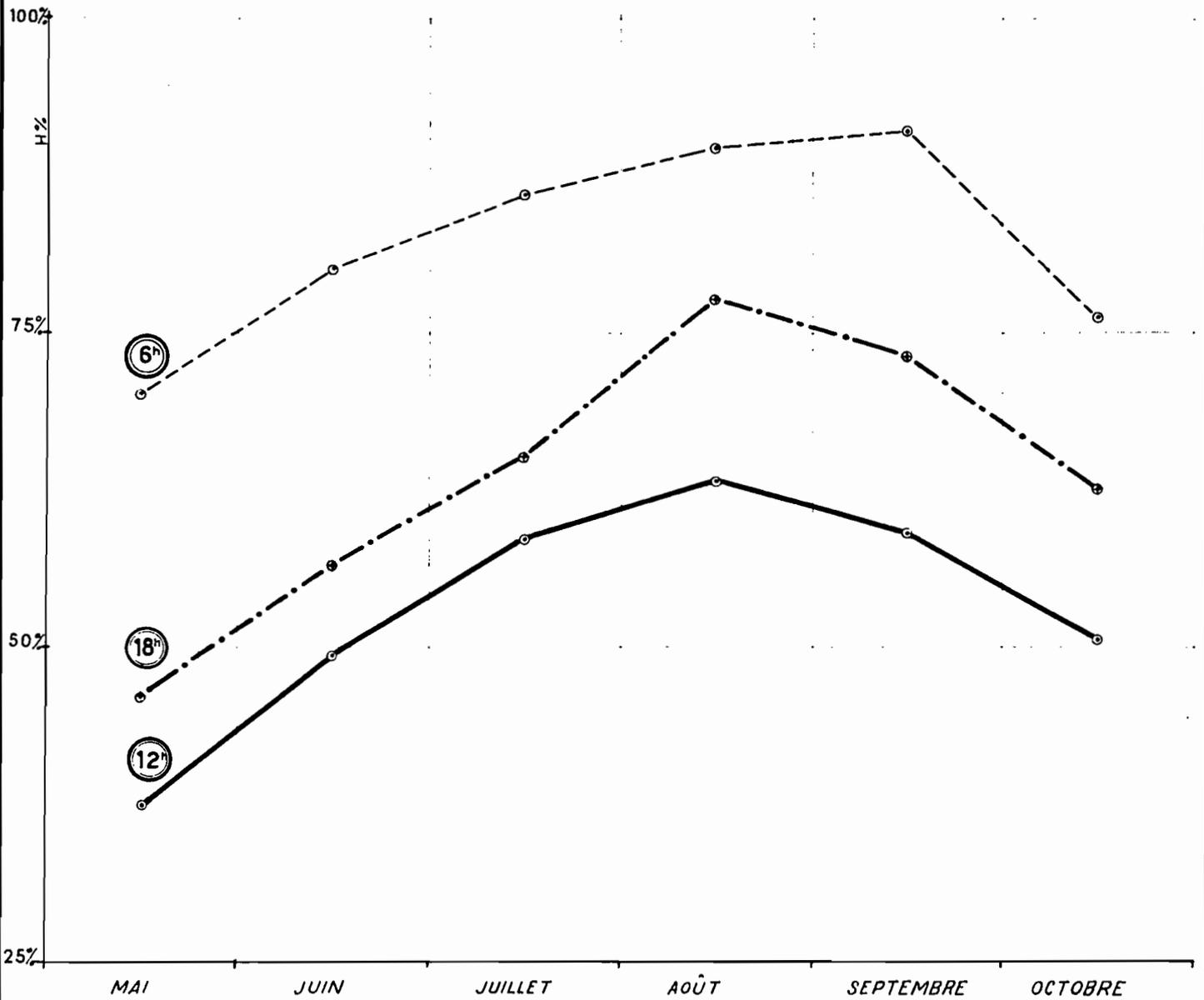
Direction des vents

Mois	Secteur N-E	Secteur S-E	Secteur S-W	Secteur N-W	% des vents W
<u>1954</u>					
Juin	11	3	19	41	81 %
Juillet	10	3	47	15	81
Août	4	5	43	17	87
Septembre	16	17	18	13	48
Octobre	19	22	6	10	28

Mayo BOULORÉ

HUMIDITÉ

Moyennes mensuelles - MAROUA 1955



ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: NOV. 56

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

Mois	Secteur N-E	Secteur S-E	Secteur S-W	Secteur N-W	% des vents W
<u>1955</u>					
Mai	30	13	22	23	51 %
Juin	12	15	32	28	69
Juillet	10	19	32	27	68
Août	5	15	38	35	79
Septembre	27	15	23	25	53
Octobre	26	14	23	28	56

A raison de trois relevés journaliers, on possède 90 relevés mensuels (déduction à faire des périodes calmes, sans vent).

Plusieurs constatations s'imposent :

- Nous avons classé les vents suivant les deux axes dominants (N-E air sec - S-W air humide, caractéristiques de la zone tropicale continentale).

- Les variations d'importance relative des divers secteurs sont les mêmes chaque année.

- Les vents du secteur W sont dominants avec la forte période de pluviosité. Par contre, le pourcentage de ces vents est très irrégulier de 1954 à 1955. Cela tient sûrement à la discontinuité des mesures journalières.

- En Mai, fin de saison sèche, les vents N-E sont dominants. Le passage se fait peu à peu au secteur W en passant par le Nord, de telle sorte, qu'en début de saison des pluies (Juin), les vents N-W sont dominants.

- La saison des pluies bien installée, les vents dominants sont de secteur S-W et sont passés au S-E pour les masses d'air sec.

- Le retour au régime de Mai se fait dès Octobre.

- b) Vitesse des vents :

Les relevés effectués à 6 h., 12 h. et 18 h. donnent ici aussi (à l'anémomètre à main RICHARD) des résultats peu représentatifs.

Toutes les vitesses ainsi enregistrées (vitesse moyenne prise sur 100 secondes), pour 90 %, sont inférieures à 2 m/s.

En fait, toutes les pointes de vent sont escamotées, sauf si la mesure coïncide avec elles, c'est-à-dire pour la période des pluies, avec le début d'une averse.

Heureusement, à quelques 200 m. de la station météorologique de MAROUA, le Service du Génie Rural effectue des relevés continus des vitesses de vent à 15 m. du sol, avec un anémomètre enregistreur RICHARD.

Les résultats de ces mesures sont portés dans le tableau suivant donnant les vitesses classées, en mètres par seconde, pour 1955 :

Mois	V > 3 m/s. Durée	V > 4 m/s. moyenne par 24 h.	V > 5 m/s.	V maxi- ma jour- nalière > 10 m/s	V maxi- mum maximo- rum
Mai	9 h.40'	4 h.10'	1 h.25'	7 j.	15 m/s.
Juin	11 h.24'	4 h.39'	1 h.10'	10 j.	15,10
Juillet	6 h.30'	2 h.	0 h.36'	8 j.	12,80
Août	8 h.35'	2 h.30'	0 h.48'	5 j.	13,5
Septem.	7 h.07'	2 h.	0 h.38'	8 j.	12,8
Oct.	8 h.40'	2 h.50'	1 h.10'	6 j.	15,2

- Plus de 50 à 75 % de la journée, la vitesse du vent est inférieure à 3 m/sec. (10 km/h).

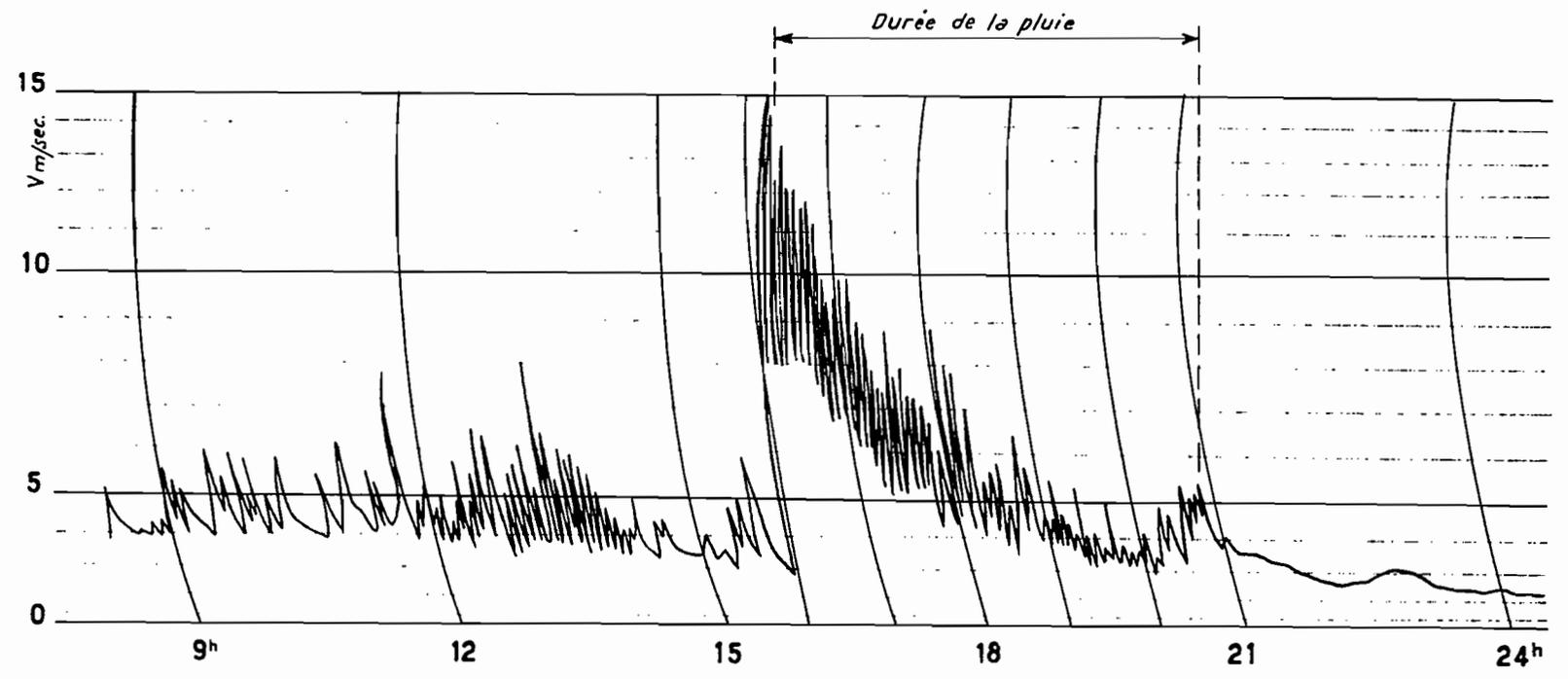
- Les vents sont nettement plus calmes en Juillet, Août, Septembre avec 7 à 8 h. de vitesses supérieures à

Mayo BOULORÉ

VARIATION DU VENT PENDANT UNE AVERSE

4 Mai 1955

ED: ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER
LE: NOV. 56
DES: GROTTARD
VISA:
TUBE N°:
AO



3 m/sec. contre 9 à 12 h. en Mai ou Octobre.

- La vitesse maximum journalière excède rarement 10 m/sec. (36 km/h.) plus de 5 à 10 fois par mois.

- La vitesse maximum maximorum n'est pas très élevée : 15 m/sec., soit 55 km/h. environ. Bien que les tornades sèches et les débuts d'averses voient de très gros vents, ces vitesses n'ont rien d'exceptionnel.

- c) Le vent pendant une averse :

Le phénomène est rigoureusement le même à chaque tornade sèche ou averse. Le graphique a toujours la même allure (Cf. graph. N° 7).

Le vent assez fort - 5 m/sec. - plusieurs heures avant l'arrivée du front du grain, monte brutalement à quelques 10 à 15 m/sec. La valeur maximum correspond au passage du front, la vitesse va, ensuite, décroître sans cesse en moyenne. Mais, en fait, les sautes de vent, tant en vitesse qu'en direction, vont se produire plusieurs fois par minute.

Le vent N-E amène le grain : dès le maximum de vitesse en Août, en quelques minutes, la pluie se déclenche. Le vent va sauter du secteur N-E au S-W, variant de plusieurs m/sec. à chaque fois.

La pluie achevée, le calme complet (1-2 m/sec.) s'installe aussitôt.

5°) Evaporation :

- a) Facteurs influants :

Nous venons de voir que température et humidité variaient en raison inverse ; l'évaporation suit l'allure de la courbe de température. En fait, l'amortissement des variations pendant la saison humide réduit fortement l'évaporation : de plus de moitié.

Les vents N-E, charriant les masses d'air sec,

favorisent l'évaporation, mais, vu la faiblesse des vitesses, nous ne pensons pas que ce facteur soit influant.

Pendant une averse, la température baisse brusquement et l'humidité plafonne aux abords de 100 %, l'évaporation est très réduite sinon négligeable.

- b) Evaporation sur eau libre :

Les résultats sont décevants en saison des pluies : en effet, la correction de pluviométrie n'est jamais exacte. Si la pluie est inférieure à 10 mm., la correction est aisée ; au delà, sujette à caution. En effet, la surface du bac (1 yard carré) est nettement supérieure à celle du pluviomètre, d'une part ; d'autre part, la proximité (10 cm.) du sol du rebord du bac permet le remplissage par rebonds sur le sol des gouttes de pluie. La connaissance exacte de l'eau de pluie tombée dans le bac nécessiterait un pluviomètre de même forme et même installation que celui-ci.

En Août et Septembre 1955, nous appuyant sur le fait que l'évaporation est négligeable pendant une pluie, le bac fut recouvert à chaque pluie. La correction était supprimée.

Mais la valeur d'évaporation pour une journée de pluie reste variable de 1 à 3 mm. par jour, aussi ne peut-on pas généraliser cette hauteur systématiquement à tous les jours de pluie.

Faute de mieux, l'évaporation des jours de pluie fut prise égale à la moitié de la moyenne bi-mensuelle des jours sans pluie.

Le tableau, ci-dessous, donne les résultats des années :

Mois	1954		1955	
	H. mm.	Moyenne minima /j.	H. mm.	Moyenne minima /j.
Mai			291,5	9,4
Juin	140,9	4,7	218,2	7,3 (1)
Juillet	113,3	3,6 (1)	176,7	5,7
Août	88,6	2,9	137,9	4,4
Sept.	124,2	4,1	138,3	4,6
Oct.	207,5	6,7	220,2	7,1
	674,5	4,4	891,3	5,9

Ces résultats sont fort différents d'un an à l'autre. Il semble que l'éloignement du bac, bien que clôturé, ne permette pas d'éviter la consommation d'eau par les troupeaux de bovidés ou les bêtes sauvages : ces résultats sont sujets à caution, d'autant plus que les valeurs obtenues à MAROUA sont fort comparables entre elles.

Mois	1954		1955	
	H. mm.	Moyenne minima /j.	H. mm.	Moyenne minima /j.
Mai			258,3	8,3
Juin	183,3	6,1 (1)	185,8	6,2
Juillet	134	4,3	139,3	4,5
Août	104,6	3,4	71,4	2,3 (2)
Sept.	132,4	4,4	76,2	2,5
Oct.	176,3	5,7	209,4	7
	730,6	4,9	682,1	4,5

- (1) Chiffres obtenus avec correction hypothétique pour jours de pluie.
(2) Chiffre précis obtenu avec couverture des bacs.

Le mois de Mai mis à part, tous les mois sont fort semblables d'un an sur l'autre.

La seule différence notable : faiblesse d'Août et Septembre 1955, nous semble systématique et due à la couverture du bac pendant la pluie, ce qui tendrait à prouver que l'attribution de 50 % de l'évaporation des jours secs est trop forte pour les jours de pluie. Si Juin et Octobre sont peu atteints par cette variation, Juillet doit avoir une évaporation inférieure à 4,5 mm/jour, à notre avis de l'ordre de 3 à 3,5 mm.

- c) Evaporation sur sol enherbé :

Trois bacs COLORADO enterrés ont été installés à MAROUA, à proximité du bac en eau libre. Pleins de terre sur 30 cm., recouvrant 20 cm. de sable et graviers pour assurer la répartition de la nappe d'eau dans tout le bac, ils ont été ensemencés en plantes variées (Voscia, Hypparhénia, variétés dominantes).

Dans le bac n° 1, le niveau de l'eau H est à + 0,10 m. du sol ; dans les bas II et III, les niveaux de l'eau et du sol coïncident ; le bac II contient du sol du bassin versant, le bac III du sol limoneux de berge du mayo TSANAGA.

Les résultats sont corrects en saison sèche, mais, en saison des pluies, ne pouvant ôter de l'eau, le niveau de la nappe n'est jamais fixe, aussi aucune mesure n'est-elle possible. Vu la végétation, il faudrait essayer de couvrir par une grande toile, à 1 m. du sol, les trois bacs pendant les chutes de pluie.

Voici les moyennes d'évaporation journalières en mm/j. :

<u>1955</u>	Bac en eau libre mm/j.	Bac n° I H = + 0,1	Bac n° II H = 0,0	Bac n° III H = 0,0
Janvier	6,5	4,1	3,6	3,8
Février	7,3	6,2	4,8	5,4
Mars	10,9	14,5	12	11,6
Avril	11,8	15,6	11,9	9,2
Mai	8,3	11,6	9,6	7,5
Juin	6,2	9,7	8,3	7,5

L'évaporation des bacs II et III est très légèrement supérieure à celle du bac en eau libre. En Janvier et Février, la végétation était très faible, on pouvait admettre le sol nu.

La différence n'est guère sensible du bac II au bac III pour deux sols assez différents dans leur teneur en argile, le bac II correspondant au sol le plus argileux.

Le bac I évapore de 25 à 50 % de plus que le bac en eau libre. La conjugaison de la végétation et de l'eau donne, en effet, une surface évaporante énorme pour un yard carré de bac. C'est le cas des marécages, "yaérés" et autres zones inondées pendant les pluies.

Il semble que le sol nu, s'il est assez sec, évapore nettement moins que l'eau libre (Janvier-Février sur les trois bacs).

L'évaporation du bac I doit aussi diminuer en saison des pluies, mais rester, cependant, à quelque 25 % au-dessus de l'eau libre.

Ces résultats sont bien sommaires et demandent à être vérifiés et approfondis par de nombreuses autres observations.

C) PLUVIOMETRIE -

1°) Le réseau pluviométrique :

Malgré la petite superficie du bassin versant, la présence de versants montagneux différemment exposés, formant plus ou moins écran aux nuages et influençant le régime local des vents, était susceptible d'engendrer une certaine diversité dans les précipitations. Aussi, un réseau assez dense de pluviomètres fut-il installé.

Trois types d'appareils furent employés :

- a) Un pluviomètre enregistreur à siphon RICHARD. D'abord doté d'un tambour à rotation de quatre jours, jusqu'au 17 Juillet 1954, il reçut ensuite un tambour de 48 heures, jusqu'au 19 Août. A cette date, le vol de pièces de l'enregistreur arrêta son fonctionnement. En 1955, il fut équipé d'un tambour de 24 heures (12 heures serait préférable) sur lequel l'enregistrement d'une pluie et des variations d'intensité devenait plus lisible et réduisait les erreurs de dépouillement.

Bien que l'appareil donna satisfaction dans l'ensemble, il faut signaler la fragilité du système de siphonage qui, s'encrassant facilement, stoppait la course du stylet tronquant les enregistrements.

Cet enregistreur était placé à la station évaporométrique.

- b) Un pluviomètre ASSOCIATION, placé à 100 m. du radier de la route. Des relevés fréquents, en cours d'averses, nous ont permis, surtout après le 19 Août 1954, d'obtenir un certain enregistrement de la pluie.

- c) Des pluviomètres "Totalisateurs", destinés à mesurer l'eau en des points éloignés. Le bassin versant étant dénué de voies de pénétration normales, il nous sembla difficile de joindre tous les pluviomètres avec certitude, après chaque averse. Nous dûmes employer un récipient susceptible de contenir un certain volume d'eau, lequel devait être exempt d'évaporation.

Nous employâmes, d'abord, des demi-fûts d'essence (diamètre 60 cm., hauteur 45 cm.). Malheureusement, les autochtones avides de fer les volaient tous.

Ils furent remplacés par des récipients en béton, coulés dans un moule à buse (D = 50 cm., H = 30 cm.). Une couche d'huile de quelques millimètres d'épaisseur inhibait toute évaporation, tout au moins pendant la saison des pluies. Nous avons observé, en Octobre, une baisse du niveau dans les récipients, baisse qui peut être imputée soit à l'évaporation superficielle due à une forte chaleur et à l'insolation, soit à l'évaporation par les parois en béton. Quoi qu'il en soit, cette perte était insignifiante pendant les pluies.

La construction, à l'aide du moule à buse, laissait un bord de 6 cm. d'épaisseur aux récipients. Un effet de bord notable était à craindre. Une étude systématique entre l'un de ces totalisateurs et un pluviomètre ASSOCIATION, côte à côte, sur plus de vingt tornades, a permis d'évaluer cet effet de bord. Les coefficients obtenus étaient assez variables, depuis 0,40 à 0,92.

En fait, les valeurs très faibles, inférieures à 0,70, correspondent à des pluies de moins de 10 mm., où la lecture au mètre gradué peut manquer de précision.

La valeur médiane de ces observations est de 0,71.

Sachant que la surface de réception intérieure de chaque bac est de 1.965 cm² et que la surface de la paroi en béton est de 1.055 cm², le coefficient ne peut être inférieur à :

$$\frac{1.965}{1.965 + 1.055} = 0,65$$

Dans quelques cas, toute l'eau tombant sur la paroi est supposée ruisseler dans le bac.

En fait, en examinant les différents cas de pente du sol sur lequel est placé le bac et le sens du vent pendant la pluie, il semble que la moitié de l'eau tombant sur la paroi doive ruisseler vers l'intérieur, l'autre moitié vers l'extérieur. Ceci semble assez juste. Le coefficient

de correction serait alors de :

$$\frac{1.965}{1.965 + \frac{1.055}{2}} = 0,79$$

Nous préférons prendre ce coefficient plutôt que 0,71, ce qui nous met à l'abri d'une sous-estimation de la pluie toujours dangereuse.

Nous avons donc employé 0,79 en Août, Septembre et Octobre.

En 1955, nous fîmes chanfreiner les bacs et supprimer toutes corrections.

La mesure des hauteurs d'eau s'effectuait sur un repère de la paroi, avec un mètre : la précision obtenue au millimètre était suffisante.

En 1954, nous installâmes huit totalisateurs : T 1, T 2 T 8, couvrant à peu près tout le bassin, comme le montre la carte au 1/10.000°. A quelques exceptions près, nous avons effectué les relevés deux ou trois fois par mois seulement. Les résultats étaient homogènes et semblaient satisfaisants.

Nous avons craint, néanmoins, de laisser passer des irrégularités de chaque averse qui, sur 15 jours, s'homogénéisaient.

Aussi, en 1955, nous avons décidé d'effectuer des lectures après chaque averse. Pour ce faire, il fallait changer la répartition des pluviomètres ; certains (T 2, T 4, T 5), placés sur les pentes, au milieu des blocs rocheux, ne pouvaient être atteints en véhicule.

En effet, ces relevés devant être effectués dans les six heures suivant une pluie, pour éviter tout chevauchement de deux averses, ne pouvaient l'être qu'en véhicule tous terrains (jeep en l'occurrence).

Nous installâmes quatre totalisateurs : T'1 T'4 (d'ailleurs voisins des anciens T 1, T 3, T 8 et T 7) à la rupture de pente des versants ; nous pûmes tracer une piste, au milieu des arbustes et des rochers permettant de joindre ces appareils en voiture.

Les résultats obtenus nous ont confirmés dans l'hypothèse de l'irrégularité, souvent énorme de chaque averse.

2°) Le régime des pluies à MAROUA :

Située au voisinage du 10° parallèle Nord, la région de MAROUA a un climat tropical classique, à une saison des pluies de huit mois de Mai à Octobre et une saison sèche de Novembre à Mars.

La saison des pluies débute par une période d'orages en Mai et Juin, puis, après une petite accalmie, certaines années, inexistante, les pluies s'installent jusqu'à la mi-Septembre. Comme nous le verrons plus loin, l'irrégularité des précipitations est très marquée d'un mois à l'autre.

La répartition mensuelle moyenne, calculée à la station de MAROUA-AGRICULTURE, sur huit années (1948-1955) donne :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	0,1	1,8	8,2	89,6	95,9	180,8	248,2	159,8	32,1	0	0
Total de l'année = 816,4											

Mais, si l'on s'écarte quelque peu de MAROUA, dans un rayon de 50 km environ, les variations de hauteurs d'eau annuelles sont énormes. En effet, MAROUA est placée à l'extrémité Ouest de la grande cuvette tchadienne, au pied du grand massif granitique qui s'étend sensiblement du Nord au Sud, le long de la frontière du NIGERIA.

Les grains en provenance du Nord-Est amènent les nuages sur les versants voisins de MAROUA ; les orages sont balancés d'un mont à l'autre, à travers les couloirs, les vallées ...

La pluviométrie va croissant depuis la plaine (800 mm. environ) en pénétrant vers l'Ouest, dans les montagnes, pour atteindre près de 1.400 mm. à 35 km., au pied de la première chaîne importante du massif granitique (col de MERI).

Ceci est, d'ailleurs, sensible aux portes de MAROUA. Le bassin versant de BOULORE, inclus dans la zone des roches vertes, à quelque 8 km. de la station météorologique de MAROUA-AGRICULTURE, reçoit déjà davantage d'eau.

3°) Les types de pluie sur le bassin versant :

Comme nous l'avons vu dans l'étude du régime des vents, de violents coups de vent rapides précèdent le début de la pluie. Les vents diminuent d'intensité pendant la pluie ; le calme coïncide avec la cessation de la précipitation.

Les chutes de pluie sont des orages violents et courts, surtout en Mai et Juin, alternant, d'ailleurs, avec des "tornades sèches" présentant les mêmes caractéristiques de vent. L'allure des pluies se régularise et s'adoucit au coeur de la saison des pluies (Juillet-Août-Septembre).

Sans obstacle majeur, les vents du Nord-Est amènent la formation majeure ; mais, pendant la pluie, et surtout au début, les sautes de vent Nord-Est à Sud-Ouest sont fréquentes (plusieurs par minute) puis, avec la baisse de vitesse, le vent vire peu à peu au Sud-Ouest.

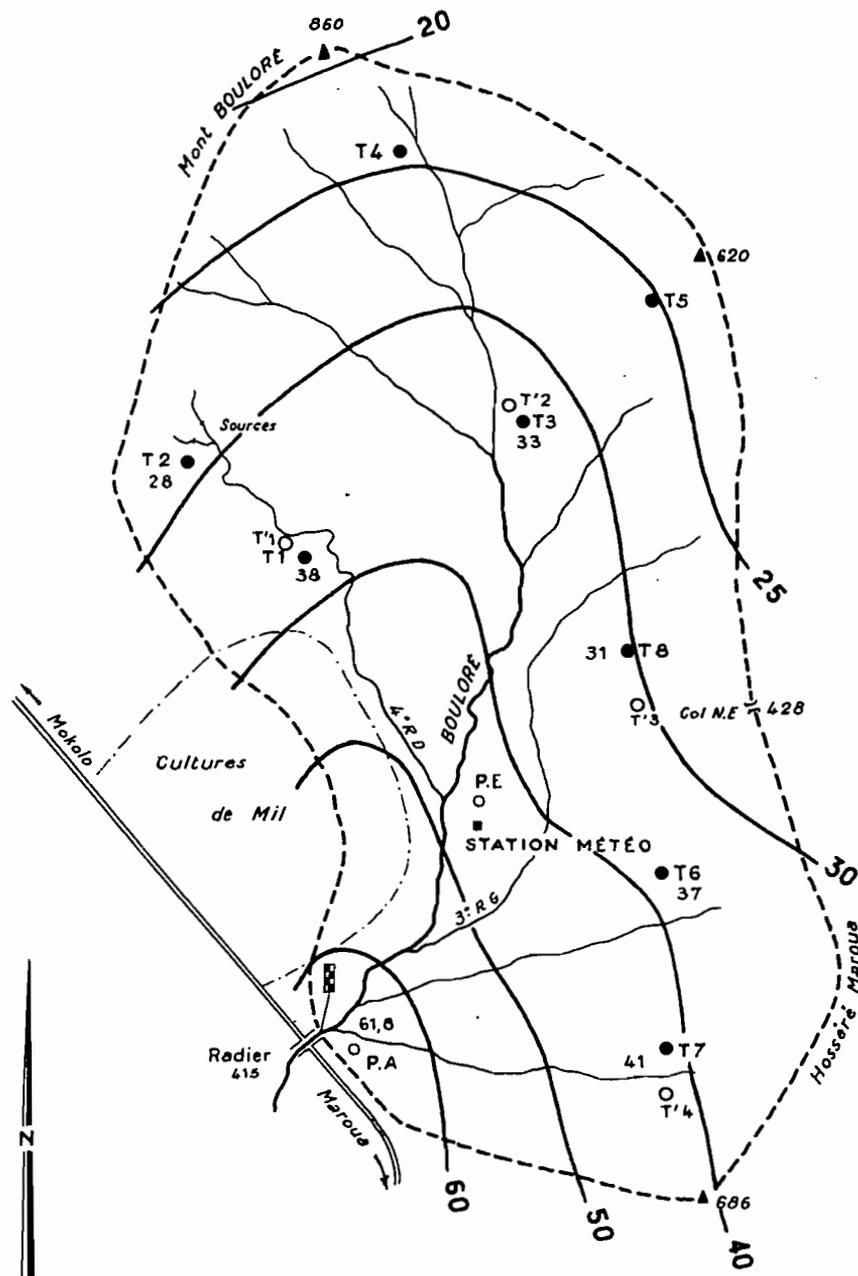
De cet aspect général, modifié par la configuration en cirque du bassin, vont découler les deux types principaux de pluie observés sur celui-ci.

- a) Les vents du Nord-Est trouvent dans le col Nord-Est et les croupes du Nord du bassin une voie de pénétration normale. Les nuages ainsi amenés donnent des pluies, en général, régulièrement réparties sur l'ensemble du bassin, rien ne s'opposant au Sud, à la sortie de la formation majeure. Néanmoins, les nuages ont été accrochés, avant le bassin, par les versants Nord et Est de ses limites, et le centre des averses se trouve souvent à l'extérieur ou, tout au moins, à proximité du col Nord-Est. Si les vents sont faibles, la formation majeure peut-être momentanément stoppée ; la pluie est alors assez irrégulière. (Exemple : averse n° 34 cf. carte des isohyètes)

BASSIN VERSANT DU BOULOURE

Averse n°14 — 1^{er} septembre 1954

Hmoy : 35,4mm.



Echelle: 1/20 000

T - Pluviomètre totalisateur

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: NOV. 56

DES: GROTARD

VISA:

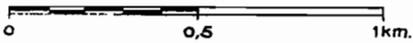
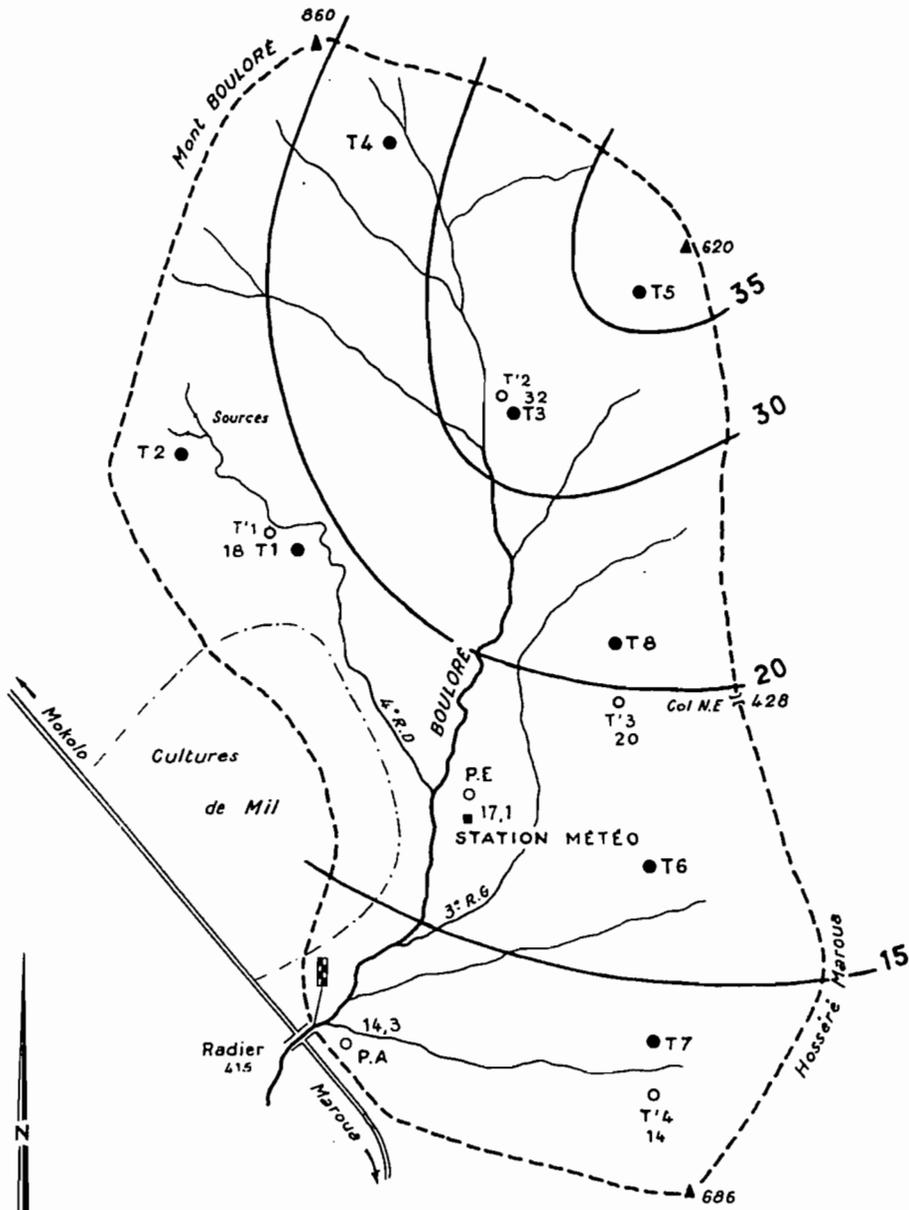
TUBE N°:

AO

BASSIN VERSANT DU BOULORÉ

Averse n° 34 - 28 juillet 1955

Hmoy : 21,4 mm



Echelle : 1/20 000

T - Pluviomètre totalisateur

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:	LE: NOV. 56	DES: GROTARD	VISA:	TUBE N°:	AO
-----	-------------	--------------	-------	----------	----

- b) Si la formation majeure passe plus à l'Est, elle arrivera sur MAROUA. Souvent, elle sera prise dans le couloir du mayo TSANAGA, entre deux montagnes, et les vents au sol du Sud-Ouest pourront alors la rabattre sur le flanc Ouest de l'HOSSERE MAROUA. Les nuages arriveront sur le bassin du BOULORE, soit franchement par la face Sud grande ouverte, soit en longeant le versant de l'Hossere Maroua.

Si les vents au sol sont assez forts, la pluie pourra couvrir tout le bassin régulièrement.

Mais, en fait, et souvent, la formation majeure poussée par les vents du Sud-Ouest s'abrite derrière l'HOSSERE MAROUA. Arrivée dans le bassin, elle reçoit l'influence contraire des vents Nord-Est provenant du col, qui la stoppent dans les limites du cirque. La pluie irrégulière, alors, aura son foyer tantôt vers le radier (averse n° 14), tantôt accroché au versant de l'HOSSERE MAROUA (averse n° 32).

4°) Hauteurs des précipitations & Fréquence des pluies en 1954-1955

Nous avons eu, avec 1954 et 1955, deux années assez typiques du régime pluviométrique.

1954, année pluvieuse (107 % de la moyenne à MAROUA-AGRICULTURE pour 8 ans) avec une répartition mensuelle normale.

TABLEAU des PLUIES en 1954

Pluviomètres	Jun	Juillet		Août		Septembre		Oct.	Période
		1°qzne	2°qzne	1°qzne	2°qzne	1°qzne	2°qzne		Juin- Octobre
P Ass.	56,4	124,9	158,7	124,7	256,4	111,2	10	26,5	869,7
P E	49,3	99,2	123,2	114,7		82,2	12,9	22,3	
T 1				123,5		105			
T 2	59	109	165	108,5		53,7	12,2	20	
T 3	52	100	95	126		64,7			
T 4	61		126	109					
T 5	53	111							
T 6	44	91			186	73,5			
T 7	50	98	119	121	190,5	86	11,1	16,7	692,3
T 8						64	11,1	17,8	
		105	131	116,7	225	74	12,6		
Moyenne mensuelle	53	236		341,7		86,6		19,6	736,9
MAROUA Agricul.	70,9	217,1		328		87,1		40,3	743,4

La pluviométrie moyenne sur le bassin fut calculée par la méthode des isohyètes. Malheureusement, seul le pluviomètre ASSOCIATION eut des relevés réguliers ; le pluviomètre enregistreur eut des pièces volées et ne fonctionna pas en Août et Septembre ; les totalisateurs donnèrent lieu à de nombreux déboires et peu furent utilisables.

Aussi bien la pluviométrie moyenne sur le bassin résulte-t-elle de calculs différents chaque mois et reste précaire comme valeur.

En effet, l'écart avec la hauteur trouvée au pluviomètre ASSOCIATION nous semble un peu fort.

1955 fut, par contre, une année sèche (93,5 % de la moyenne à MAROUA-AGRICULTURE sur huit ans), avec une répartition mensuelle étalée : Juin, Juillet et Septembre assez forts pour un mois d'Août d'égale importance, donc faible vis-à-vis de la moyenne.

TABLEAU des PLUIES pour 1955

Mois	P Ass.	P E	T'1	T'2	T'3	T'4	MAROUA Agr.	H. moy. Bassin
Mai	72,2	70,2	70	84	80	90	60,3	79
Juin	103,7	105,6	104	92	103	113	112,6	101
Juil.	202,4	208,1	163	234	205	223	198,4	210
Août	168	181,4	189	193	194	179	121,3	188
Sept.	205,4	216,2	213	203	220	221	222,7	211
Oct.	40,5	45,7	49	37	47	41	35,3	42,5
Année	792,2	827,2	788	843	849	860	763	831,5

Les relevés réguliers, effectués à chaque tornade, nous garantissent les chiffres obtenus pour les valeurs mensuelles à chaque pluviomètre.

Le graphique n° 8 montre la comparaison entre les hauteurs d'eau mensuelles prises au pluviomètre ASSOCIATION, pour 1954 et 1955. Les valeurs des mois d'Avril - Mai 1954 et Avril 1955 sont évaluées d'après MAROUA-AGRICULTURE.

Rien que sur ces deux années d'observation, nous pouvons remarquer les fortes variations interannuelles tant sur la hauteur d'eau mensuelle que sur le total annuel.

1954 est une année typique, à la répartition mensuelle régulière, montrant la petite saison sèche ou, plutôt, la baisse de fréquence des pluies de Juin. Ce phénomène s'est, d'ailleurs, montré en 1949, 1950, 1951 et 1954 à MAROUA-AGRICULTURE.

Il est curieux de noter que 1955 place son trou de pluviométrie en plein mois d'Août, comme 1953 à MAROUA.

Enfin, remarquons que, sur huit ans d'observations à MAROUA, la hauteur annuelle a varié de 604 mm. (1949) à 1.084 mm. (1951) pour une moyenne de 816,4 mm., ce qui donne des écarts à la moyenne de 26 à 33 %.

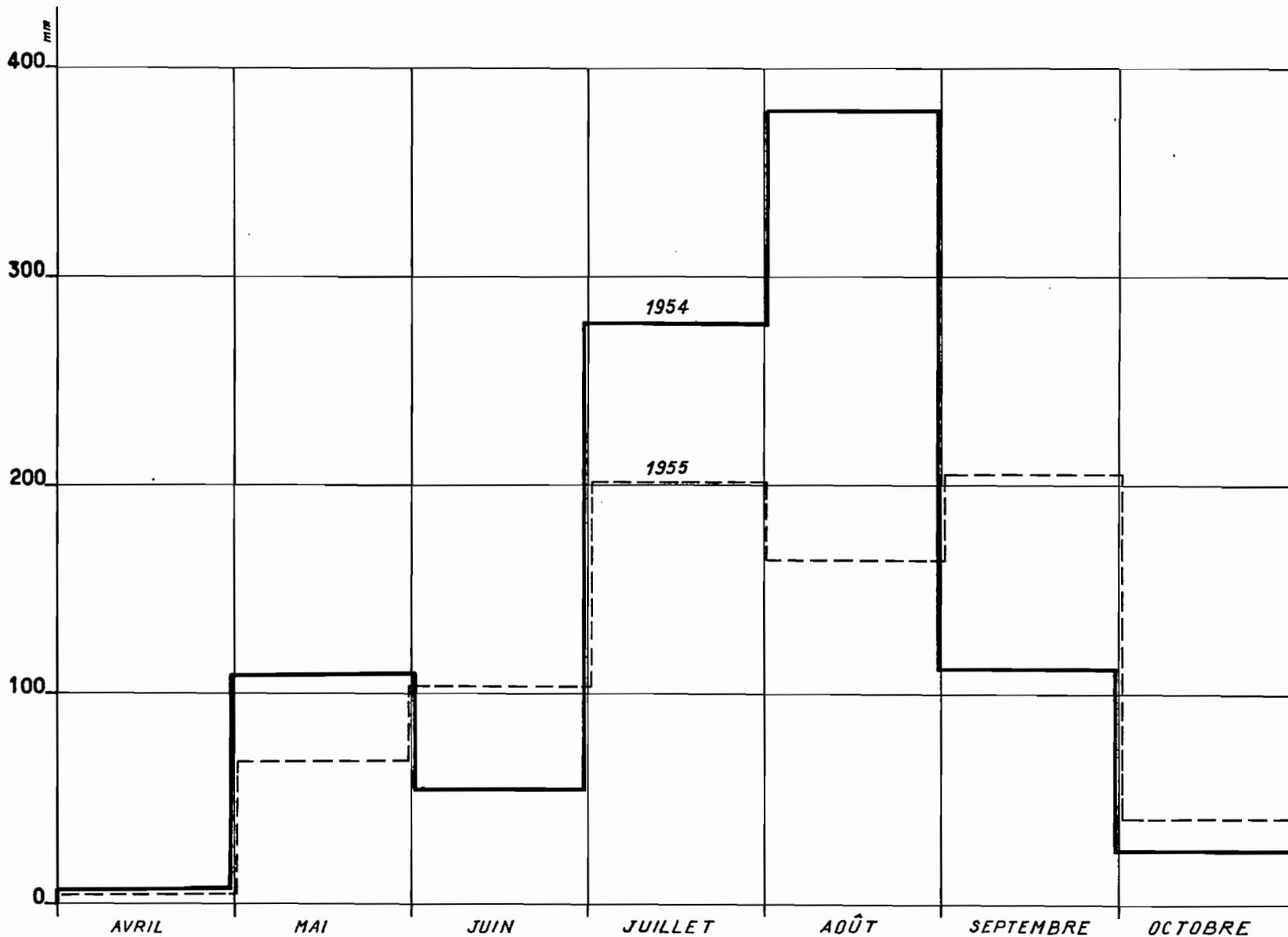
La fréquence des hauteurs de précipitations individuelles est intéressante à examiner.

Voici les deux tableaux pour 1954 et 1955 (pluviomètre ASSOCIATION du BOULORE) :

		1 9 5 4							
		Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sep.	Oct	T.
Nbre jours de pluie:		?	?	8	17	17	10	4	56
Pluies de	0-10 mm.			7	7	4	6	4	28
	10-20 mm.			1	6	4	3	-	14
	20-30 mm.			-	2	6	-	-	8
	30-40 mm.			-	1	-	-	-	1
	40-50 mm.			-	-	1	-	-	1
	50-60 mm.			-	-	-	-	-	0
	60-70 mm.			-	-	2	1	-	3
	70-80 mm.			-	1	-	-	-	1

Mayo BOULORÉ

PRÉCIPITATIONS SUR LE BASSIN VERSANT



ED: ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER
LE: 12-11-56 DES: J. Mélaye VISA: TUBE N°: AO

1 9 5 5

	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Total
Nbre jours de pluie	3	4	12	18	21	12	5	75
Pluies de 0-10 mm	3	2	9	11	16	6	4	51
10-20 mm	-	0	1	4	3	-	-	8
20-30 mm	-	1	2	1	1	3	1	9
30-40 mm	-	1	-	1	-	2	-	4
40-50 mm	-	-	-	-	1	1	-	2
50-60 mm	-	-	-	1	-	-	-	1

Si l'on tient compte du fait que les relevés du BOULORE en 1954 n'ont commencé que le 1er Juin et, qu'à MAROUA-AGRICULTURE, on enregistra 20 pluies en Avril-Mai, de 0-20 mm., on constatera la similitude des jours de pluie dans l'année : 76 et 75.

La répartition des fréquences est aussi régulière.

La chose la plus remarquable est la prédominance des petites pluies inférieures à 10 mm. : elles font plus de 50 % des jours de pluie. Les averses de Mai-Juin, bien que violentes, sont de très courte durée et ne donnent, en général, qu'une faible hauteur d'eau.

Les grosses pluies se produisent en Juillet, Août, Septembre. Les hauteurs maxima journalières observées furent :

79,9 mm. le 17 Juillet 1954
55,4 mm. le 14 Juillet 1955

Il est à noter que, fréquemment, les plus fortes averses peuvent tomber en Juillet.

On voit, immédiatement, que les averses susceptibles de donner lieu à ruissellement doivent être prises supérieures à 10 mm., et que leur nombre n'excèdera guère 30, annuellement.

5°) Irrégularités des averses sur le bassin :

Grâce à la régularité des lectures de 1955, nous possédons la répartition dans l'espace de la pluviométrie de 41 averses.

Comme nous pouvions nous y attendre, les pluies ne sont pas toutes régulières. Pour évaluer le degré d'irrégularité et pouvoir comparer les averses entre elles, nous avons établi le coefficient d'irrégularité :

$$K_i = \frac{H. \text{ max.}}{H. \text{ min.}}$$

rapport des hauteurs d'eau maximum et minimum pour chaque averse.

Les coefficients de 41 averses se groupent ainsi :

Ki > 1	:	41
> 1,5	:	24
> 2	:	14
> 2,5	:	7
> 3	:	5
> 4	:	3
> 5	:	3
> 6	:	1

Les valeurs extrêmes étant :

$$1,1 > K_i > 6,5$$

Les deux tiers des averses ont donc une irrégularité inférieure à 2, ce qui est pourtant important en regard des distances extrêmes sur le bassin, qui n'excèdent pas 3.200 m.

Quatorze averses (le 1/3) ont une irrégularité marquée. Ce sont des pluies, comme nous l'avons vu au paragraphe 3, qui sont restées centrées soit sur le col Nord-Est, soit sur la bordure Sud du bassin, suivant leur provenance.

La pluie la plus irrégulière, le 4 Août 1955, est une faible pluie qui a donné des hauteurs extrêmes de 1,5 et 9,8 mm. pour une moyenne de 3,7 mm.

Il ne semble pas y avoir de corrélation entre ce coefficient K_i d'une part, et les hauteurs moyennes ou maxi-

ma de pluie, d'autre part.

Cette importante irrégularité est certainement due au relief accusé du bassin versant ; quoi qu'il en soit le réseau dense de pluviomètres est une nécessité.

L'irrégularité des averses s'amenuise considérablement si l'on prend les totaux mensuels à chaque pluviomètre.

Les écarts mensuels avec la moyenne restent dans une limite de + ou - 25 %.

Le type de pluie en provenance du col Nord-Est restant le plus fréquent, les pluviomètres T'2, T'3, T'4 sont plus arrosés, dans l'ensemble, que P.A., P.E. ou T'1.

Il est curieux de noter qu'en 1954, le pluviomètre ASSOCIATION semblait avoir donné une hauteur d'eau sans cesse supérieure à la moyenne. Le manque de relevés ne permet pas d'expliquer cette anomalie.

Enfin, notons que les valeurs annuelles, pour tous les appareils sont assez voisines, les écarts à la moyenne étant au maximum de + 4 et - 5 %.

Dans la marche de la formation nuageuse, soit du N-E, soit du Sud, l'irrégularité dans le temps est beaucoup moins marquée, pour une averse donnée, que l'irrégularité dans l'espace.

Les relevés de début de pluie et de variation d'intensité aux pluviomètres ASSOCIATION et enregistreurs ne diffèrent jamais de plus de quelques minutes.

6°) Etude de l'abattement d'une averse :

Nous venons de nous rendre compte de l'irrégularité souvent grande que présentent les différentes hauteurs d'eau relevées aux pluviomètres à chaque averse.

Il serait intéressant d'étudier l'abattement de ces averses. Savoir répondre à la question suivante : étant don-

né une hauteur de pluie H mm., relevée à un pluviomètre, quelle hauteur moyenne admettre pour une surface donnée ? Il va de soi que la surface s'accroissant, l'abattement devient plus important.

En fait, l'étude théorique normale nécessiterait un réseau de pluviomètres suffisamment dense et couvrant une superficie suffisante pour recevoir toute une averse. En partant du point de hauteur d'eau maximum, on déterminerait l'abattement pour des zones concentriques autour de ce point jusqu'aux limites extrêmes atteintes par la pluie.

Il ne peut être question d'un tel travail ici ; nous devons nous contenter d'examiner l'abattement d'une averse, sur un bassin versant donné, c'est-à-dire sur une petite portion de l'aire couverte par l'averse et cela, sans savoir où se trouve le centre maximum réel de la précipitation.

De plus, les limites du bassin, marquées par un relief très rigoureux, "tronquent" la décroissance de la pluie et déforment l'abattement normal.

Néanmoins, effectuée sur un grand nombre d'averses, cette étude doit pouvoir fournir l'allure de l'abattement sur le bassin donné, compte tenu : et du type d'averse, et des limites du bassin.

Nous disposons de 41 averses pour lesquelles ont été déterminées les hauteurs d'eau maxima et moyennes sur le bassin, et le rapport hauteur moyenne sur hauteur maxima, appelé coefficient d'abattement :

$$K_a = \frac{H.\text{moy.}}{H.\text{max.}}$$

Il semble plausible, à priori, d'essayer une corrélation entre ce coefficient et l'un des facteurs le constituant.

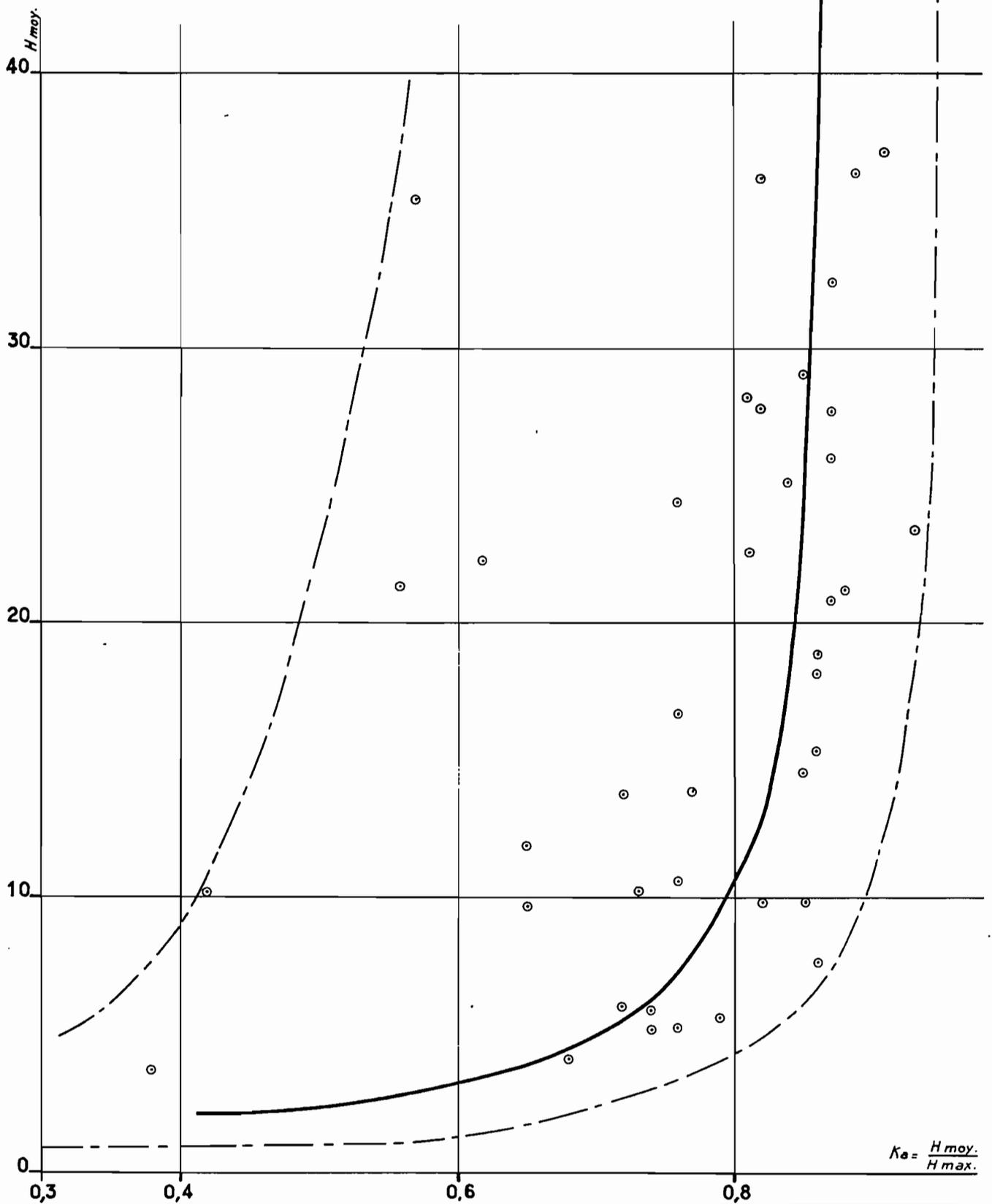
Si l'on examine le graphique n° 9 donnant le coefficient d'abattement en fonction de la hauteur moyenne, on peut dire :

- aucune corrélation simple ne semble exister entre les deux facteurs

Mayo BOULORÉ

Gr. 9

ÉTUDE DE L'ABATTEMENT



$$K_a = \frac{H_{moy.}}{H_{max.}}$$

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: 13-11-56

DES: J. Méryer

VISA:

TUBE N°:

AO

- à l'exception de quatre averses particulièrement irrégulières ($K_i > 3$) pour des hauteurs quelconques, le reste des points est manifestement bien groupé.
- Le coefficient d'abattement semble diminuer avec la hauteur d'eau tombée. Particulièrement variable pour des précipitations inférieures à 10 mm., il devient très régulier par la suite.
- On peut tracer une courbe médiane au nuage de points qui donnerait le coefficient d'abattement le plus probable pour une hauteur moyenne donnée. Cette courbe donne les valeurs suivantes :

$0 < H < 10$ mm.	$K_a \neq$	0,70
$10 < H < 30$ mm.	$K_a \neq$	0,83
$30 \text{ mm.} < H$	$K_a \neq$	0,86

L'étude de l'abattement a, comme application pratique principale, la détermination de la hauteur moyenne de pluie sur un bassin donné, pour une hauteur maxima correspondant à une précipitation exceptionnellement forte, d'une probabilité donnée.

Il peut sembler intéressant, dans certains cas, de se mettre dans les conditions les plus défavorables d'abattement, en prenant la valeur la plus grande du coefficient K_a .

Nous avons donc tracé la courbe enveloppe supérieure au nuage de points. La courbe enveloppe inférieure est d'un intérêt moindre.

La valeur la plus défavorable à adopter serait donc : $K_a = 0,93$.

Ajoutons aux réserves avancées au début de ce paragraphe, que 41 averses sont insuffisantes pour connaître ce problème avec sûreté, étant donné le faible nombre de précipitations supérieures à 30 mm.

7°) Fréquence des précipitations classées :

Il nous a paru utile, après ce paragraphe consacré à l'abattement, de faire un léger aparté afin de déterminer la hauteur de précipitations maxima d'une certaine probabilité.

Nous avons employé la méthode dite des stations-années, qui consiste à réunir un certain nombre de stations météorologiques situées dans une région à pluviométrie semblable et suffisamment éloignées, pour que les hauteurs d'eau, pour une même averse, soient indépendantes.

L'association de dix stations récentes nous permet d'obtenir dix-huit années d'observations. Les deux stations le plus proches, MAROUA-AGRICULTURE et BOULOIRE, sont à 6 Km. : les hauteurs d'eau tombées sont sans rapport entre elles, peut-être grâce aux écrans montagneux qui les séparent.

Les dix stations sont indiquées sur la carte ci-contre n° 10. Aucune n'est à plus de 55 km., en ligne droite, du bassin versant.

Nous avons insisté sur les caractères montagneux du bassin versant, en prenant six stations de montagne pour quatre de plaine.

Les hauteurs de précipitations classées par station sont additionnées pour donner la courbe cumulée (graphique n° 11).

Nous ne pouvons guère rechercher la pluie maxima d'une probabilité inférieure à 1/20.

La pluie duodécennale indiquée est de 115 mm.

En tenant compte de l'abattement le plus probable, observé sur le bassin, on trouvera une hauteur moyenne répartie sur ce bassin de 99 mm., une fois tous les 20 ans.

8°) Hyétogramme moyen :

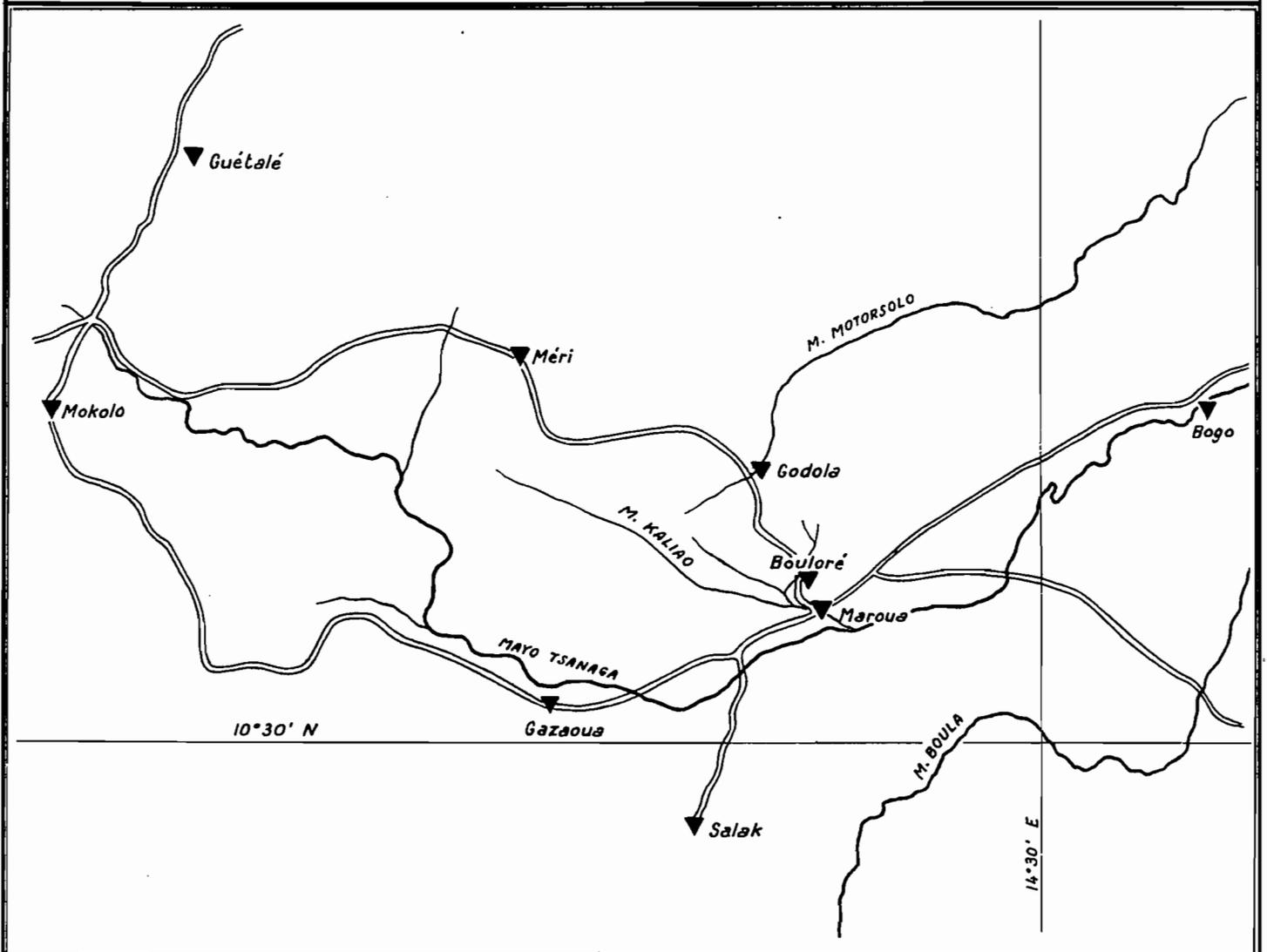
L'examen des intensités et de leurs durées pendant une averse présente une homogénéité certaine.

Le type de pluie est bien le même, à peu de chose

Mayo BOULORÉ

EMPLACEMENT DES STATIONS PLUVIOMÉTRIQUES

CROQUIS AU 1/500000^e



ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: NOV. 56

DES: GROTTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

PRÉCIPITATIONS CLASSÉES

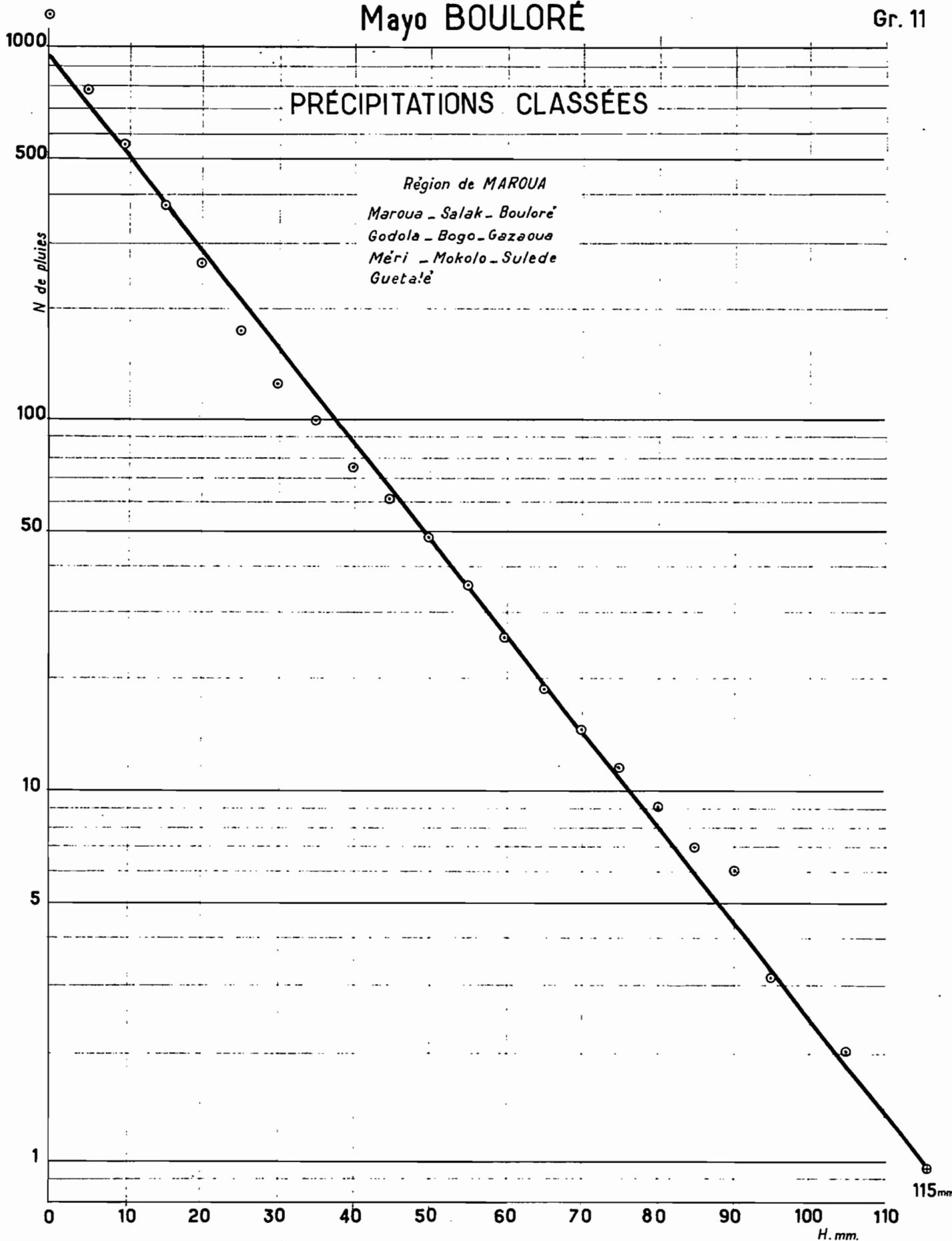
Région de MAROUA

Maroua - Salak - Bouloré

Godola - Bogo - Gazaoua

Mézi - Mokolo - Sulede

Gueta:é



ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: NOV. 56

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

près, tout le long de l'année.

La durée totale d'une averse peut être très variable, de quelques minutes à 9 h.30' (durée maximum observée).

En fait, la pluie se déclenche brutalement avec une forte intensité - de l'ordre de 15 à 30 mm/heure - souvent la plus élevée de toute la précipitation ; les variations d'intensités seront peu nombreuses et donneront des valeurs décroissantes.

En général, l'intensité reste supérieure à 5 mm/heure pendant 1 heure à 1 h.30' au maximum. Toute durée supérieure de pluie correspond à une traîne d'orage succédant à cette première phase et s'attardant sur le bassin, avec une pluie fine de 1 ou 2 mm/heure.

De ce fait, les intensités efficaces seront assez courtes et bloquées en début de pluie, en moyenne, inférieures à 30 à 40 minutes.

Certes, toutes les pluies n'ont pas ce schéma simplifié, aussi n'est-il pas possible d'établir un hyéto-gramme type du bassin, bien que le cas exposé ci-dessus soit le plus probable.

Les pluies exceptionnelles suivent ce schéma, mais en enfant l'un des facteurs ou les deux : très forte intensité (30 à 150 mm/heure) et durée élevée.

9°) Intensités - Durées des pluies exceptionnelles :

Quelle que soit l'importance de la connaissance de la hauteur de précipitations maximum de probabilité donnée, il est primordial, pour l'établissement des intensités de ruissellement sur de petits bassins versants, de posséder les intensités et les durées maxima des pluies intenses.

Les trois pluies de caractère exceptionnel, observées en 1954-1955, sont les suivantes :

- Le 17/7/1954 :

79,9 mm. en 2 h.25', répartis comme suit :

- 1) 55 minutes à 19,8 mm/heure
- 2) 1 h.30' à 41 mm/heure

- Le 28/8/54 :

63,5 mm. en 1 h.25', répartis comme suit :

- 1) 45 minutes à 77 mm/heure
- 2) 40 " à 8,2 mm/heure

- Le 13/9/1955 :

36,2 mm. en 4 h.37', répartis comme suit :

- 1) 5 minutes à 8,4 mm/heure
- 2) 10 " " 7,8 mm/heure
- 3) 2 " à 162 mm/heure
- 4) 5 " " 132 mm/heure
- 5) 8 " à 51 mm/heure
- 6) 7 " " 15,4 mm/heure
- 7) 15 " " 10,4 mm/heure
- 8) 3 h.45' " 1,8 mm/heure

De ces trois pluies, la première semble la plus dangereuse, vu sa très longue durée ; nous n'avons, malheureusement, pas pu observer la crue résultante.

C'est la seconde pluie qui causa la crue maxima observée en 2 ans.

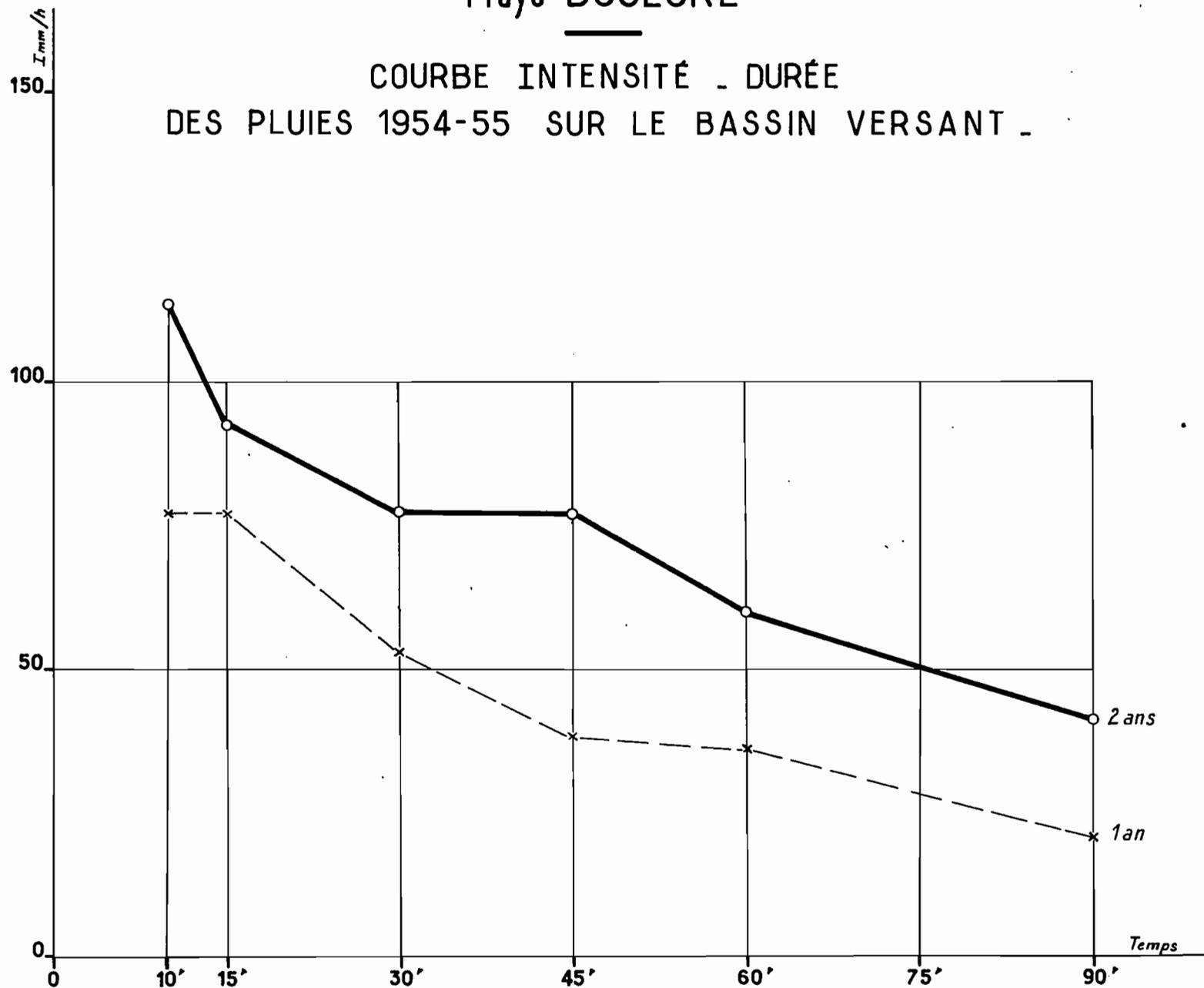
La troisième pluie présente, certes, les plus fortes intensités, mais leur faible durée et la période de l'année (Septembre, forte végétation) ont minimisé la crue à une valeur moyenne.

A partir de ces pluies, nous avons disséqué leurs hyétogrammes, à la recherche des intensités maxima pour des durées données de 15, 30, 45, 60 et 90 minutes.

Nous en avons déduit deux courbes Intensité-Durée, l'une pour 2 ans, l'autre pour un an (graphique n° 12).

Mayo BOULORÉ

COURBE INTENSITÉ - DURÉE
DES PLUIES 1954-55 SUR LE BASSIN VERSANT



ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER
ED: LE: 13-11-56 DES: J. Mayer VISA: TUBE N°: AO

Pour connaître la probabilité réelle de chaque point de ces courbes, il faudrait les comparer aux courbes d'une station météo, dont la période d'observations serait grande, et dans la même zone climatique. Seul, FORT-LAMY pourrait répondre à ces nécessités .

Malheureusement, nous ne possédons pas ces courbes pour FORT-LAMY où la période d'observations est encore trop faible.

Nous avons, cependant, voulu apprécier le degré de probabilité de ces averses : nous avons fait appel à la seule station météorologique d'Afrique tropicale dont les observations aient une bonne durée : OUAGADOUGOU.

La zone climatique est la même, malgré la distance. Nous savons que cette comparaison est très hasardeuse et que les conclusions doivent être très prudemment utilisées.

- La première constatation est d'ordre pratique : les relevés d'intensités de pluie du pluviographe à siphon ne sont pas assez précis pour obtenir des valeurs momentanées ou de courtes durées de l'intensité. Aussi, la valeur de 91,7 mm/h. en 15' n'a-t-elle rien d'exceptionnel : une fois tous les 3 ans.

- La pluie du 28/8/54 donnant 77 mm/h. pendant 45' serait d'une probabilité décennale.

- Les valeurs de 60 mm/h. en 1 h. et 40 mm/h. en 90' se produiraient une fois tous les 8 ou 9 ans.

10°) Calcul de la pluie moyenne sur le bassin :

Pour le calcul de la hauteur d'eau moyenne d'une averse sur le bassin, nous avons affecté une certaine aire d'influence à chaque pluviomètre.

Pour les pluies très irrégulières, nous avons eu recours à la méthode des isohyètes et des hauteurs classées, plus longue mais plus précise.

Pour l'évaluation des intensités et durées moyennes, le hyétogramme de base était celui de l'enregistreur. Les relevés du pluviomètre ASSOCIATION ne servirent qu'à titre de remplacement ou de correction.

Le hyétogramme devait être réduit en fonction du rapport des hauteurs d'eau moyenne et relevé à l'enregistreur.

Ou bien l'on suppose les heures caractéristiques fixes, les intensités variant ; ou bien, les intensités constantes sur le bassin, on leur adapte les durées.

Comme nous l'avons observé dans les pluies régulières, les seules prises en considération dans l'étude de l'hydrogramme type du bassin, les heures de début, de fin de pluie et de variations d'intensité étaient voisines sur le bassin.

Nous avons admis que les heures de début et de fin étaient les mêmes, en leur adaptant les intensités. L'autre méthode ne donnerait, d'ailleurs, que des différences minimales, pour les pluies régulières.

D) ETUDE HYDROLOGIQUE -

1°) Equipement hydrométrique du bassin :

La présence d'un radier en béton, pour le passage de la route de MAROUA à MOKOLO, à la sortie du bassin, a grandement facilité les mesures de débit.

- a) Mesures des hauteurs d'eau :

L'échelle limnimétrique a été placée à une vingtaine de mètres en amont du radier, sur la rive gauche. La cote de son zéro est celle du seuil du radier.

L'enregistrement des crues fut effectué à l'aide d'un limnigraphe à dépression. Cet appareil nous coûta de nombreux déboires. Son étanchéité fut extrêmement longue à réaliser : les joints entre les tuyaux, réservoir et spirale n'offrant aucune garantie. Deux autres limnigraphes placés sur d'autres mayos, n'ont jamais pu fonctionner. Il semble qu'une dénivellée supérieure à 5 m. rende l'étanchéité impossible. Le tambour effectuait sa rotation à huit jours, puis en trois jours. La faible durée des crues aurait nécessité douze heures, sinon vingt-quatre.

Enfin, la sensibilité était beaucoup trop faible, pour une amplitude maxima de 1,50 m. du mayo. Par modification du bras de levier, nous avons obtenu 22 mm. et 17 mm. pour un mètre de dénivellée. Le dépouillement en était rendu très délicat ; sur les petites crues, d'énormes erreurs étaient à craindre.

Très fréquemment, des lectures directes, faites à l'échelle, permettaient de préciser l'hydrogramme.

- b) Mesures de débit au radier-déversoir (Photo n° 11)

Le radier se présente comme un déversoir à seuil épais. La route ayant été refaite pendant la saison sèche 1954-55, le radier a été modifié. Nous donnerons, ci-dessous, les caractéristiques des deux radiers (graphique n° 13) :

	<u>1954</u>	<u>1955</u>
- Côté du seuil	0,00 m.	+ 0,06 m.
- Largeur L	7 m.	6,50 m.
- Epaisseur B	4 m.	4 m.
- Hauteur du seuil au-dessus du lit, à l'amont Z	0,07 m.	0,20 m.
- Hauteur du seuil, au-dessus du lit, à l'aval Z'	1,80 m.	1,60 m.

L'échelle a donc été relevée de 0,06 m., en 1955, pour rester à la cote du seuil.

Nous avons donc dû calculer deux courbes théoriques de débit, une par année, en employant la formule de BAZIN :

$$Q = k_2 \cdot k_3 \cdot \mu \cdot S \cdot \sqrt{2g H}$$

H, étant la charge en amont du déversoir (c'est-à-dire la cote à l'échelle).

Le coefficient de BAZIN :

$$\mu = \left[0,405 + \frac{0,003}{4} \right] \left[1 + 0,55 \left(\frac{H}{H + Z} \right)^2 \right]$$

k_2 est un coefficient qui tient compte de la vitesse d'approche en amont, en faisant intervenir l'épaisseur b du seuil :

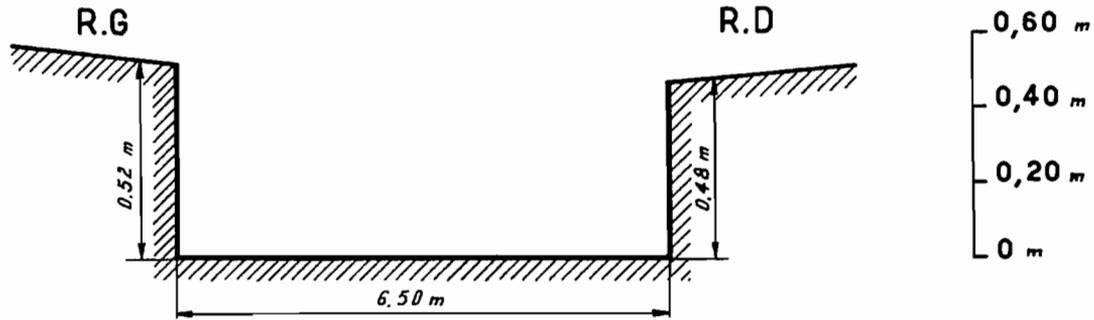
$$k_2 = 0,70 + 0,185 \frac{H}{b}$$

Quand la charge en amont devient supérieure à $\frac{2}{5} Z'$ (c'est-à-dire H p.g.q. 0,72 en 1954 et 0,64 en 1955), la nappe devient noyée en dessous, et l'on utilise le coefficient k_3 :

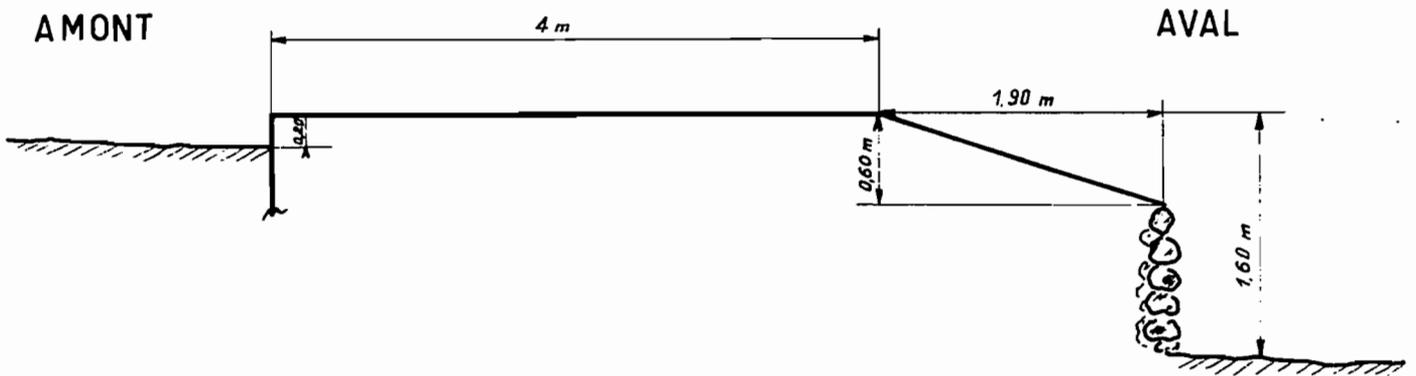
$$k_3 = 0,878 + 0,128 \frac{H}{Z'}$$

RADIER - DÉVERSOIR 1955

- PROFIL EN TRAVERS -



- PROFIL LONGITUDINAL -



ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: 13-11-56

DES: J. Mélaye

VISA:

TUBE N°:

AO

La présence, en aval du seuil, d'une zone tourbillonnante, mais sans ressaut significatif, nous fit prendre k_3 , plutôt qu'un autre coefficient k_4 , de même forme, mais fonction de $\frac{H}{H'}$, H' étant la hauteur sous seuil en aval.

La correction, apportée par ces coefficients, est faible : k_3 est compris entre 1,012 et 1,19. L'écart avec k_4 est inférieur à 5 %.

Au-dessus de 0,50 m. de hauteur critique, sur le seuil du déversoir (H p.g.q. 0,75 m.), l'eau déborde les murettes de la route limitant le déversoir latéralement. La section mouillée s'accroît brutalement ; on fait intervenir une section corrigée en fonction de la pente de la route : 0,028 mm.

Nous avons donc établi une courbe $Q(H)$ de la section du Mayo BOULORE, avec les formules :

$$\text{de } 0 < H < 0,64 \quad Q = k_2 \cdot \mu \cdot S \sqrt{2gH}$$

ou 0,72 (1954)

$$0,64 < H < 0,75 \quad Q = k_2 \cdot k_3 \cdot \mu \cdot S \sqrt{2gH}$$

$$H > 0,75 \quad Q = k_2 \cdot k_3 \cdot \mu \cdot (S + \Delta S) \sqrt{2gH}$$

Le graphique annexe n° 14 donne les deux courbes $Q(H)$ pour 1954 et 1955 qui, bien que voisines, se séparent dès l'origine.

Pour une hauteur donnée H , le débit étant, évidemment, plus grand en 1954, la largeur étant passée de 7 m. à 6,50 m., la section a diminué, à hauteur constante.

- c) Jaugeages :

L'extrême rapidité de variation de la hauteur d'eau, au voisinage du maximum de la crue, ne nous avait pas permis d'effectuer des mesures directes de débits en 1954.

Craignant, cependant, que la relation théorique $Q(H)$, d'après BAZIN, ne s'éloigne quelque peu de la réalité,

nous avons tenu à effectuer quelques jaugeages de vérification en 1955.

Tout le bief amont du déversoir est heureusement calme et régulier sur plus de 50 m. La largeur entre le haut des berges ne dépassant pas 15 m., nous avons tendu un câble, gradué tous les 50 cm., dans la section de l'échelle.

La régularité de l'écoulement, dans la section, nous a permis de ne pas nous attarder à prendre de nombreux points les vitesses furent toujours prises aux mêmes verticales, pour vérifier la variation régulière de la crue.

Quatre jaugeages ont été effectués :

- 23/6/55	: Décrue	H = 0,28	Q = 1,50 m ³ /sec.
- 23/6/55	: Décrue	H = 0,16	Q = 0,59 "
- 19/8/55	: Décrue	H = 0,43	Q = 2,8 "
- 19/8/55	: Décrue	H = 0,35	Q = 2,25 "

La durée totale du jaugeage n'excédait pas cinq minutes. La hauteur d'eau était relevée toutes les minutes, voire les 30 secondes. En planimétrant la courbe H (t), on obtenait la hauteur moyenne du jaugeage.

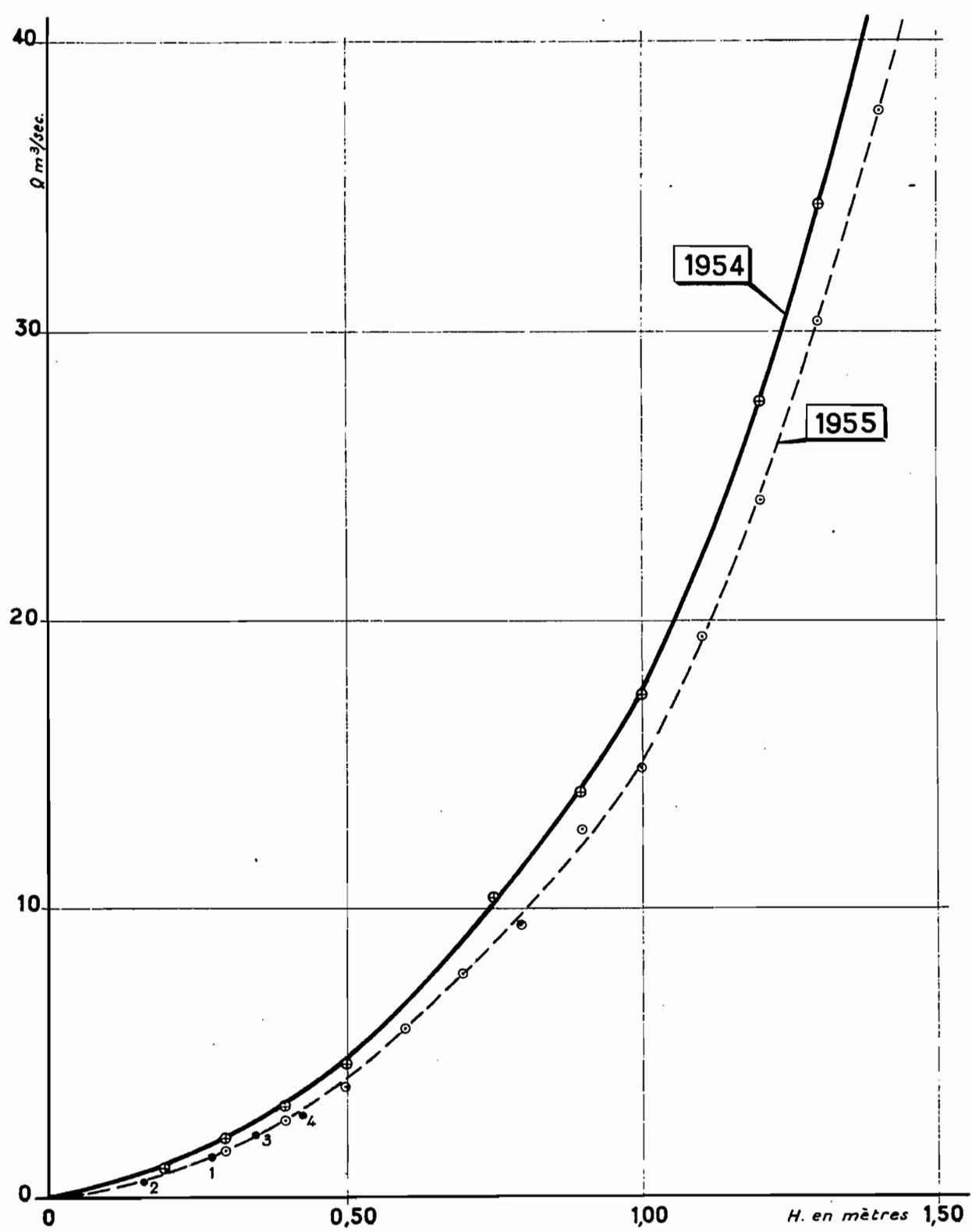
Etant donné, d'une part, l'extrême variation de H, dans le temps, pour les grosses crues, d'autre part, que la crue annuelle est de l'ordre de 0,65 à 0,70 m., on se rendra compte que nos jaugeages couvrent toute cette zone "possible".

Les résultats obtenus confirment totalement la formule de BAZIN : les quatre jaugeages sont en plein sur la courbe Q (H) de 1955.

Il est certain que l'erreur de la courbe calculée peut être plus grande pour les gros débits, mais alors, tout jaugeage au moulinet s'avère impossible.

En fait, la méthode de détermination des débits par calcul doit être généralisée pour ces petits bassins, non seulement en utilisant les radiers et ouvrages grossiers existants, mais en construisant des sections artificielles de jaugeages, à ressaut, à déversoir ou à Venturi, sections dont l'exactitude de la construction garantit la valeur du débit calculé.

COURBES D'ÉTALONNAGE



2°) Régime hydrologique des mayos :

Les mayos du Nord-Cameroun sont des rivières à caractéristiques bien définies : bassin versant supérieur montagneux à très forte pente ; sols rocheux, dénudés, ou à faible végétation.

Le régime hydrologique est tropical pur avec les particularités locales suivantes : crues à la suite de chaque grosse averse, tarissement en quelques heures ou quelques jours ; crues très violentes, charriant d'énormes débits solides ; lits démesurément larges, pleins de rochers ou de sable, à sec ou presque entre deux averses.

Dans la région de LAROUA, à deux types de terrains, correspondent deux variantes de régime :

- Sur les roches volcaniques, de faible superficie, les mayos très courts ont le régime du BOULORE : crues après chaque averse, tarissement en quelques heures : lit à sec entre les crues. Pour le BOULORE, la continuité d'écoulement entre deux crues nécessiterait deux averses "efficaces" espacées de moins de 6 heures, chose exceptionnelle.

Toutes ces rivières présentent la même particularité de lit, à mouilles et biefs rocheux importants.

Le lit du BOULORE reste à sec du 15 Octobre au 1er Mai. Les crues les plus extrêmes furent observées le 6 Mai 1955 et le 3 Octobre 1955.

- Sur les sols granitiques, en général, les mayos présentent, dès Juillet, un écoulement permanent ; l'énorme réservoir que constituent les arènes granitiques, assure un écoulement de nappe pendant les mois de saison des pluies, de Juillet à Novembre ou Décembre.

La fin de cet écoulement de nappe est fonction du lit du mayo. Les grands mayos aux lits de 100 m. de large, constitués d'une énorme nappe de sable (TSANAGA, KALLIAO) sont rapidement sans écoulement superficiel, dès le début Novembre.

Sur les petits bassins (MOTORSOLO à GODOLA), le pouvoir de rétention du lit est plus faible et l'écoulement superficiel dure jusqu'en Décembre.

La moindre présence de seuil rocheux dans le lit (TSANAGA à GAZAOUA) peut assurer la permanence de l'écoulement superficiel toute l'année (3 à 5 l/s. en Avril, à l'étiage absolu, pour 900 km²).

3°) Etude qualitative des crues :

Compte tenu de l'état de saturation plus ou moins prononcé du sol et de l'importance de la végétation, lorsqu'une pluie se déclenche, il lui faut atteindre un certain seuil d'intensité et de durée (que nous mettrons en évidence par la suite) pour devenir efficace.

A ce moment, le ruissellement se produit sur le bassin. Un certain laps de temps s'écoule entre le moment où l'intensité de la pluie devient suffisante pour qu'elle soit efficace et le début de l'écoulement à l'exutoire. Nous l'appellerons le "temps de rétention" (1). Il correspond au gorgement du sol et de la végétation freinant le ruissellement, à l'infiltration des eaux de ruissellement et, surtout ici, au remplissage des mouilles du lit.

Si l'on appelle V_r le volume de rétention qui correspond, en grande partie, à ce remplissage, on voit que :

- si le volume qui ruisselle sur le sol du bassin $VR < V_r$, il n'y aura pas d'écoulement visible.

- si $VR > V_r$, il y aura écoulement généralisé.

A cheval sur la limite du ruissellement sans écoulement et de l'écoulement généralisé, se produisent des cas intermédiaires que nous appellerons "écoulements localisés".

Ils correspondent à des débordements localisés de certaines mouilles du lit, donnant lieu à l'écoulement jusqu'à d'autres mouilles qui, plus grandes, ne sont pas encore pleines.

(1) En réalité, ce temps est un temps de rétention et de transport, mais le remplissage des mouilles donne au "transport" des caractères voisins de la rétention.

Ce phénomène s'observe au radier où, parfois, seules les dernières mouilles du lit laissent déborder un mince filet d'eau.

Par chance, le caniveau de la route, sur la rive gauche, qui se jette juste avant le radier, dans le mayo BOULORE, ne présente pas de lit discontinu ; aussi, le ruissellement sur la surface drainée (sensiblement 0,1 km²) engendre-t-il automatiquement un écoulement sans rétention notable.

Nous sommes donc en mesure, au radier, d'observer tous les cas intermédiaires de ruissellement et d'écoulement localisé.

Si un écoulement généralisé est possible, nous verrons un flot de crue se produire brutalement. La montée des eaux se fera en quelques minutes. La pointe de crue sera extrêmement brève et aigüe ; la descente s'amorcera de suite. La crue sera donc très rapide ; en moins de 2 heures, nous sommes descendus à des débits inférieurs à 100 l/sec. Le tarissement est très rapide : en normale, quatre heures après le début de la crue, l'écoulement est terminé.

La plus forte crue observée a donné un écoulement de 6 heures. Il est certain que cette allure de la crue tend à s'atténuer en fin de saison (Septembre-Octobre) où une forte végétation freine le ruissellement et engendre des crues moins brutales.

4°) Classement des averses et crues :

En 1954, notre arrivée tardive à MAROUA, le 22 Mai, ne nous a permis de commencer nos observations que le 1er Juin. Nous avons donc perdu le bénéfice de l'étude des premières averses de Mai, nombreuses cette année-là où la pluviométrie de Mai fut très élevée (MAROUA 117,5 mm. pour une moyenne de 89 mm.).

En 1955, par contre, nous avons pu observer toute la saison des pluies.

Dans le relevé des chutes de pluie, toutes les précipitations inférieures à 5 mm. qui ne donnent jamais de

ruissellement, sont mises à part. Pour les autres averses, nous discriminons les pluies efficaces à ruissellement des autres, en mettant en évidence celles qui donnèrent lieu à écoulement généralisé.

Le tableau, ci-dessous, récapitule les observations mensuelles pour les deux années :

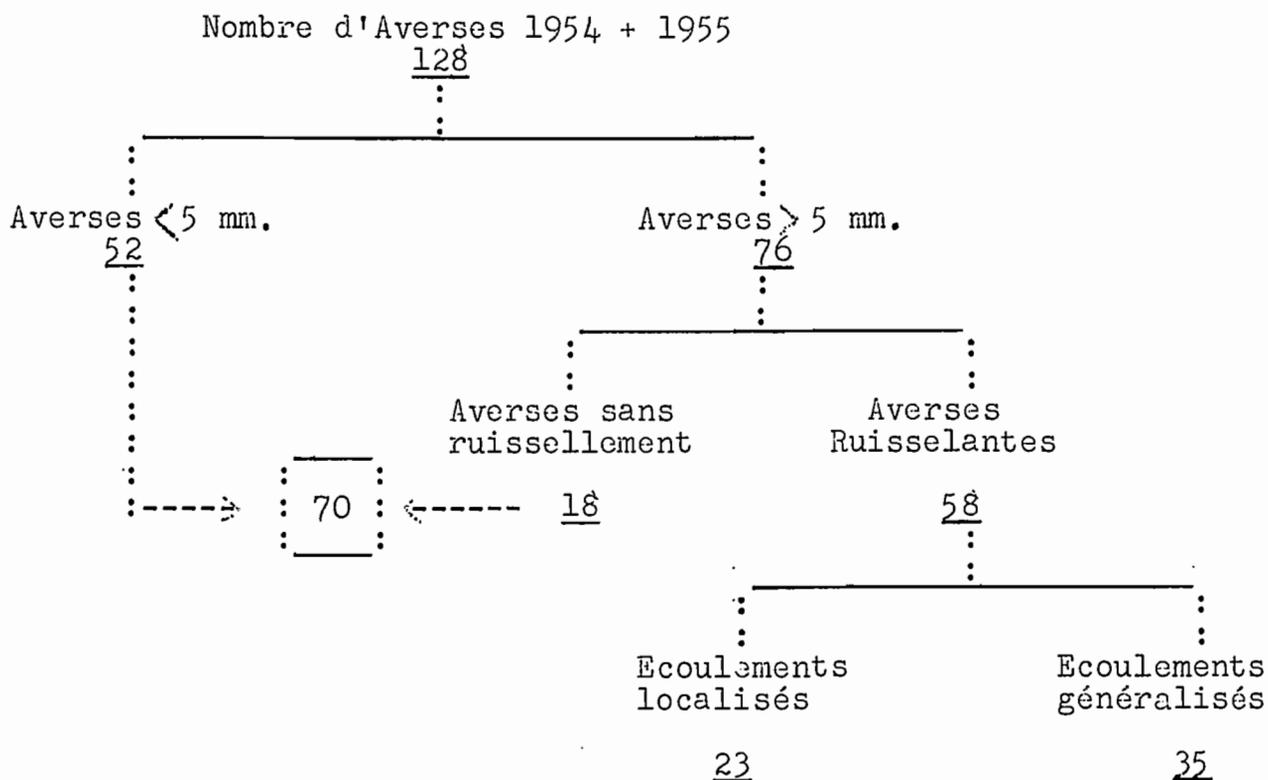
Averses et Crues résultantes en 1954 & 1955

Mois	Mai		Juin		Juil		Août		Sep.		Oct.		Total		
Années	54	55	54	55	54	55	54	55	54	55	54	55	54	55	54+55
Averses	?	4	12	11	17	19	17	21	10	12	4	5	56	72	128
Averses > 5 mm.	?	3	5	6	12	10	13	10	4	8	2	3	36	40	76
Averses sans ruisselt	?	-	4	-	1	1	2	4	1	1	2	2	10	8	18
Averses "ruissel-lantes"	?	3	1	6	11	9	11	6	3	7	-	1	26	32	58
Ecoule-ments gé-néralisés	?	3	0	3	3	8	8	3	1	5	-	1	12	23	35

On remarquera que les mois de Mai et Octobre (Juin 1954 aussi, très sec), sont des périodes de transition avec la saison sèche, au cours desquelles les tornades sont très espacées et ne donnent que rarement des écoulements.

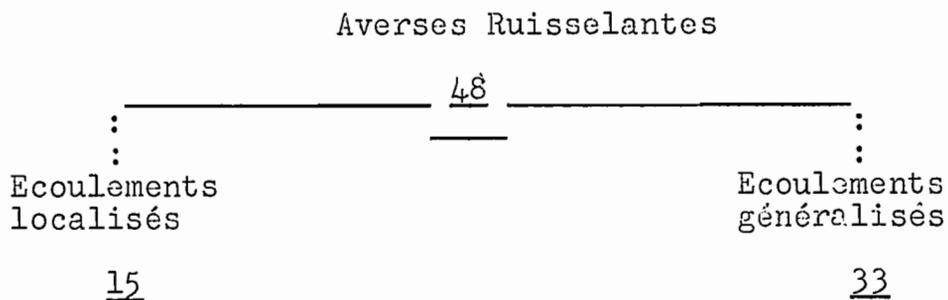
Comme nous l'avions déjà remarqué en étudiant la pluviométrie de la région, l'importance des pluies inférieures à 5 mm. (41 %) restreint considérablement le chiffre de crues "possibles" chaque année.

Le tableau récapitulatif des observations sur 2 ans montre bien la faiblesse des "matériaux utiles".



Le mauvais fonctionnement des enregistreurs (surtout limnigraphe), et les nombreux déplacements que nous avons dû effectuer en Juin 1954, nous ont fait perdre 10 observations de 1954 : 8 cas d'écoulements localisés et 2 cas d'écoulements généralisés.

Les cas observés se réduisent donc à :



Nous verrons plus loin que pour l'estimation des crues exceptionnelles, la méthode des hydrogrammes unitaires n'est applicable qu'à ces 33 cas d'écoulements généralisés (soit le 1/4 seulement des pluies), parmi lesquels il nous faudra supprimer les pluies irrégulières ou trop longues, ce qui restreint encore considérablement le nombre des observations utiles.

5°) Etude analytique des averses et crues observées

L'analyse des différents types de crues aussi bien que la recherche des hydrogrammes unitaires nécessitent la détermination préalable d'un certain nombre de valeurs caractéristiques des averses et crues.

Le tableau ci-joint récapitule toutes ces données.

Les colonnes 1 et 2 indiquent les numéros et dates des averses.

Pour donner une idée de l'état de saturation du sol et des possibilités d'infiltration avant une averse, nous avons fait appel à la notion de "potentiel d'infiltration du sol" : colonne 3. Ce potentiel, P I, est une intensité : il s'exprime en mm/h. et représente la possibilité maxima d'infiltration du sol à un moment donné. Il varie de zéro (sol saturé) à 65 mm/h. (sol desséché en saison sèche). Nous verrons, au chapitre Infiltration, que les mesures effectuées à l'aide de l'appareil MUNTZ, sont à la base de l'établissement de la courbe de ressuyage du sol, ou courbe de variation du potentiel d'infiltration en fonction du temps. La comparaison de P I en mm/h. avec l'intensité de la pluie donne une idée du ruissellement possible.

Les colonnes 4 et 5 indiquent la hauteur moyenne H-moy. de précipitations sur le bassin en millimètres, et le coefficient K_i d'irrégularité de la pluie, valeurs calculées comme il a été dit au chapitre "Pluviométrie".

La colonne 6 donne la durée totale T de l'averse.

Les colonnes 7 et 8 ont trait à la durée T-eff. et à l'intensité I-eff. de la pluie efficace.

p-59.

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES AVERSES ET CRUES OBSERVÉES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12 bis	13	13 bis	14	15	16	17	18	Observations	
N°	Date	PI mm/h	H moy. m.m	Ki	T	T-eff	I-eff mm/h	Rapport Lag	Moyenne R.T	Vp m ³	V _R m ³	V R ₁	R%	R ₁ %	Q.M. m ³ /s	C.A. mm/h	I-ex mm/h	H-ex mm	Type de crue		
1	12 7 54	24	16,4		46'	15'	50,8	28'	18'	61.500	13.200		21,4		10,40	36,7	14,1	3,5	EG		
2	17 7 54		70,3		2h. 25'	2h. 25'	29,		18'	263.000										EG	
3	23 7 54	30	9,4		30'	20'	18,8			35.300	2.530		1,5		0,30	18,4	0,4	0,1	EL		
4	4 8 54	40	20,5		1h 15'	40'	16,4	18'	35'	77.000	3.300		4,3		0,50	14,8	1,6	1,5	EL		
5	5 8 54	16	26,2		6h 15'	2h. 25'	4,3			98.200	1.470		1,5		0,25	4,2	0,1	0,2	EL		
6	8 8 54	13	16,9		1h 45'	15'	25,2	28'	08'	63.500	7.170		11,3		4,30	17,5	7,7	1,9	EG		
7	9 8 54	12	27,		2h. 45'	1h.	14,7			101.000	12.600		8,		2,60	11,3	3,4	3,4	EG		
8	19 8 54		63,1						10'	237.000	29.600		12,5		4,60				EG		
9	24 8 54		43,						10'	161.000	13.200		8,2		10,40				EG		
10	26 8 54		23,							86.250	4.200		4,9		2,60				EG		
11	26 8 54		12,7							47.500	3.000		6,3		1,				FL		
12	28 8 54	15	63,5		1h. 25'	45'	77,	23'	35'	238.000	113.000		47,5		39,	36,2	40,8	30,6	EG		
13	30 8 54		21,9							82.250	6.600		8,		3,20				EG		
14	1 9 54	14	35,4	3,1	1h.	50'	35,4		20'	132.800	50.500		38,		27,60	19,1	16,3	13,5	EG		
15	9 9 54		13,							48.700	2.100		4,3		0,35				FL		
16	15 9 54	15	12,5		2h.	40'	12,7			47.000	380	4.500	0,8	9,80		9,9	2,8	1,9	EL		
17	6 5 55	37	26,	1,5	2h. 30'	35'	20,2	28'	18'	97.300	5.025		5,2		1,86	17,9	2,3	1,3	EG		
18	19 5 55	63	13,9	2,2	30'	15'	27,8	22'	25'	52.200	600		1,1		0,30	27,2	0,6	0,2	EG		
19	21 5 55	29	28,2	1,4	2h. 15'	25'	32,9	24'	39'	105.500	10.200		9,7		3,45	26,4	6,5	2,7	EG		
20	5 6 55	60	5,6	2,4		12'	28,			20.850		157		0,70		27,6	0,4		R		
21	14 6 55	60	18,1	1,7	4h 10'	35'	9,3			52.100					0,87				FL		
22	17 6 55	26	25,2	2,	5h.	18'	37,3	20'	30'	94.500	4.140		4,4		0,87	33,6	3,7	1,1	EG		
23	20 6 55	28	9,8	1,7	20'	05'	40,4	1h. 50'	15'	36.675	96		0,3		0,06	40,3	0,1		FL		
24	23 6 55	26	21,2	1,3	37'	15'	64,6	30'	25'	79.550	6.600		8,3		2,60	58,	7,2	1,8	EG		
25	27 6 55	27	9,8	1,6	1h. 35'	08'	17,1	35'		36.950		50		0,14		17,	0,1		R		
26	8 7 55	60	9,9	1,5	3h. 30'	15'	34,	9'	17'	37.150	3.300		8,8		1,30	30,5	3,5	0,9	EG		
27	12 7 55	50	18,9	1,3	3h. 50'	40'	5,5	1h. 12'	25'	70.700	575		0,8		0,14	5,3	0,2	0,3	EL		
28	14 7 55	18	20,2	1,3	1h. 35'	55'	16,5	30'	15'	78.050	6.960		8,9		3,10	14,4	2,1	1,9	EG		
29	15 7 55		36,5	1,2					20'	136.900	24.600		18,		7,96			6,5	EG		
30	20 7 55	25	10,2	1,8	28'	03'	66,	47'	30'	39.220	1.110		2,9		0,25	59,5	6,5	0,3	EG		
31	21 7 55	24	23,4	1,1	2h. 10'	25'	38,	35'	25'	87.550	18.950		21,6		7,50	25,8	12,2	5,	EG		
32	24 7 55	18	10,2	6,	1h. 05'	24'	18,5	22'	07'	38.250	2.430		6,3		1,50	16,9	1,6	0,6	EG		
33	27 7 55	20	16,7	2,2	2h. 25'	16'	33,8	1h. 27'	21'	62.530	2.700		4,3		0,45	31	2,8	0,7	EG		
34	28 7 55	12	21,4	2,8	1h. 45'	20'	56,4	52'	24'	80.300	17.000		21,2		7,	42,8	13,6	4,5	EG		
35	1 8 55	22	15,4	1,2	2h.	20'	16,8	1h. 10'	35'	57.710		90		0,15	0,06	16,7	0,1		R		
36	3 8 55	18	24,4	1,5	3h. 45'	15'	49,5	36'	13'	91.320	5.790		6,3		3,10	43,3	6,	1,5	EG		
37	13 8 55	28	9,7	3,7	55'	08'	20,	48'	39'	36.460	36	1350	0,1	3,70	0,02	19,8	0,2	1,	EL		
38	16 8 55	38	44,8	1,2	9h. 30'	1h. 35'	16,	1h. 25'	1h. 08'	168.000	11.900		7,1		2,15	13,4	2,6	4,1	EG		
39	19 8 55	13	21,6	5,5	35'	25'	49,2	30'	06'	81.125	10.450		12,9		7,	43,2	6,	2,5	EG		
40	26 8 55	22	10,6	1,5	2h.	10'	13,6			39.880							0,1		R		
41	2 9 55	54	29,	1,4						108.575		?							R		
42	5 9 55	44	14,5	1,8	1h. 55'	01'	22,8			54.330		?					0,1		R		
43	7 9 55	38	32,4	1,7	4h. 40'	15'	68,4	1h. 08'	25'	121.210	4.620		3,8		1,2	62,8	5,6	1,4	EG		
44	10 9 55	50	27,8	1,3	3h. 10'	30'	37,6	27'	24'	104.350	7.080		6,8		2,35	33,8	3,8	1,9	EG		
45	13 9 55	20	36,2	1,8	4h. 37'	15'	92,8	19'	09'	135.950	14.650		10,8		5,75	77,	15,8	3,9	EG		
46	20 9 55	34	13,7	2,5	21'	08'	78,	26'	11'	51.350	1.470		2,9		0,75	75	3,0	0,4	EG		
47	27 9 55	58	37,2	1,2	3h.				17'	139.620	6.550		4,7		2,15			1,7	EG		
48	3 10 55	40	27,9	1,5	3h. 15'	20'	20,6	1h. 10'	1h. 15'	104.570	2.640		2,5		0,55	18,5	2,1	0,7	EG		

La pluie efficace est celle qui donne lieu à ruissellement. Une pluie devient efficace lorsque son intensité devient supérieure à la capacité d'absorption du bassin, exprimée elle aussi en mm/h.

L'efficacité d'une pluie peut se déterminer en observant la crue et le hyétogramme de la pluie, en examinant le ruissellement in situ lors d'une averse. Mais, pour évaluer exactement la durée de la pluie efficace, il faut connaître la variation de la capacité d'absorption pendant la pluie (cf. chapitre "Infiltration").

On trace alors cette courbe sur le même graphique que le hyétogramme moyen de l'averse. Toutes les parties efficaces sont les parties du hyétogramme coupées par cette courbe.

La pluie efficace n'est pas nécessairement d'un seul tenant. La durée T-eff. est la durée totale de la partie efficace de la pluie. L'intensité peut varier au cours de la pluie efficace ; I-eff. est l'intensité moyenne de la pluie efficace.

Nous en avons fini avec l'averse ; les valeurs suivantes ont trait à l'écoulement :

Les colonnes 9 et 10 donnent le "lag" et le temps de montée RT (rise-time) :

Le lag, période de temps qui s'écoule entre le centre de gravité de la pluie efficace et le maximum de la crue, oscille entre 20 et 30 minutes pour une crue régulière. Il aura une valeur inférieure pour des pluies excentrées sur le bassin et pourra dépasser l'heure pour les écoulements localisés ou hypodermiques. La valeur du "lag" sera, d'ailleurs, un critère de discrimination des crues à ruissellement bien caractérisé.

Le temps de montée est, évidemment, l'espace de temps qui va du début au maximum de la crue. Sa valeur moyenne est entre 15 et 25 minutes. Toutes les valeurs extrêmes correspondent à des pluies excentrées. Le temps de montée des écoulements localisés n'est pas bien défini, car l'on peut se méprendre sur le début exact de l'écoulement.

Les colonnes 11 et 12 donnent les volumes de la pluie moyenne V_p et du ruissellement V_R (correspondant au "rainfall excess"), en m^3 . V_R est le volume arrivant à la station de jaugeage.

La colonne 12 bis donne le volume de ruissellement sur le sol (1) V_{R1} , pour les cas d'averses sans écoulement, où seul le caniveau rive gauche a ruisselé, les volumes débités par ce caniveau permettant précisément d'estimer V_{R1} .

Les colonnes 13 et 13 bis donnent les coefficients de "ruissellement" $R \%$ et de ruissellement $R_1 \%$, correspondant aux colonnes 12 et 12 bis.

R correspond sensiblement au ruissellement parvenant à la station de jaugeage du bassin. Il est calculé à partir de la pluie totale V_p et de l'hydrogramme amputé de la fin de la courbe de tarissement (voir p. 65). Il comprend, on le voit, une très faible fraction d'écoulement hypodermique et souterrain.

R_1 correspond au ruissellement sur le sol dans le cas où ce ruissellement est insuffisant pour remplir les mouilles du lit et donner lieu à un écoulement à la station. R_1 est déterminé grâce au caniveau rive gauche qui, lui, ne donne lieu à aucun phénomène de rétention.

La colonne 14 fournit le débit maximum Q_m de la crue, en m^3/sec .

Dans la colonne 15, nous donnons un aspect de la capacité d'absorption du bassin, au cours de l'averse. Pour ce faire, nous mentionnons la valeur moyenne CA pour la durée de la pluie efficace, calculée comme suit :

$$CA \text{ mm/h.} = \frac{V_p.\text{eff.} - V_R}{S.T.-\text{eff.}}$$

$V_p.\text{eff.}$ étant le volume de la pluie efficace et S la surface du bassin.

(1) Ce volume n'a pas encore été amputé du volume nécessaire au remplissage du lit.

Les colonnes 16 et 17 ont trait à la pluie excédentaire. La pluie excédentaire : "rainfall excess" des auteurs américains, est la lame d'eau en mm. correspondant au volume ruisselé, (volume écoulé dans notre cas où écoulements, souterrain et hypodermique, sont négligeables). C'est la différence entre la pluie efficace et la capacité d'absorption. A chaque instant de la pluie efficace, nous avons toujours :

$$I.\text{eff.} = I.\text{ex.} + CA$$

Si l'intensité efficace est constante, ce qui est assez général, du début à la fin de la pluie efficace, la capacité d'absorption va décroissant, la pluie excédentaire en croissant, de telle sorte que l'égalité soit toujours vérifiée.

De la valeur moyenne de la capacité d'absorption (col. 15), on déduit, par soustraction, la valeur moyenne de l'intensité excédentaire I. exc.

La durée de la pluie excédentaire est égale à celle de la pluie efficace ; on en tire donc la hauteur de la pluie excédentaire, que l'on peut calculer directement à partir du volume de ruissellement.

La colonne 18 indique le type de crue obtenue :

E.G. : écoulement généralisé
E.L. : écoulement localisé
R. : ruissellement sans écoulement dans le lit.

Averses efficaces non observées :

Nous mentionnons ici les 10 pluies de 1954 dont la crue n'a pas été relevée. Avec les hauteurs d'eau et intensités, nous pouvons prévoir des possibilités de ruissellement.

Deux averses ont dû donner lieu à ruissellement avec écoulement dans le lit :

- a) Le 8/7/54 : H.moy. = 38,3 mm. dont 37 en lh.30
- b) " 22/8/54 : " = 22,6 "

Huit autres averses ont, au moins, provoqué le ruissellement, sinon l'écoulement localisé :

c)	Le	27/6/54	:	H.moy.	=	8,6 mm.	en	15'
d)	"	1/7/54	:	"	=	10,9 mm.	en	15'
e)	"	4/7/54	:	"	=	14,4 mm.	dont	8,5 en 20'
f)	"	10/7/54	:	"	=	6,6 mm.	en	30'
g)	"	14/7/54	:	"	=	18,5 mm.	en	lh.45
h)	"	20/7/54	:	"	=	14,7 mm.		
i)	"	26/7/54	:	"	=	11,1 mm.	dont	9 en 45'
j)	"	30/7/54	:	"	=	14 mm.	en	45'

Avant d'aborder la recherche des hydrogrammes unitaires, nous allons dire quelques mots de tous les cas secondaires de ruissellement, dus à des averses ne pouvant donner lieu à écoulement généralisé avec ruissellement caractérisé.

Avec l'importance croissante du ruissellement, nous parlerons, dans l'ordre :

- de l'écoulement souterrain
- de l'écoulement hypodermique
- du ruissellement sur le bassin, sans écoulement à la station
- de l'écoulement localisé
- des écoulements intermédiaires

6°) Etude des crues d'importance secondaire :

- a) Écoulement souterrain :

Bien que, fortement argileux, le sol du bassin n'est pas incompatible avec la présence d'une nappe aquifère. Au pied du versant tourné vers MAROUA, de l'HOSSERE MAROUA, les puits trouvent l'eau sous le sol argileux, dans la zone de décomposition des roches vertes, entre 10 et 15 m. de profondeur.

Dans le bassin versant, le lit du mayo expose souvent la roche à l'air libre, mais la charge doit être insuffisante pour provoquer un écoulement de nappe dans les fissures du rocher.

Effectivement, en deux endroits de ce bassin, juste au pied d'une montagne, surgissent deux sources.

Au flanc du BOULORE, deux sources alimentent le 4ème affluent de rive gauche ; elles ne débitent qu'en années humides (1954), du 20 Août au 15 Septembre environ, quelques 3 à 5 l/s. Ces deux sources, voisines de 50 m., drainent une nappe perchée très locale, alimentée par les contreforts du Mont BOULORE, situés hors du bassin et par la zone de la crête à pente Nord-Sud. Un banc rocheux permet l'affleurement. Seule la forte charge du Mont BOULORE permet cet écoulement.

De même, l'extrémité Nord de l'HOSSERE MAROUA alimente une source semblable qui débouche au niveau du col Nord-Est, mais hors du bassin.

L'écoulement des premières sources se perd rapidement par : infiltration, évaporation et stockage dans les mouilles du 4ème affluent, bien avant son confluent.

Il n'y a donc pas d'écoulement de nappe permanente pour alimenter, entre les crues, le Mayo BOULORE à la station.

- b) Écoulement hypodermique :

Il est dû au ruissellement retardé par la végétation à la surface du sol d'une part, et à l'eau qui circule dans la couche superficielle du sol imbibé, d'autre part.

La mise en évidence d'un tel écoulement est délicate. La végétation herbacée de longues graminées effilées et peu "couvrantes" du bassin, laisse le sol à nu, sous les tiges ; il ne semble pas qu'un freinage soit ici possible. Seule, peut-être, la période de floraison, en Septembre, pourra créer ce phénomène.

On peut considérer le ruissellement hypodermique comme négligeable jusqu'à la fin Août, et lui accorder une certaine importance en Septembre et Octobre.

Mais, l'absence d'écoulement permanent dans le lit, entre les pluies d'une part, et l'irrégularité du profil en long d'autre part, détruisent, nous l'avons vu, le début de l'écoulement, ce qui rendra difficile, sinon impossible, l'observation de l'écoulement hypodermique pur.

Ce cas d'écoulement fait partie des phénomènes intermédiaires, décrits à un paragraphe suivant. Mais, lorsqu'une crue aura un "lag" supérieur à 45 minutes, rien ne permettra d'affirmer que ce retard soit dû au freinage de la végétation ou au remplissage des mouilles du lit, l'importance relative des deux facteurs étant encore plus difficilement déterminable.

En fait, seules les crues de Septembre-Octobre peuvent être hypodermiques. L'observation d'une crue hypodermique pure serait possible, à cette période, si une averse se déclenchait très peu de temps après la précédente, et si celle-ci était efficace (probabilité faible), de telle sorte que les mouilles du lit soient encore pleines de l'écoulement antérieur. Le phénomène hypodermique ne serait pas détruit à son début, et son observation serait possible.

Pratiquement, nous n'avons pas eu cette chance. Seule l'averse n° 48 du 3 Octobre 1955 pourrait présenter une fin d'écoulement hypodermique, mais, là aussi, le remplissage des mouilles et le freinage du couvert végétal sont indissociables.

Le "lag" vaut 1h.10, le temps de montée 1h.15. Au cours de la montée se produit un décrochement au bout de 47 minutes. La pente de la courbe s'accroît brutalement. On peut admettre que la partie supérieure est due au ruissellement ; le reste de l'hydrogramme serait dû au freinage hypodermique. Le graphique n° 15 montre la construction effectuée pour avoir cet écoulement hypodermique.

Cette courbe est très aplatie, avec un maximum de 0,3 m³/s. produit 1 h. à 1h.15 après le début du ruissellement.

On pourra adopter, sous réserve de vérification future, cette courbe hypodermique pour extraire la fraction ruisselante des hydrogrammes des crues de Septembre et Octobre.

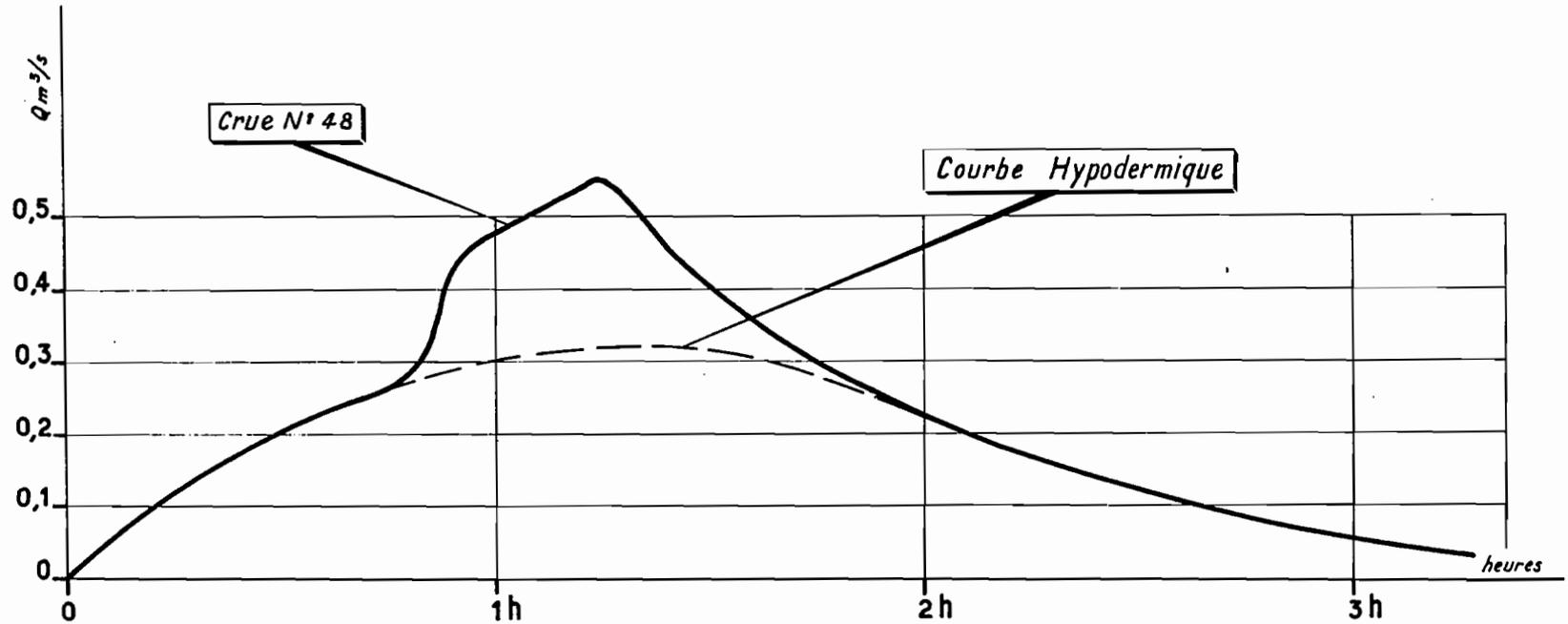
Pour le reste de l'année, le ruissellement hypodermique est nettement plus faible. Aucun cas observé ne permet de le déterminer. Nous ne pouvons guère faire mieux, lors du calcul de la fraction ruisselée des hydrogrammes, que de tronquer la fin de la courbe de tarissement pour les débits inférieurs à 0,1 m³/sec.

Mayo BOULORÉ

RUISSELLEMENT HYPODERMIQUE

ED: LE: 13-11-56 DES: J. Mélaye VISA: TUBE N°: AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER



- c) Ruissellement sans écoulement sur le bassin :

Quand le volume des eaux ruisselées sur le bassin est inférieur à la capacité de stockage des mouilles du lit, aucun écoulement ne se produit. La preuve du ruissellement nous est heureusement fournie par le caniveau rive gauche.

Drain artificiel d'une zone de quelques 0,1 km², il a un lit régulier dans lequel le ruissellement s'écoule immédiatement sans stoppage.

C'est le cas des averses n° 20, 25, 40, 41, 42. Les eaux s'accumulent en amont du déversoir, dont le seuil haut de 0,20 m., a permis la création d'une cuvette ; les eaux ne remplissent pas la cuvette : il n'y a pas de déversement.

Les caractéristiques de ces averses sont :

$$QM < 10 \text{ l/s.}, \text{ en moyenne } 2 \text{ à } 3 \text{ l/s.}$$

$$\text{Écoulement réel : } R_1 \% = 0,1 \% \text{ environ.}$$

Si l'on suppose le ruissellement homogène sur l'ensemble du bassin, on peut calculer le volume total des eaux ruisselées. On trouve toujours :

$$V_{R1} < 500 \text{ m}^3.$$

- d) Écoulement localisé :

Nous avons expliqué, au paragraphe de l'étude qualitative des crues, le phénomène du stockage de l'eau de ruissellement dans les mouilles du lit et le débordement de certaines de ces mouilles donnant lieu à des écoulements, localisés à des tronçons de lit.

Au radier, on observe un déversement dû, soit au caniveau seul, soit en association avec les eaux des mouilles voisines.

Les crues n° 3, 16, 18, 23, 27, 35, 37 répondent à cette description ; leurs caractéristiques sont les suivantes :

$$\begin{array}{l} 20 \text{ l/s.} < QM < 500 \text{ l/s.} \\ 0,1 \% < R\% < 1,5 \% \\ 0 < V_R < 1.000 \text{ m}^3 \end{array}$$

Les crues peuvent se présenter sous deux aspects mal dissociables :

- Le caniveau rive gauche suffit seul à l'écoulement ou bien les dernières mouilles interviennent seules sans hiatus, dans la montée des eaux (exp. : n° 16, 18, 37).

- Le ruissellement du caniveau précède de longtemps le débordement des mouilles, la courbe de montée des eaux s'infléchit avant de reprendre son ascension (exp. n° 23, 27, 35).

Dans ce cas, suivant que le temps de montée est pris par rapport au début du ruissellement, ou à l'arrivée des eaux du Mayo, on obtient des valeurs très différentes : plus d'une heure dans le premier cas, 25 à 40 minutes dans le second.

Le "lag" de toutes ces crues varie entre 30 minutes et 1h.48. Sa valeur moyenne est de 64 minutes. C'est la caractéristique la plus significative de l'écoulement localisé.

- e) Écoulements intermédiaires :

Il arrive un moment où s'effectue la transition entre les écoulements localisés et généralisés. Les crues présentent une certaine importance ; néanmoins, tant que l'hydrogramme ne paraît pas dû à un ruissellement bien caractérisé (allure molle, montée lente ...), nous considérerons ces écoulements comme intermédiaires entre l'écoulement localisé pur et l'écoulement généralisé à ruissellement marqué.

Les averses n° 5, 21, 30, 33, 48 semblent entrer dans cette catégorie et présentent les caractéristiques suivantes :

$$0,2 < Q_M < 1 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

$$1 < R\% < 5 \%$$

$$500 < V_R < 3.500 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Remarquons que nous trouverons des crues à ruissellement net, généralisé, avec des caractéristiques entrant dans ces limites.

Une fois de plus, c'est le "lag" qui apportera la seule note discriminatoire certaine. Sa valeur moyenne est de 73 minutes. Cette valeur montre bien la similitude de ces averses avec les cas d'écoulement localisé pur.

Nous avons donc les 7 cas d'écoulement localisé, les 4 cas intermédiaires, auxquels nous ajouterons les averses n° 10, 11, 13, 15, dont la crue est inconnue, mais qui, par examen de leur hyétogramme, semblent rentrer dans cette catégorie.

Nous pouvons conclure que :

- Les limites de Q_M , $R\%$ et V_R sont nécessaires, mais pas suffisantes pour avoir affaire à un écoulement de type secondaire.

- La condition nécessaire et suffisante est un "lag" plus grand que 45 minutes. Le "lag" moyen des 11 crues connues est de 66 minutes.

- Les valeurs du temps de montée, prises par rapport à l'arrivée des eaux du mayo sont semblables : en moyenne, 28 minutes. Rapporté au début du ruissellement observé dans le caniveau, le temps de montée excède une heure.

7°) Détermination de l'hydrogramme unitaire, Type du bassin versant :

Nous venons de passer en revue, dans les précédents paragraphes, tous les cas d'écoulements secondaires, dus soit à une irrégularité du profil en long des mayos, soit à des pluies trop faibles, soit encore au freinage de la couverture végétale.

Quels que soient l'intérêt et la particularité de ces types d'écoulement, nous ne devons pas oublier notre but qui reste la recherche de la crue exceptionnelle sur le bassin versant, due à une pluie elle aussi exceptionnelle.

Nous disposons, comme matériau d'étude, des 33 crues d'écoulement généralisé à ruissellement bien marqué. Mais, ces crues, dues à des pluies d'intensités et de durées variables, sont fort dissemblables.

Pour faire apparaître l'allure typique de la crue caractéristique du bassin versant, nous allons faire appel à la méthode des "Hydrogrammes Unitaires".

Cette méthode permet de déterminer l'hydrogramme (courbe des débits en fonction du temps) du ruissellement dû à une pluie quelconque.

L'hydrogramme unitaire est l'hydrogramme de ruissellement superficiel (abstraction faite de l'alimentation par les eaux souterraines) sur un bassin donné, dû à une pluie efficace tombant pendant un temps inférieur à l'unité de temps (averse unitaire). La pluie efficace est la fraction de l'averse d'intensité suffisante pour donner lieu à ruissellement.

La méthode des hydrogrammes unitaires obéit à quelques lois :

- a) L'intensité et le maximum du ruissellement ne dépendent pas seulement de la hauteur d'eau tombée, mais surtout de l'intensité de la pluie.
- b) Sur un bassin donné, l'hydrogramme observé reflète exactement toutes les caractéristiques physiques dudit bassin : forme, pente, infiltration, rétention, etc ...
- c) Les ordonnées de l'hydrogramme unitaire (débits) sont proportionnelles au volume total du ruissellement superficiel dû à des pluies unitaires, quelle que soit la hauteur d'eau tombée et la durée (inférieure à l'unité de temps).
- d) La base ou la durée d'écoulement de l'hydrogramme de ruissellement dû à une pluie efficace unitaire est pratiquement constante.
- e) La distribution du ruissellement, exprimée en % du volume total du ruissellement dû à une pluie unitaire efficace, pour un temps donné, est une constante pour tous les hydrogrammes unitaires du même bassin, et ceci quelle que soit l'intensité de la pluie. Ces % représentent le "Graphique de Distribution" ou "Diagramme de Ruissellement".

Quelques temps caractéristiques servent à analyser l'hydrogramme. Avec le "lag" et le Temps de Montée (déjà définis au paragraphe 5), nous mentionnerons le "Temps de Concentration". C'est le temps que met une goutte d'eau de pluie tombant sur le bassin au point le plus éloigné de l'exutoire pour atteindre ce dernier.

Durée unitaire :

Pour recenser les averses susceptibles de fournir un hydrogramme unitaire, il faut se donner la durée unitaire, valeur maximum que ne peut dépasser la durée de la pluie efficace unitaire.

Il y a deux procédés de détermination de cette unité de temps. LEROY K. SHERMAN qui, le premier, proposa la méthode des hydrogrammes unitaires, bien qu'ayant surtout travaillé sur des bassins versants de l'ordre de 2.500 km², recommande, pour les très petits bassins, de prendre l'unité de temps inférieure au quart du temps de la concentration.

La détermination rigoureuse du temps de concentration ne peut être faite que par mesure colorimétrique sur le terrain ; néanmoins, on arrive à cerner sa valeur d'assez près pour un hydrogramme unitaire.

Considérons le graphique n° 16 donnant tous les temps caractéristiques d'une crue. L'averse efficace commençant au temps zéro, l'écoulement débute au temps t . Ce retard t_r est le temps de rétention (cf. paragraphe 3). Le maximum de la crue se produit au temps t' : le temps de montée $RT = t' - t$.

Au bout du temps T_c , après le début de la pluie, égal au temps de concentration, la goutte "la plus éloignée" arrive à l'exutoire. Comme la pluie efficace a duré $T\text{-eff.}$, le ruissellement, à la station, s'achève au temps $T_c + T\text{-eff.}$

Le ruissellement à la station a duré $T_c + T\text{-eff.} - t_r$.
cette durée est le temps de base

Nous avons donc la relation suivante :

$$T_B = T_c + T\text{-eff.} - t_r$$

$$T_B = \text{temps de base}$$

qui peut s'écrire :

$$T_c = T_B + t_r - T\text{-eff.}$$

Le calcul du temps de concentration est simplifié, pour un hydrogramme unitaire, du fait de la constance du temps de base. Dans notre première étude parue après la campagne 1954, nous donnons 160 minutes comme durée du temps de base.

Il nous faut déterminer le temps de rétention t_r . Connaissant les heures de début de pluie efficace et d'écoulement à la station, nous l'obtenons facilement par simple soustraction.

Le temps de rétention est fonction de deux variables :

- proportionnel à l'état de saturation du sol, avant l'averse.
- inversement proportionnel à l'intensité efficace qui commande la vitesse de ruissellement, donc le remplissage des moulles du lit.

t_r varie entre zéro et une heure.

Il est pratiquement nul pour des crues se produisant après une longue pluie ayant gorgé le sol et rempli le lit (averses n° 26, 19 B).

Pour les averses susceptibles de donner un hydrogramme unitaire, sa valeur oscille entre 17 et 48 minutes ; en moyenne, 23 minutes.

En moyenne, pour un hydrogramme unitaire, nous aurions donc :

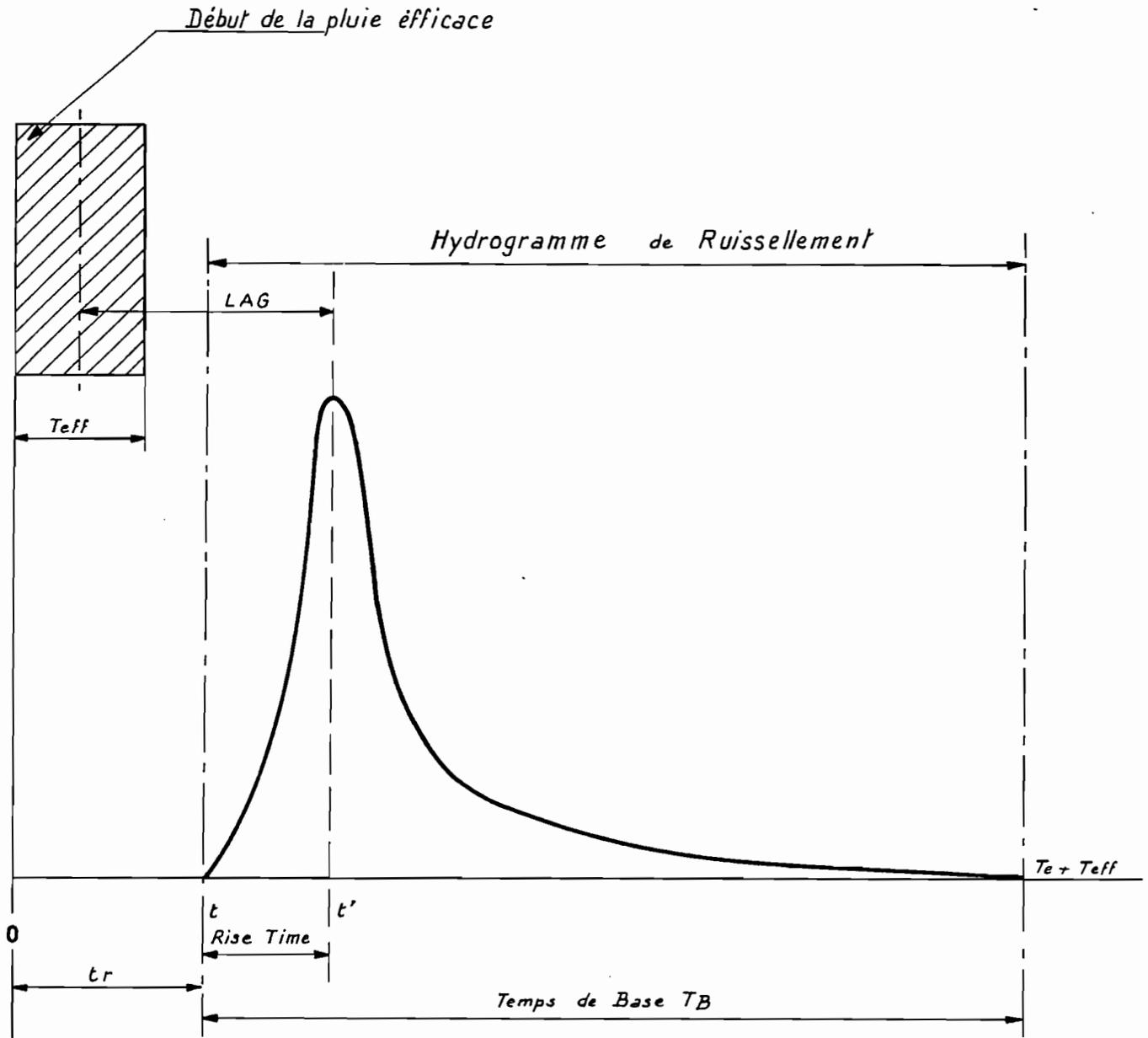
$$T_c = 160' + 23' - T\text{-eff.}$$

$$T_c + T\text{-eff.} = 183'$$

Pour que la pluie efficace soit unitaire, d'après SHERMAN, elle doit répondre à la condition :

$$0 < T\text{-eff.} \ll \frac{T_c}{4}$$

TEMPS CARACTÉRISTIQUES



ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: 14-11-56

DES: J. Mélaye

VISA:

TUBE N°:

AO

Pour $T\text{-eff.} = \frac{T_c}{4}$, nous aurons le temps minimum de concentration :

$$5 \frac{T_c}{4} = 183' \text{ d'où } T_c = 146'$$

En conclusion :

$$146' < T_c < 183'$$

et durée unitaire maximum $< 36'$

Notons que la valeur moyenne du temps de concentration, calculé pour chacun des neuf hydrogrammes unitaires que nous déterminerons, est de 158 minutes.

Certains auteurs américains, dont BERNARD, plus spécialement attachés aux études sur petits bassins, recommandent une autre limite à la durée unitaire. Pour eux, elle doit être inférieure au temps de montée. Le temps de montée des crues du BOULORE est, en général, de 15 à 20', donc inférieur à 36' ; nous prendrons donc cette deuxième limite plus juste, plus sévère que celle de SHERMAN.

- b) Recherche des averses unitaires :

Parmi, les 33 crues d'écoulement généralisé, nous avons supprimé celles qui possédaient l'un des défauts suivants :

- averse irrégulière ($K_i > 3$), mal centrée sur le bassin (N° 39, 46).
- averse trop faible, donnant un hydrogramme mou, à la pointe de ruissellement estompée.
- averse de durée trop longue.
- averse dont la pluie efficace est constituée de fractions aux intensités efficaces trop variables ou de fractions séparées par des périodes non efficaces (crue n° 45).

Sept averses seulement répondaient aux conditions exigées : n° 1, 6, 24, 26, 31, 34, 36.

De ce tableau, nous pouvons tirer un certain nombre de conclusions :

- Le "lag" est particulièrement variable autour de sa valeur moyenne. Ses valeurs extrêmes correspondent à une crue survenant sur un sol gorgé d'eau après une pluie de deux heures (9' - crue 16) à une pluie de durée variable sur le bassin (52' - crue 34).

- Le temps de montée est très régulier. Nous avons donc pris, pour chaque hydrogramme, une pluie efficace inférieure au temps de montée de la crue correspondante. Ce temps unitaire varie donc de 15' à 25', toujours inférieur à la valeur limite selon SHERMAN.

- Les intensités efficaces des hydrogrammes retenus sont assez différentes, de 25 à 65 mm/h. ; cela nous assure un bon échantillonnage.

- Les valeurs obtenues pour les différents diagrammes de distribution sont assez voisines entre elles. Les petites discordances sont dues, soit à des irrégularités de la pluie nous ayant échappé, soit, surtout, à l'état fort variable de la saturation du sol, pour chaque averse.

- Le diagramme de distribution moyen, type du bassin, est très suggestif. Après 32 minutes d'écoulement, plus de la moitié des eaux ont ruisselé ; après 48 minutes, les trois quarts du volume de ruissellement total se sont écoulés. La pointe de crue est très aigüe.

- Aux 39,9 % de la seconde fraction du temps de base (T_B), correspond un débit moyen de 4,2 m³/s., calculé pour un volume de ruissellement de base de 10.000 m³.

La valeur moyenne du débit maximum (Q_M), pour le même volume, est plus élevée et atteint 5,1 m³/sec.

- L'un des hydrogrammes est nettement plus "dangereux" que les autres. L'averse n° 1 donne, en effet, un hydrogramme pointu, dont le débit maximum unitaire atteint 7,9 m³/sec.

Cette pluie étant la première que nous avons observée sur ce bassin, il est possible que des irrégularités nous aient échappé. Le diagramme de distribution étant correct, nous avons gardé cette averse ; mais, rien ne nous permet d'expliquer cette anomalie du débit en pointe.

- d) Hydrogrammes particuliers :

Si une pluie est régulièrement répartie sur le bassin et bien centrée, l'hydrogramme obtenu sera semblable à l'hydrogramme type du bassin.

Il est fort concevable qu'une averse régulière, d'intensité efficace constante, de durée inférieure à la limite, mais aussi excentrée sur le bassin, donne une crue dont le diagramme de distribution sera différent du type du bassin.

Deux exemples illustreront cette particularité :

- Averse n° 39 :

C'est une averse très irrégulière ($K_i = 5,5$). Elle est centrée au fond du bassin versant, au pied du Mont BOULORE. La pluie trop faible sur la partie voisine de la route ne donne pas lieu à ruissellement. Seul, le fond du bassin ruissellera.

C'est un véritable mur d'eau qui est arrivé à l'exutoire. En 6 minutes, le débit maximum était atteint.

Le diagramme de distribution est très ramassé ; il ressemble à celui d'un hydrogramme unitaire dont le début (correspondant au ruissellement voisin de l'exutoire) aurait été tronqué.

Les trois premières fractions du temps de base correspondent respectivement à 38,2 , 31,6 , et 12,7 % du volume ruisselé.

- Averse n° 46 :

Elle aussi fort irrégulière ($K_i = 2,7$), elle est, au contraire, centrée sur le bord de la route, au flanc de l'HOSSERE MAROUA.

L'hydrogramme unitaire est aussi fort ramassé, mais le fond du bassin ayant, cependant, ruisselé, gonfle le tarissement ; aussi, les deux premières fractions sont-elles semblables, mais plus faibles que dans le cas de l'averse n° 39 : 20,8 et 25,3 % du volume ruisselé.

Ces particularités sont très intéressantes à signaler. En effet, cela montre que, même sur un très petit bassin versant, où la distance extrême est de 2.500 m., les averses peuvent être suffisamment irrégulières et excentrées pour donner des hydrogrammes unitaires déformés par rapport à la normale.

Le débit maximum de l'averse n° 46, rapporté au volume de base, est de 5,1 m³/s.

Par contre, celui de l'averse n° 39 atteint 6,7 m³/s. ; très nettement supérieur à la moyenne, il montre que l'anomalie de l'averse n° 1 n'est peut-être pas si bizarre qu'il semblait à priori et pourrait peut-être s'expliquer par une répartition très hétérogène de la pluie dans l'espace.

- e) Diagramme de distribution moyen :

Le diagramme moyen, obtenu ci-dessus avec 10 divisions du temps de base, n'est pas très représentatif de l'hydrogramme unitaire moyen.

En effet, les deuxième et troisième fractions qui s'écoulent de la 16ème à la 48ème minute après le début de l'écoulement, sont décallées par rapport à l'hydrogramme ; elles grossissent faussement le tarissement.

En plus, la seconde fraction, mal centrée par rapport au maximum de la crue, ne donne qu'un faible débit (4,2 m³/s.) en regard de la pointe réelle 5,1 m³/s., soit quelques 82 % seulement.

L'important étant de déterminer au plus juste la pointe de l'hydrogramme, nous allons changer la durée des fractions du diagramme pour mieux centrer la crue. Pour ce faire, il suffit que la pointe soit sensiblement au milieu d'une fraction. Or, la pointe se produit 19 minutes après le début de l'écoulement ; si l'on prend une fraction moitié de celle du diagramme primitif, soit 8 minutes, la pointe sera correctement placée dans la troisième fraction allant de 16 à 24 minutes.

Le tableau ci-dessous donne la répartition en 20 fractions de 8' chacune, du diagramme de distribution moyen du bassin (cf. graphique n° 17).

N° de la fraction	% du $V_R = 10.000 \text{ m}^3$	Q moy. $\text{m}^3/\text{s.}$	q l/s/km^2
1	2,65	0,55	147
2	15,1	3,15	840
3	24,2	5	1.335
4	15,7	3,3	880
5	10,2	2,1	560
6	7,9	1,6	426
7	5,2	1,1	293
8	3,6	0,75	200
9	2,9	0,6	160
10	2,5	0,52	138
11	2	0,42	112
12	1,8	0,37	99
13	1,4	0,29	77
14	1,3	0,27	72
15	0,95	0,20	53
16	0,85	0,18	48
17	0,6	0,13	35
18	0,55	0,11	29
19	0,35	0,07	18
20	0,25	0,05	13

Le tableau nous donne, pour chaque fraction de 8' :

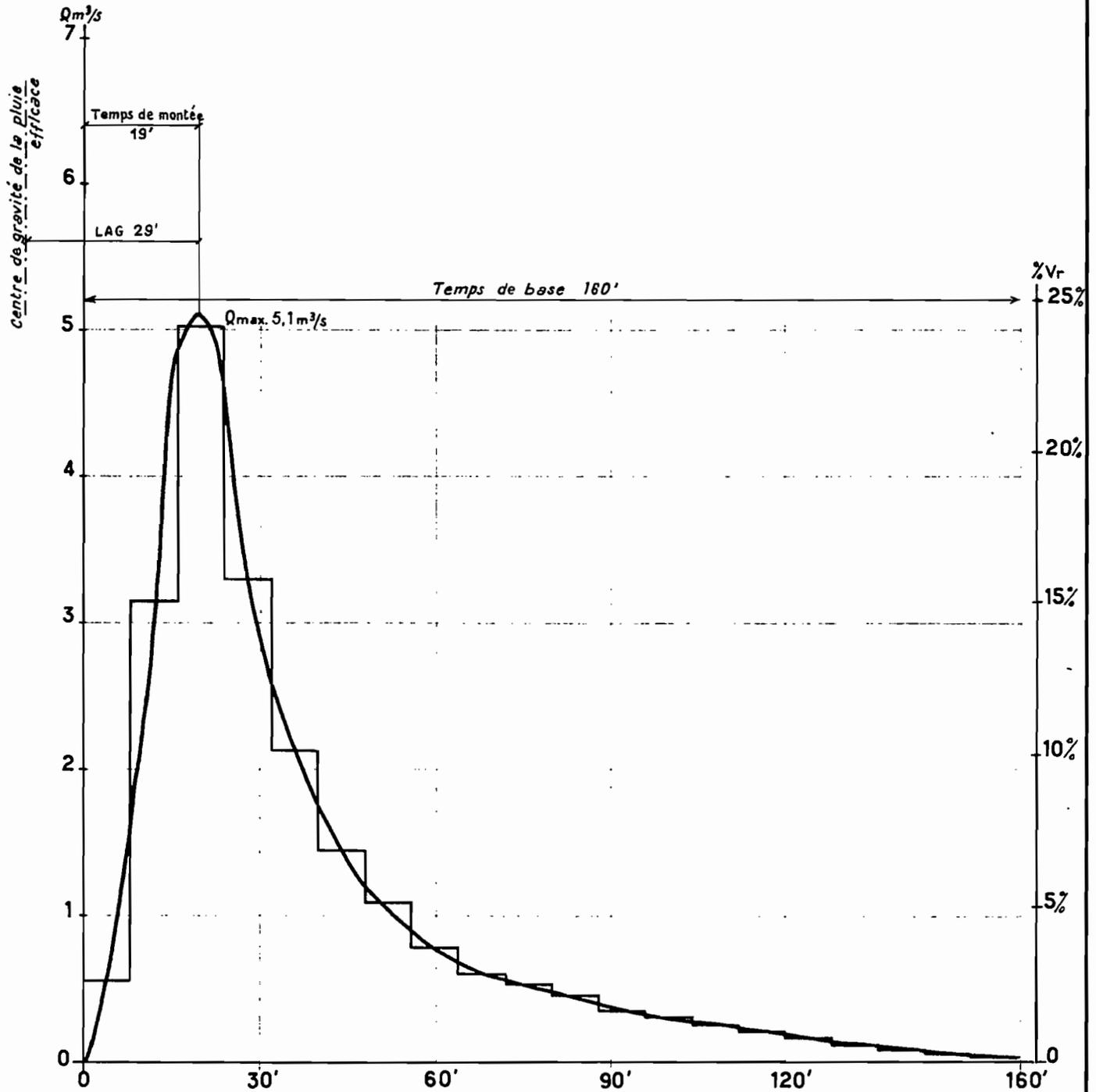
- le volume écoulé en % du volume total de base (10.000 m^3)
- le débit moyen pendant ces 8'
- le débit moyen spécifique en l/s/km^2 .

Nous voyons ainsi que la 3ème fraction donne un débit moyen de 5 $\text{m}^3/\text{s.}$, soit 2 % de moins que le débit maximum : on ne peut être plus précis.

Mayo BOULORÉ

DIAGRAMME DE DISTRIBUTION MOYEN

$V_{base} = 10\ 000\ m^3$



ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: NOV. 56

DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

- f) Diagramme de distribution le plus dangereux :

Nous avons vu, en examinant les hydrogrammes unitaires particuliers dus à des averses excentrées, que le débit de pointe, pour un ruissellement de 10.000 m³, pouvait excéder 5,1 m³/sec. La crue n° 39 nous donnait, en effet, 6,7 m³/sec.

Aussi, bien que nous ne puissions clairement nous expliquer la cause de la forte pointe de la crue n° 1, nous nous devons de retenir ce débit de 7,9 m³/sec. comme le plus dangereux des débits de pointe d'hydrogrammes unitaires pouvant se produire.

Il est bien certain que le diagramme de distribution moyen donné ci-dessus représente le cas le plus probable d'hydrogramme unitaire, le cas le plus représentatif du bassin.

Mais, dans certaines applications pratiques (débit de pointes d'un ouvrage d'assainissement, ouverture d'un pont, etc ...), la possibilité d'obtenir un hydrogramme plus sec, plus dangereux, ne doit pas être exclue. Aussi, donnons-nous, ci-dessous, le diagramme de distribution qu'il serait prudent d'adopter dans ces évaluations de débit maximum : il est issu de l'hydrogramme de l'averse n° 1 (graphique n° 18).

N° de la fraction	% VR	Q moy. m ³ /s	
1	1,2	0,25	
2	16,3	3,40	
3	30,8	6,4 (1)	
4	14,2	3	
5	9,1	1,9	
6	6,9	1,4	(1) 1.700 l/s/km ² .
7	5,2	1,1	
8	4,3	0,9	
9	3	0,6	
10	2	0,4	

N° de la fraction	% V _R	Q moy. m ³ /sec.
11	1,7	0,35
12	1,3	0,27
13	1,1	0,23
14	0,9	0,19
15	0,6	0,13
16	0,5	0,1
17	0,4	0,08
18	0,3	0,06
19	0,15	0,03
20	0,05	0,01

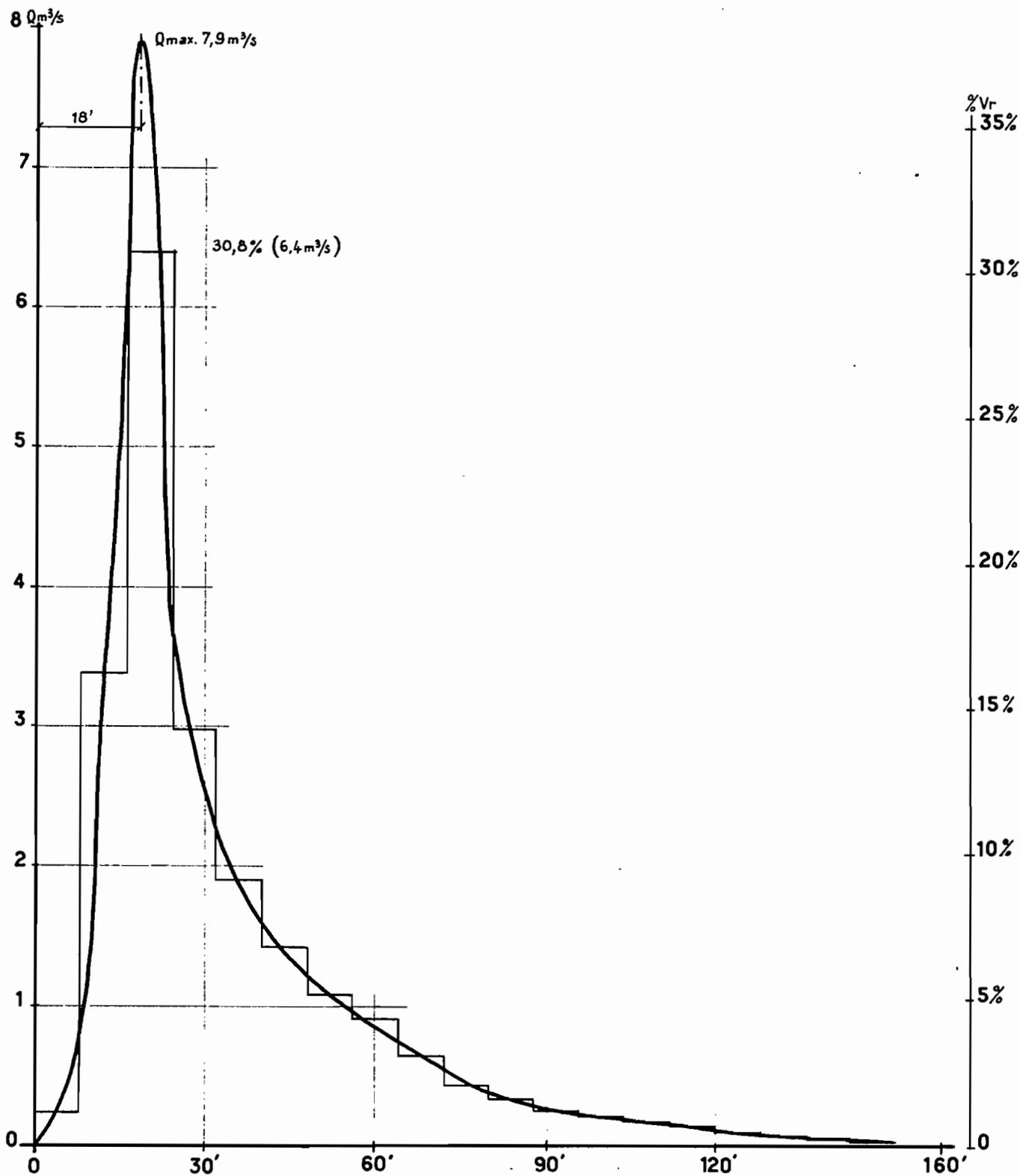
Ce diagramme ne donne que les 81 % du débit de pointe réel : 7,9 m³/sec., 2.100 l/s/km². Ceci vient, d'une part, du fait que l'hydrogramme est celui d'une simple crue, et non pas une moyenne de plusieurs crues, les irrégularités n'y sont pas aplanies ; d'autre part, nous avons voulu, à titre comparatif, conserver le même type de fractionnement du diagramme (20 fractions de δ') que pour le diagramme moyen.

De ce fait, la comparaison entre les deux diagrammes est aisée : comme prévu, le diagramme "le plus dangereux" monte et descend plus sèchement que l'hydrogramme moyen. Chaque fraction de l'hydrogramme moyen est égale ou légèrement inférieure à la fraction correspondante du diagramme dangereux ; seul grand écart entre les deux : celui des deux pointes de crue : 24,2 et 30,8 %.

- Les crues maxima de 1954 et 1955 :

Un petit tableau nous remet sous les yeux les plus fortes crues de ces deux années :

DIAGRAMME DE DISTRIBUTION LE PLUS DANGEREUX



ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED: LE: NOV.56 DES: GROTTARD VISA: TUBE N°: AO

1 9 5 4				1 9 5 5			
N°	Dates	Qm	R%	N°	Dates	Qm	R%
1	12/7	10,4	21,4	29	15/7	7,96	18
9	24/8	10,4	8,2	31	21/7	7,5	21,6
12	28/8	39	47,5	34	28/7	7	21,2
14	1/9	27,6	38	39	19/8	7	12,9

Faisons abstraction des crues des 28 Août et 1er Septembre 1954, à caractère manifestement exceptionnel ; notons, ensuite, que la pluviométrie de la pluie du 24/8/54 est mal connue, ce qui explique le faible coefficient d'écoulement.

Nous voyons que les 4 principales crues de 1955 sont du même ordre de grandeur. Si la pluie du 19/8 ne donne que 13 % pour le coefficient de ruissellement, c'est que, très irrégulière, elle n'a ruisselé que sur une partie du bassin versant. La plus forte de ces crues, n° 29, s'est produite quelques 10 heures après une autre crue déjà importante : sol saturé, lit plein expliquent son importance.

Il nous reste donc comme crue maxima ordinaire, la crue n° 1 dont nous avons tiré notre diagramme de distribution le plus dangereux.

Il semble bien que c'est dans la zone des 8 à 10 m³/s. pour les débits de pointe, et autour de 20 % d'écoulement, qu'il faut placer la crue maxima annuelle, à première vue.

Si nous nous reportons, maintenant, au chapitre "Pluviométrie", paragraphe 9, où sont réunies les plus grosses pluies observées en 2 ans, nous voyons que :

- la pluie du 28/8/54 a donné la plus forte intensité (77 mm/h.) pour une durée de 45' ainsi que 60 mm/h. en 1 heure. Le caractère exceptionnel de la crue se trouve confirmé.

- la plus forte pluie en 15' (92,8 mm/h.) n'a pas donné de grosse crue. Il s'agit, en effet, d'une pluie de Septembre 1955 (n° 45). La forte action retardatrice de la végétation apparaît ici encore plus clairement, si l'on veut bien observer que le débit maximum ne fut que de 5,75 m³/s. et le "ruissellement" R de 10,8 %.
- la pluie du 17/7/55 donna la plus forte intensité (41 mm/h.) en 90' ; malheureusement, nous n'avons pas pu enregistrer la crue dans son entier. Il semble bien, vu l'époque de l'année, que nous avons manqué là une forte crue, sûrement supérieure à la valeur moyenne annuelle supposée.
- Nous ne possédons pas l'enregistrement de la pluie très irrégulière (Ki = 3,1) du 1/9/54, dont la crue résultante présente un net caractère exceptionnel. L'irrégularité de la pluie et l'absence d'enregistrement des intensités ne nous permet pas d'évaluer la probabilité de ce phénomène.

Revenons à la crue du 28/8/54, dont la pluie pourrait avoir une probabilité sensiblement décennale. Nous allons essayer, comme exercice de vérification de notre diagramme de distribution moyen du bassin, de reconstituer cette crue à partir de son hyétogramme.

Nous diviserons la pluie efficace de 45' en 3 fractions unitaires de 15' chacune. (Des essais avec 2 fractions de 22' ou 2 fractions de 19' et une de 7' n'ont pas donné de bons résultats).

L'examen de la courbe de variation de la capacité d'absorption pendant la pluie efficace (voir plus loin) nous donne les valeurs moyennes pour chaque fraction considérée.

La détermination des 3 hydrogrammes correspondant à chaque fraction est donnée ci-dessous :

	1ère fraction	2ème fraction	3ème fraction
CA moy.	50 mm/h.	35 mm/h.	25 mm/h.
H. eff.	19,4 mm.	19,3 mm.	19,3 mm.
T. eff.	15'	15'	15'
I. exc.	77-50 = 27 mm/h.	42 mm/h.	52 mm/h.
H. exc.	6,75 mm.	10,5 mm.	13 mm.
VR.	25.200 m ³	39.200 m ³	48.600 m ³

La construction graphique de la crue résultante de ces 3 hydrogrammes décalés de 15' donne un résultat satisfaisant :

- même volume ruisselé,
- même pointe de crue : 39 m³/s.
- par contre, la montée de la crue calculée est plus lente (45' au lieu de 35'). Il semble que la connaissance des variations de l'intensité réelle de la pluie (77 mm/h. en 45' est une moyenne) qui nous fait défaut, puisse suffire à expliquer cette anomalie.

E) ETUDE DE L'INFILTRATION -

1°) Généralités - Définitions :

Au point de vue pédologique, le bassin versant présente une réelle homogénéité. L'horizon superficiel, sujet à l'infiltration première, est tantôt l'horizon humifère, tantôt l'horizon caillouteux, quand le précédent fait défaut.

A priori, seule la présence de nombreux cailloux dans l'horizon inférieur peut entraîner des perturbations et être cause de quelques différences dans l'évaluation de l'infiltration de l'un ou l'autre horizon.

Il importe, avant tout, de définir un certain nombre de termes, employés pour cerner ce phénomène de l'infiltration. Les deux principaux furent déjà cités au chapitre "Hydrologie", paragraphe 5, lors de l'établissement du tableau des valeurs caractéristiques d'une averse.

On peut déterminer l'importance de l'infiltration sur un terrain, soit par mesure directe, à l'aide d'un

infiltromètre, soit par mesure indirecte, par différence entre le volume d'eau tombé et le volume ruisselé au cours d'une averse.

Dans le premier cas, la mesure effectuée sur le terrain nous donnera un certain volume d'eau s'infiltrant dans un temps donné, c'est-à-dire une intensité d'infiltration. Cette mesure ne tient compte que de l'infiltration dans le sol, dans le sol nu pourrions-nous presque dire, tout en remarquant que la présence des racines influe sur la structure physique du sol, donc sur cette infiltration.

La mesure effectuée à un instant donné fournit une intensité qui représente toute la possibilité d'infiltration du sol. Nous avons appelé cette intensité, le potentiel d'infiltration du sol P.I.

Dans la détermination par différence entre le volume d'eau de pluie et le volume d'eau ruisselée, ce n'est pas seulement l'infiltration dans le sol que nous obtenons, mais une quantité complexe comprenant avec cette infiltration, d'autres facteurs inhibiteurs de l'écoulement.

Lors de la chute de pluie, toute l'eau n'atteint pas le sol, une partie est stoppée par les arbustes et la végétation herbacée. Cette eau s'évaporera ou s'égouttera lentement sur le sol.

Pendant le ruissellement sur le sol, la végétation herbacée freine l'écoulement et retient encore une certaine quantité d'eau.

La pluie efficace terminée, le ruissellement sur le sol continue encore quelque temps : une partie de ces eaux ruisselantes va s'infiltrer.

Il y a de l'évaporation pendant la pluie et après la pluie sur l'eau de ruissellement ou stoppée par les végétaux.

Enfin, dans le lit du mayo, une énorme quantité d'eau sert à remplir les mouilles du lit avant l'écoulement.

Nous pouvons établir la relation :

$V \text{ pluie} - V \text{ écoulé} = P.I. + \text{Action des végétaux}$
+ Infiltration pendant le ruissellement (1)
+ Evaporation
+ Remplissage des mouilles

Nous avons donné à cette somme le nom de capacité d'absorption du bassin versant : CA. Pour faciliter la comparaison, elle sera évaluée aussi en intensité (mm/h.). Comme l'infiltration n'est pas seule en jeu, nous avons préféré le terme d'absorption, évitant toute ambiguïté

Nous avons déjà parlé, à plusieurs reprises, du temps de rétention t_r qui caractérise bien cette période, allant du début de la pluie efficace au début de l'écoulement, pendant laquelle les végétaux freinent les eaux de pluie et de ruissellement, et les mouilles se remplissent. Le terme de capacité de rétention aurait été indiqué à la place de CA, mais il définit déjà un certain état du sol dans la pédologie.

2°) Le potentiel d'infiltration du sol :

- a) Mesures MUNTZ :

Nous avons effectué un certain nombre de mesures sur le sol en place. La méthode employée était celle dite "de MUNTZ améliorée".

Nos observations, au nombre d'une trentaine, nous amenèrent aux constatations d'ordre général suivantes :

- la majeure partie des essais a été effectuée sans le grand cylindre protecteur de 50 à 60 cm. de diamètre, les quantités d'eau requises étant énormes. Des essais systématiques avec deux appareils : l'un sans, l'autre avec cylindre protecteur, ont montré un écart de 10 % entre les mesures, sur un même sol.

Il nous a paru plausible de diminuer de 10 % toutes les autres mesures effectuées sans ce cylindre.

(1) et après la pluie.

- Pour un même état de saturation du sol, les mesures ont donné des résultats analogues sur les deux horizons humifère et caillouteux.

- Au cours d'une mesure de 2 à 3 heures, l'infiltration est restée constante dans le temps ; parfois, on observe, vers la fin de la mesure, une légère baisse de l'intensité, inférieure à 10 %. La valeur du potentiel d'infiltration obtenue dans une mesure, est prise égale à l'intensité moyenne de la mesure.

Prises en elles-mêmes, ces mesures MUNTZ semblent donc fidèles et justes, mais, si on les compare aux phénomènes observés lors d'une averse, de nombreuses dissonances apparaissent.

En effet, considérons une mesure MUNTZ, en général effectuée par beau temps, entre les averses. Nous plaçons sur le sol à l'intérieur du cylindre, une charge d'eau constante de 3 cm. d'épaisseur. Comme nous l'avons vu plus haut, nous n'observons pas en 2 ou 3 heures de mesure, de baisse sensible du potentiel d'infiltration.

Par contre, au cours d'une averse, le potentiel d'infiltration ira en diminuant du début à la fin de la pluie efficace. Cela, nous en sommes sûrs. Or, la chute de pluie sur le terrain correspond aussi à une certaine charge plus ou moins élevée suivant l'intensité de la pluie. Les seules différences avec la mesure MUNTZ sont d'abord, l'action mécanique des gouttes de pluie tombant avec une certaine vitesse, donc une certaine énergie sur le sol, ensuite, le fait qu'il y a ruissellement, donc déplacement horizontal de l'eau sur le sol. Enfin, et surtout, le fait que les charges sur le sol sont beaucoup plus faibles en général sous l'averse, ce qui peut avoir des répercussions notables, compte-tenu de l'importance des phénomènes de capillarité.

- b) Mesure pendant une averse :

Maintenant, si nous effectuons une mesure MUNTZ pendant une pluie, le sol étant pris dans un état donné au début de la pluie, nous devrions obtenir un potentiel d'infiltration constant dans le temps, et représentatif de cet état du sol. Or, il n'en est rien. Nous n'avons effectué qu'une seule mesure dans ces conditions, le 15 Septembre 1954.

Le graphique n° 19 donne les courbes de variations, dans le temps, de l'intensité de la pluie (mesurée au pluviomètre à quelque 100 m. du MUNTZ) et du potentiel d'infiltration. Alors que, à l'intérieur du cylindre MUNTZ, les conditions sont les mêmes que par beau temps, nous n'obtenons pas un potentiel constant, mais au contraire variable et qui semble suivre l'intensité de la pluie. Il faudrait admettre une influence de la pluie par l'intermédiaire de l'infiltration et de la circulation d'eau dans les couches superficielles du sol, sur le "champignon" d'infiltration en provenance du cylindre.

Le ruissellement, relevé par un potentiel d'infiltration de 9 mm/h. inférieur à l'intensité de la pluie de 13 mm/h., a été observé de visu sur le terrain. Le potentiel d'infiltration subit d'abord le contre-coup normal d'une pluie efficace ; il diminue après 30' de 9 à 3,6 mm/h. Puis, alors que la pluie baisse d'intensité, cesse d'être efficace, l'infiltration devient égale à la pluie, le potentiel d'infiltration devient supérieur à l'intensité de la pluie, il croît très vite jusqu'à 10,8 mm/h. après 30', puis à 20 mm/h.

Alors qu'une mesure MUNTZ faite par beau temps, qui donne un potentiel d'infiltration constant dans le temps, est en contradiction avec le phénomène observé lors d'une averse, la même mesure MUNTZ effectuée pendant l'averse donnerait un potentiel d'infiltration plus conforme à la réalité.

L'abondance des observations pluviométriques, limnimétriques, des mesures de débits liquides et solides lors des averses, ne nous a pas permis d'effectuer d'autres mesures MUNTZ dans ces conditions.

Il faudrait en réaliser d'autres pour vérifier cette corrélation entre le potentiel d'infiltration mesuré sous averses et le potentiel réel.

- c) Valeurs mesurées du P.I. :

Actuellement, nos mesures MUNTZ ne peuvent pas prétendre donner une valeur exacte du potentiel d'infiltration réel du sol. Toutes les valeurs de P.I. mesurées res-

tent valables, mais comparables entre elles seulement. Elles permettent de se constituer une échelle de variation de l'infiltration, échelle à signification qualitative mais non pas quantitative. Cette situation est un peu celle des résultats d'évaporation mesurée au Piche, vis à vis de l'évaporation réelle sur nappe d'eau.

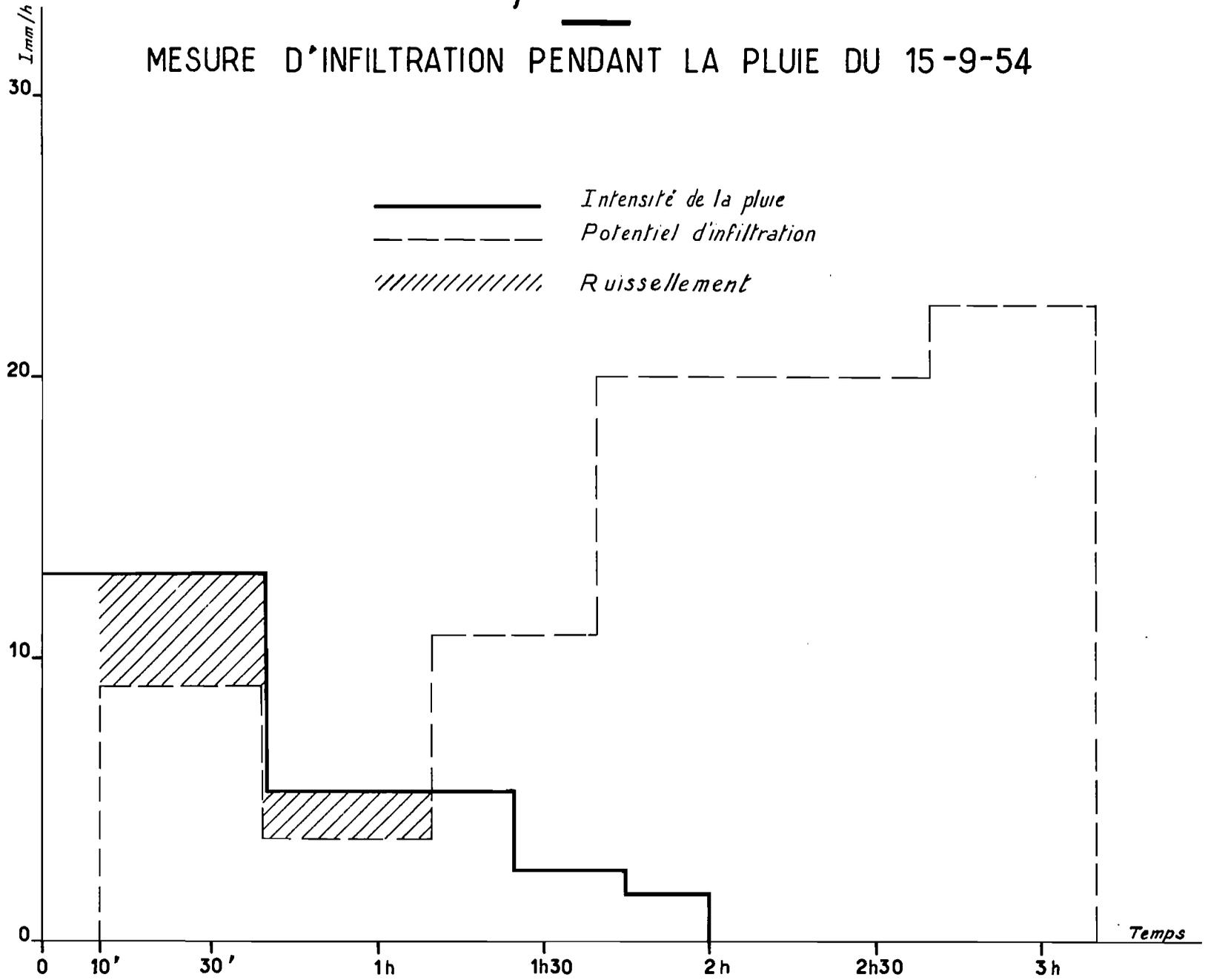
Nos mesures MUNTZ nous donnent une valeur du potentiel d'infiltration valable pour l'état du sol avant le début d'une averse. Seuls des essais pendant une averse pourraient nous renseigner sur la variation de l'infiltration avec la durée et l'intensité de la pluie.

Voici le tableau récapitulatif des essais au MUNTZ, dans lequel nous indiquons l'écart de temps avec la dernière pluie précédant la mesure, pour donner une idée de l'état de saturation du sol.

Dates	Ecart de temps	P.I. mesuré mm/h.	Dates	Ecart de temps	P.I. mesuré mm/h.
<u>1 9 5 4</u>					
7/9	5 j. 1/2	26,5	25/9	9 j.	56
15/9	12 h.	11	14/9	4 j. 1/2	19
24/9	8 j.	56	15/12	55 j.	63
<u>1 9 5 5</u>					
7/5	14 h.	28,8	1/8	6 h. 1/2	10,5
13/5	5 j. 1/2	58,5	8/8	3 j.	32
26/5	5 j.	35	13/8	6 j. 3/4	26
			19/8	2 h.	10,5
11/6	5 j.	29	24/8	5 j.	41
17/6	3 h.	6,7			
24/6	15 h.	47	27/9	7 h.	4,5
			28/9	18 h.	10,2
9/7	13 h.	137	28/9	6 h.	10
12/7	4 h.	9	29/9	17 h.	27
12/7	9 h.	47			
15/7	11 h.	6,5	3/10	7 h.	11
28/7	9 h.	3	12/10	180 h.	20
			20/10	190 h.	47

Mayo BOULORÉ

MESURE D'INFILTRATION PENDANT LA PLUIE DU 15-9-54



ED:

LE: 73-71-56

DES: J. Métyer

VISA:

TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

Les mesures aberrantes sont assez rares (Celle du 9/7/1955 qui donne 137 mm/h. s'est produite sur un trou d'animal ...)

En examinant le tableau de plus près, on verra que, pour deux mesures effectuées avec des écarts de temps semblables avec la pluie précédente, les infiltrations obtenues sont différentes. Par exemple, après 5 jours 1/2 sans pluie, le 7/9/1954, on obtient 26,5 mm/h., mais le 13/5/1955, 58,5 mm/h.

- d) Variation du P.I. dans le temps :

Les quelques rares mesures effectuées en 1954, toutes en Septembre, nous avaient permis de tracer une simple courbe de variation du potentiel d'infiltration en fonction de l'écart de temps à la pluie précédente. Elle était implicitement appuyée sur le postulat suivant : à savoir qu'à la fin d'une averse - origine des temps de la courbe - l'état de saturation du sol était toujours le même.

Cette hypothèse est manifestement fautive. Suivant l'importance d'une averse, son intensité, sa durée, l'infiltration se trouve plus ou moins diminuée. La seule origine des temps valable serait l'état de saturation absolue du sol, pour lequel le potentiel d'infiltration est, évidemment, nul.

Nous avons essayé de rattacher chaque essai à un écart de temps avec l'état de saturation absolue du sol, pris comme origine des temps, cette durée correspondant, théoriquement, au temps que mettrait le sol saturé, en se ressuant librement, sans averse, jusqu'à permettre une infiltration égale au potentiel mesuré dans l'essai donné.

Une première difficulté résidait dans la fixation de l'origine des temps ; nous avons dû la prendre arbitrairement, vis à vis des essais ayant donné un potentiel inférieur à 10 mm/h. La mesure la plus faible a donné 3 mm/h., ce qui est fort voisin de la saturation maximum ; la position du zéro des temps est donc assez bien cernée. En fait, l'imprécision est inférieure à 10 heures et n'entraînerait qu'une simple translation de l'échelle des temps.

En partant de ces très faibles potentiels et, par récurrence, nous sommes passés aux autres essais.

L'examen systématique de toutes les averses de 1955, nous a donné d'autres renseignements sur le potentiel d'infiltration. Sachant, par une mesure effectuée en Décembre 1954, que le potentiel d'infiltration maximum est de 63 mm/h. environ, cette valeur correspond à l'état du sol au début de la première pluie de l'année 1955. Nous pouvons suivre, à travers les tornades, la variation de cet état dans l'année; les intensités des pluies suivant qu'elles sont efficaces ou non, fournissent des limites supérieures ou inférieures du potentiel d'infiltration. Ceci est surtout valable en début de saison des pluies, alors que la végétation est encore inexistante.

- e) Courbes de ressuyage du sol :

Nous avons établi un graphique, en portant en ordonnée, la valeur du potentiel d'infiltration, mesuré en mm/h., en abscisse, l'écart de temps de la mesure avec la saturation maximum du sol. Le mois de la mesure est indiqué par son initiale. Au premier examen, les points aberrants semblent nombreux et la corrélation peu significative entre les deux facteurs. Il est bien certain que la micro-hétérogénéité du sol d'un endroit à un autre (ne serait-ce qu'avec les cailloux du second horizon) est la principale cause de ces irrégularités.

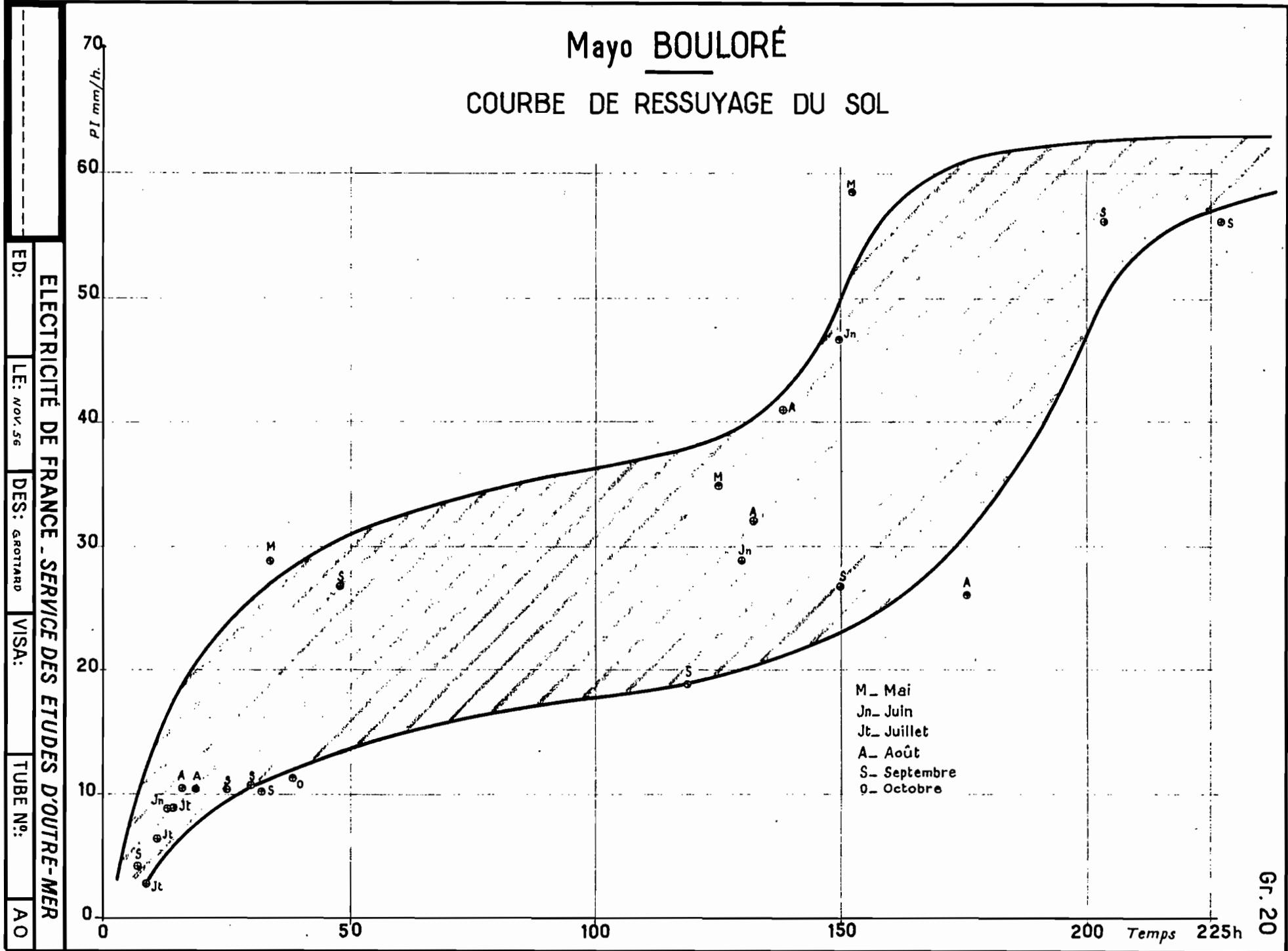
Nous avons, néanmoins, tracé deux courbes, constituant les limites inférieure et supérieure de la plage de points (graphique n° 20).

Ces courbes représentent la variation du potentiel d'infiltration en fonction de l'écart de temps avec la saturation absolue du sol. C'est plus simplement le ressuyage libre d'un sol saturé.

La limite supérieure correspond au mois de Mai, la limite inférieure au mois de Septembre : pourquoi cette différence ?

Mayo BOULORÉ

COURBE DE RESSUYAGE DU SOL



ED: _____
 LE: NOV. 56
 DES: GROTTARD
 VISA: _____
 TUBE N°: _____
 AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

M_ Mai
 Jn_ Juin
 Jt_ Juillet
 A_ Août
 S_ Septembre
 O_ Octobre

En Mai, l'écart entre deux averses a une fréquence moyenne de 5 jours. Le sol sec depuis 6 mois est pourvu de nombreuses fentes de dessiccation.

La végétation herbacée est inexistante. D'une part, l'entrée de l'eau de pluie est rendue difficile car l'air occupe tous les capillaires du sol, d'autre part, le ressuyage est rapide car les fentes de dessiccation sont nombreuses, de grand diamètre, et tous les facteurs météorologiques favorisent une très forte évaporation.

A partir du 15 Juin environ, la saison des pluies s'installe (fréquence moyenne 3 à 4 jours). Les fentes de dessiccation disparaissent, le sol reprend sa structure normale. La vitesse de ressuyage diminue, nous sommes en dessous de la courbe supérieure.

Jusqu'à la fin Août, l'évaporation va diminuer, la végétation croître, le ressuyage sera de plus en plus lent. Nous nous rapprochons de la courbe inférieure.

En Septembre, l'essor de la végétation est considérable. La structure physique du sol est modifiée, la couverture du sol améliorée, l'évaporation n'augmente guère par rapport à Août. Nous sommes sur la limite inférieure.

Les deux courbes ont la même allure : elles présentent deux paliers :

Le premier correspond au ressuyage normal du sol ; la capacité normale de rétention est atteinte ; en hydraulique agricole, la première partie de la courbe correspond au drainage. Le palier atteint, le drainage est terminé.

Ce palier est atteint au bout d'une trentaine d'heures et dure jusqu'à, environ, 100 à 120 heures.

Le palier vaut 14 à 18 mm/h. en Septembre, 30 mm/h. en Mai. Le palier de Mai correspond au sol nu, il est assez fixe ; en Septembre, l'action de la végétation freine le ressuyage, et le palier est moins net, plus long à se stabiliser.

Si le sol continuait à ne pas recevoir d'averses après 120 heures (5 jours environ), ce qui ne se produit guère qu'en début et fin de saison, les courbes présenteraient un décrochement. Peu à peu, l'eau qui n'occupait

plus que les fins capillaires du sol, la capacité de rétention atteinte, va les abandonner à l'air : c'est la période du point de flétrissement. Le palier supérieur correspond à un sol sur lequel l'évaporation n'a plus d'action, l'eau restante est, soit de l'eau d'hygroscopicité, soit de l'eau de constitution ; cette eau ne partira que par action artificielle sur le sol (chauffage desséchant).

Ce palier vaut 63-65 mm/h. ; il est atteint en 170-180 heures, au mois de Mai ; seulement après 250 heures, en Septembre.

- f) Conclusions pratiques :

Les courbes de ressuyage du sol sont pratiquement inutilisables pour déterminer, avec précision, l'état du sol le plus probable au début d'une averse, à une époque donnée de l'année :

- parce qu'elles nous donnent bien le potentiel d'infiltration du sol, mais cela n'est pas, et de loin, la capacité d'absorption totale du bassin ;
- parce que ce potentiel est donné pour un temps inconnu : jamais, l'on ne connaîtra l'abscisse du graphique à utiliser pour une averse réelle donnée ; dans la pratique, en effet, le moment de saturation absolue du sol est inconnu.

L'examen des différents essais, des courbes, va, cependant, nous permettre de donner les valeurs les plus probables du potentiel d'infiltration à un moment déterminé de l'année, au début d'une averse.

Dans le tableau ci-contre, nous donnons les valeurs les plus probables et les plus défavorables (à prendre en considération pour la recherche des crues exceptionnelles) du potentiel d'infiltration pour quatre périodes de la saison des pluies.

Périodes	Valeurs les plus probables de P.I.	Valeurs les plus défavorables
1er Mai- 1er ou 15 Juin	de 30 à 60 mm/h.	20
1er ou 15 Juin-15 Juillet	20 à 40 mm/h.	15
15 Juillet - fin Août	15 à 25 mm/h.	10
Septembre	20 à 45 mm/h.	20
Octobre	30 à 60 mm/h.	30

C'est à partir des courbes de ressuyage qu'ont été établies les valeurs les plus probables du P.I., mentionnées dans le tableau des observations (cf. Hydrologie, paragraphe 7), ayant trait au début de l'averse.

Mais, la portée de cette étude sur le potentiel d'infiltration restera réduite du fait du caractère qualitatif des mesures. Il serait bon d'effectuer des MUNTZ sous la pluie pour essayer d'obtenir une variation du P.I. pendant l'averse.

Nous avons, néanmoins, un ordre de grandeur de l'infiltration, un aspect valable du ressuyage du sol, un certain nombre de points obscurs ont été éclaircis, et cela permettra d'étudier plus facilement la capacité d'absorption.

3°) La capacité d'absorption du bassin :

- a) Facteurs constitutifs :

Rappelons la relation définissant cette capacité :

$$\begin{aligned}
 \text{C.A.} &= \text{P.I.} \\
 &+ \text{Action des végétaux} \\
 &+ \text{Evaporation} \\
 &+ \text{Remplissage des mouilles} \\
 &+ \text{Infiltration pendant le ruissellement.}
 \end{aligned}$$

Quelle est l'importance relative de ces divers facteurs ?

L'évaporation, réduite, sur une nappe d'eau libre, à moins de 6 mm. par jour en saison des pluies, doit être faible sinon négligeable pendant une averse.

De même, l'infiltration sur le ruissellement se produit entre la fin de la pluie efficace et la fin de la période de ruissellement sur le sol ("Overland Flow" des auteurs américains), sur l'eau ruisselante ; dès que les eaux atteignent le réseau hydrographique, cette infiltration est finie. Vu le chevelu assez dense des petites rigoles de ce réseau, nous pensons que ce facteur est, également, faible.

Les trois autres facteurs sont prépondérants, d'importance variable avec la fréquence des averses.

Notons que la capacité d'absorption doit être prise par rapport au volume écoulé à la station correspondant à V_R (voir définition donnée plus haut et non par rapport à V_{R1} : ceci à cause de la structure du lit du mayo. Pour tout autre cours d'eau au lit régulier, ou à écoulement permanent, il est inutile de faire cette distinction.

Le remplissage des mouilles du lit demande un fort volume d'eau, difficilement évaluable. En tenant compte du temps de rétention t_r , de la vitesse moyenne de ruissellement sur le sol (calculée à partir du temps de concentration), on peut trouver un ordre de grandeur au volume total des mouilles : il serait de 700 m³ environ.

Ces mouilles reposant, en général, sur la roche, ne se vident que par évaporation, une fois l'écoulement terminé.

Les deux facteurs du remplissage des mouilles et du potentiel d'infiltration varient dans le même sens, au cours de la saison des pluies.

Leur variation suit l'évaporation et la fréquence de l'écart entre les averses ; leur importance diminue à mesure que la saison des pluies s'avance de Mai à Août, pour renaître légèrement en Septembre.

L'action des végétaux, nulle en Mai-Juin, devient importante en Juillet, Août, et dominante en Septembre.

Le remplissage des mouilles demanderait un volume de 700 m³, ce qui fait à peine 2 mm. Voyons ce que cette hau-

teur d'eau représente pour une pluie :

- une averse unitaire dure, en général, 15', cela fait 8 mm/h. pour les mouilles. Nous verrons plus loin les valeurs de CA : cette intensité vaut 15 à 20 % du total.

- si une pluie ne donne qu'un faible écoulement localisé, la pluie efficace dure quelques minutes, la valeur du remplissage des mouilles devient vite le facteur prépondérant de la capacité d'absorption.

Nous verrons, plus loin, la part de l'infiltration du sol et des végétaux dans la capacité d'absorption.

- b) Facteurs influants :

Voyons maintenant quels sont les facteurs influant sur la capacité d'absorption dans l'année. Nous les avons déjà cités lors de l'étude du potentiel d'infiltration. Ils sont trois :

- état du sol (structure)
- fréquence des averses
- état de la végétation

à partir desquels nous avons établi quatre périodes distinctes dans la saison des pluies. Pendant chacune de ces périodes, les trois facteurs sont sensiblement constants ou restent dans un intervalle connu. De ce fait, la valeur de la capacité d'absorption au début d'une averse n'est plus quelconque, mais définie entre certaines limites.

Récapitulons l'importance de ces trois facteurs pendant les quatre périodes de pluies :

Dates	Fréquence de l'Ecarts : entre averses : moyenne	Ecart : défavorable	Etat du sol	Végétation
<u>1ère période</u>				
1er/5 1 ou 15/6	5 j.	48 h.	Très sec Fentes de dessiccation Infiltration difficile Ressuyage rapide	Couverture herbacée nulle
<u>2ème période</u>				
1 ou 15/6 15/7	3 à 4 j.	24 h.	Structure normale Ressuyage ralenti	Démarrage de la végétation herbacée
<u>3ème période</u>				
15/7 Fin Août	2 j.	12 à 18 h.	Ressuyage difficile	Forte densité herbacée - Hauteur = 0,50 m. env.
<u>4ème période</u>				
1/9 début Octo- bre	5 j.	48 h.	Ressuyage très lent	Très abondan- te période de floraison

- c) Etude de CA pendant une averse :

Nous n'avons pas, comme pour le potentiel d'infiltration, de possibilités de mesure de la capacité d'absorption. Seul, l'examen des averses peut nous renseigner. En effet, à chaque période de pluie efficace, correspond

une valeur moyenne de la capacité d'absorption du bassin, pour toute la durée de la pluie efficace. C'est une mesure indirecte et c'est la seule. Parfois, c'est l'inverse qui se produira : connaissant la capacité d'absorption, on en déduira la durée exacte de la pluie efficace.

Cependant, l'examen sur le hyétogramme des différentes intensités susceptibles d'être efficaces, associé à l'observation du ruissellement sur le terrain, nous permet toujours de déterminer les fractions efficaces des averses.

Le volume des précipitations pendant la période efficace donne un certain volume écoulé, la différence est "absorbée" par le bassin. D'où le calcul simple de la valeur moyenne de la capacité d'absorption pour la durée de l'averse efficace :

$$CA \text{ mm/h.} = \frac{V_{p\text{-eff.}} - V_R}{S \text{ km}^2 \times T\text{-eff.}}$$

Cette valeur est portée sur le hyétogramme de l'averse (et mentionnée au tableau des observations, chapitre Hydrologie, paragraphe 5).

Si nous avons deux fractions distinctes de pluie efficace donnant deux ruissellements séparés, on peut obtenir une seconde valeur de la capacité.

Nous avons encore deux sources de renseignements pour tracer la courbe de variation de la capacité d'absorption pendant l'averse :

- tout d'abord, les parties non efficaces de la pluie, surtout vers la fin, sont souvent des limites inférieures de la capacité.
- à l'aide de la courbe de ressuyage du sol et en progressant d'averse en averse depuis le début de la saison des pluies, on peut avoir la valeur du potentiel d'infiltration au début de la pluie étudiée. En y ajoutant une certaine fraction, pour tenir compte du stockage dans le lit, on a une limite inférieure de la capacité, au début de la pluie.

En tenant compte des différentes intensités de chaque averse, on arrive à tracer, avec une approximation suffisante, la variation de la capacité pendant une pluie, tout au moins depuis le début jusque peu après la fin de la partie efficace.

En examinant ces différentes courbes de variation de la capacité pendant une averse, nous pouvons dire que :

- la capacité décroît avec le temps, plus ou moins vite suivant l'intensité de la pluie ;
- au cours de deux averses de même intensité, la variation de la capacité peut ne pas être la même, si les deux averses se sont produites pendant des périodes différentes de la saison des pluies.

Mais, pendant une même période, (fréquence des averses, état du sol et de la végétation, restant dans certaines limites), la capacité d'absorption, à l'origine de l'averse, ne doit varier qu'en fonction de l'intensité de la pluie.

- d) Variation de la capacité avec l'intensité de la pluie :

(Ce paragraphe ne doit être considéré que comme un essai qualitatif d'interprétation : il sera revu dans les prochaines éditions).

En compilant toutes les courbes de capacité des 48 averses, on peut trouver des tronçons de courbes allant d'une valeur de CA à une autre pour une durée donnée et une certaine intensité ; on porte tous ces tronçons correspondant à une fraction de pluie d'intensité constante, en mentionnant la période de pluie sur un grand graphique.

Nous nous sommes efforcés de rapprocher les tronçons correspondant à des intensités de 150 - 75 - 50 - 30 - et 15 mm/h. ; en extrapolant entre deux tronçons isolés, on arrive à une courbe régulière de variation de capacité instantanée en fonction du temps, pour une intensité fixe et pour une période donnée.

Il est beaucoup plus parlant de rapprocher les courbes obtenues pour une même intensité, pendant les quatre périodes. Ces quatre courbes portées sur le même graphique

(capacité en fonction du temps) donnent un faisceau divergent avec le temps. Du début à la fin de la saison des pluies, la variation de la capacité est de plus en plus lente avec le temps. Pour chaque intensité de pluie, nous conservons la courbe inférieure (lère période ; Mai - Juin) et la supérieure (Septembre - Octobre) qui limitent une bande.

Les cinq bandes ainsi obtenues pour les intensités de pluie précitées sont portées sur un même graphique (n° 21) Ce graphique demande quelques explications :

- Pour l'intensité de 150 mm/h., nous ne donnons que la limite inférieure, n'ayant eu qu'une seule pluie de cet ordre, en Septembre 1955.
- Comme indiqué précédemment, nous pouvons évaluer une limite inférieure de la capacité en début d'averse, mais nous ne connaissons pas la valeur maximum de cette capacité, aussi les origines des courbes ne sont-elles pas fixées.
- Pour clarifier le graphique, chaque bande est décalée de la précédente dans l'échelle des temps.
- Nous n'avons pas extrapolé nos courbes en dehors des tronçons connus, aussi les courbes limites ne couvrent-elles pas toute l'échelle de capacité possible.

Que valent ces bandes ? Construites à partir des déterminations approximatives de la variation de la capacité au cours de toutes les averses, elles représentent l'allure la plus probable de la variation de la capacité d'absorption du bassin, connaissant et l'état du bassin (période de l'année) et l'intensité de la pluie.

Grâce à ce graphique général, il est possible de tracer, sur un hyétogramme donné, la courbe moyenne de variation de la capacité.

- e) Valeurs les plus probables de la capacité :

A partir du tableau donnant les valeurs les plus probables du potentiel d'infiltration en début de pluie, pour une période donnée de la saison, nous passerons au tableau des capacités. En examinant à chaque averse le P.I. au début et la capacité correspondante, on obtient une certaine corrélation, variable dans l'année.

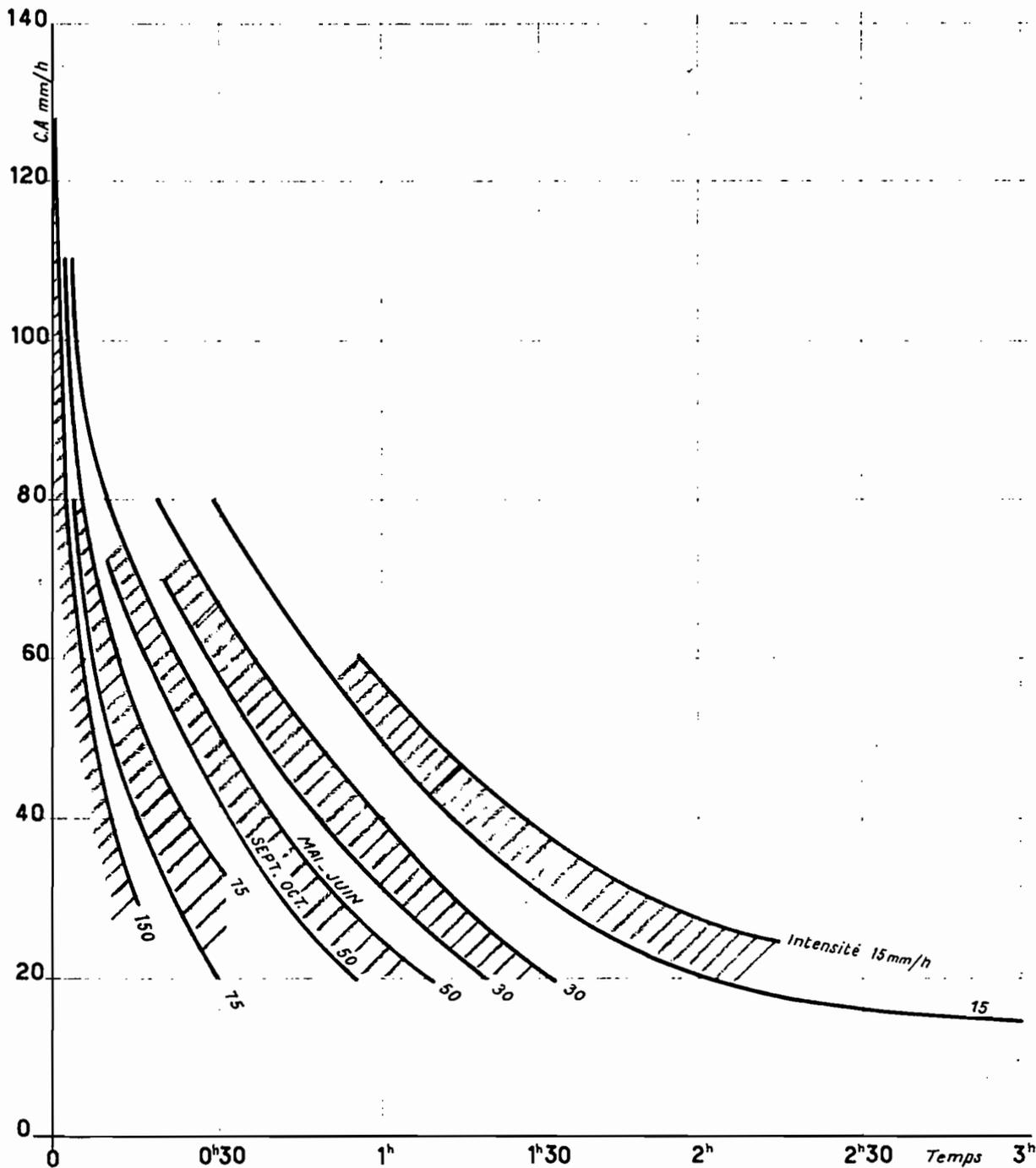
Nous allons fournir, dans le tableau ci-dessous, pour chaque période, les valeurs les plus probables du potentiel et de la capacité, en indiquant l'influence de la végétation et du volume de remplissage des mouilles. Ces valeurs sont des moyennes susceptibles de varier sensiblement pour des cas particuliers ; nous donnons aussi les valeurs les plus défavorables pour les études de ruissellement de pluies exceptionnelles.

Périodes	Capacité Absorption: en mm/h.			P.I. en mm/h.			Végéta- tion % CA	Remplissa- ge des mouilles % de CA
	Moyen.	Défav.	Maxim.	Moyen.	Défav.	% de CA		
<u>1ère</u>								
Mai à 1 ou 15/6	35 à 65	25	70	30 à 60	20	80 à 90 %	presque nulle	10 à 20 %
<u>2ème</u>								
1 - 15/6 15/7	30 à 60	25	80	20 à 40	15	60 à 70 %	20 à 30 %	10 à 20 %
<u>3ème</u>								
15/7 Fin Août	40 à 75	20	100	15 à 25	10	30 %	60 à 70 %	5 à 10 %
<u>4ème</u>								
Septembre	75-100	30-35	130	25 à 45	20	20 à 25 %	70 à 80 %	10 à 15 %
<u>5ème</u>								
Début Oc- tobre	75-100	35-40	130	35 à 60	30	25 à 30 %	65 à 70 %	10 à 20 %

Il est certain qu'en considérant l'extrême diversité des phénomènes en cause dans l'évaluation de la capacité d'absorption, nous ne pouvons donner, comme valeur moyenne

Mayo BOULORÉ

VARIATION DE LA CAPACITÉ D'ABSORPTION AVEC L'INTENSITÉ DE LA PLUIE



ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:	LE: NOV. 56	DES: GROTARD	VISA:	TUBE N°:	AO
-----	-------------	--------------	-------	----------	----

la plus probable, qu'une zone assez étendue d'intensité horaire de cette absorption.

Les valeurs maxima observées sont déduites de nos observations ; elles sont limitées par les intensités efficaces observées.

En effet, surtout en période de forte végétation, la capacité d'absorption semble énorme : il nous a fallu une pluie de 150 mm/h. pour nous en rendre compte.

L'importance du volume pris par les mouilles est en réalité très variable, suivant l'écart entre les pluies, la force des averses ; ce volume représente tantôt une petite fraction de la capacité, tantôt une grosse part (cas des écoulements localisés).

Les pourcentages réciproques du potentiel d'infiltration et de la végétation montrent bien l'importance variable de ces deux facteurs, et la part prépondérante que prend la végétation en fin de saison. Ceci est très intéressant à noter, lorsqu'on connaît la faible couverture végétale de cette région qui, cependant, est susceptible d'amortir sensiblement le ruissellement.

4°) Détermination de l'averse critique d'écoulement

Nous appelons "averse critique d'écoulement", la plus faible pluie (en intensité et en durée) pouvant donner lieu à ruissellement.

Nous disposons de deux procédés se recoupant pour mettre cette limite critique en évidence :

- a) A l'aide du graphique général de variation de la capacité d'absorption avec l'intensité de la pluie, et du tableau des valeurs les plus probables de cette capacité.

Pour chaque intensité de pluie 15, 30, 50, 75 et 150 mm/h. du graphique, cherchons la durée moyenne et la durée la plus faible d'une pluie pour donner lieu à écoulement ; nous prenons, comme points de départ, les valeurs moyennes et les plus défavorables de la capacité (données au tableau du paragraphe 3-e) ; en suivant la courbe corres-

pendant à l'intensité sur le graphique, on s'arrête en coupant l'ordonnée donnant la capacité, de même valeur que l'intensité de pluie considérée.

Cette opération, effectuée pour chaque intensité, et répétée pour les quatre périodes de la saison des pluies, nous donne un certain nombre de limites de temps, rassemblées dans le tableau ci-dessous :

Périodes	15 mm/h	30 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	150 mm/h
<u>1ère</u>					
Moyenne	1 h.30'	22'	5'	nulle	nulle
Défavorable	50'	- de 5'	- de 5'	"	"
<u>2ème</u>					
Moyenne	1 h.40'	25'	5'	nulle	nulle
Défavorable	50'	- de 5'	- de 5'	"	"
<u>3ème</u>					
Moyenne	+ de 2h	36'	10'	nulle	nulle
Défavorable	30'	- de 5'	- de 5'	"	"
<u>4ème</u>					
Moyenne	2 h.30'	1 h.00	24'	10'	nulle
Défavorable	1 h.15'	10'	- de 5'	nulle	"

- b) Pour chacune des 48 averses observées, nous connaissons l'intensité efficace et la durée de la pluie efficace.

Nous établissons un graphique logarithmique (I-eff en ordonnée - T-eff en abscisse) dans lequel (graphique n° 22) :

- chaque crue d'écoulement généralisé est représentée par une croix et son numéro ;

ED:

LE: Nov 56

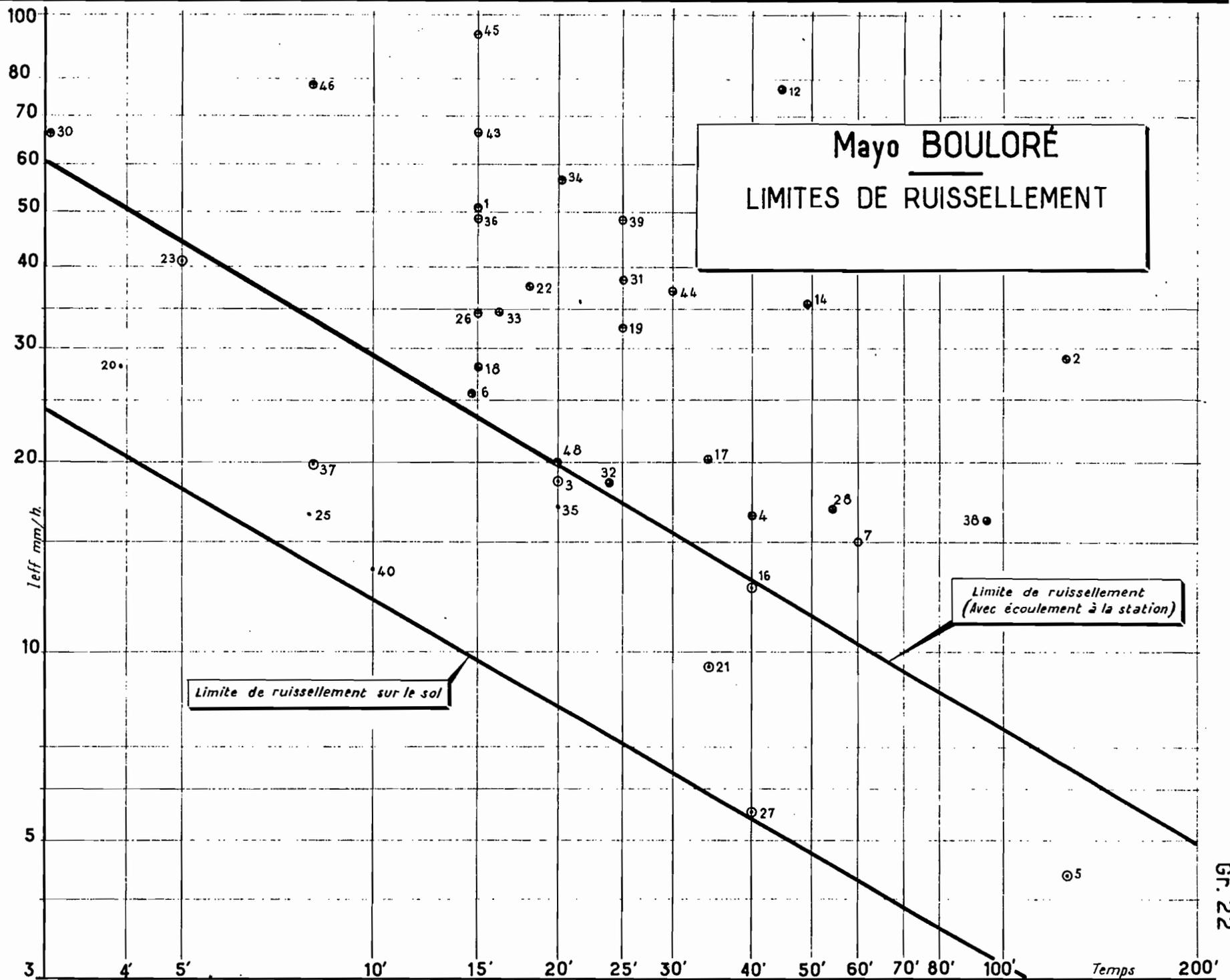
DES: GROTARD

VISA:

TUBE N°:

AO

ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER



- chaque crue d'écoulement localisé, par une croix cerclée et son numéro ;
- chaque ruissellement simple sur le sol (sans écoulement à la station) par un point et son numéro.

Nous pouvons tracer une droite au-dessus de laquelle toutes les crues sont à écoulement généralisé. C'est la limite de ruissellement (avec écoulement à la station).

En dessous de tous les points, nous traçons une seconde droite, limite de ruissellement sur le sol (sans écoulement à la station)? Cette droite doit être parallèle à la précédente, car la zone intermédiaire représente le volume de stockage des mouilles du lit du mayo. A l'intérieur de cette bande, les points de ruissellement ou d'écoulement localisés sont plus ou moins près de l'une ou l'autre limite suivant le degré de remplissage des mouilles, au début de l'averse correspondante.

Remarquons que ce graphique est beaucoup moins précis que le tableau obtenu au paragraphe précédent. En effet, il ne tient compte que de l'intensité et de la durée de la pluie efficace. Or, pour une pluie d'I-eff. et T-eff. connus, la possibilité de ruissellement est fonction de la valeur de la capacité d'absorption en début d'averse et du degré de variation de cette capacité, variable avec la période de pluie.

Ainsi donc, la droite de limite de ruissellement correspond-elle à une limite inférieure pour toute la saison des pluies, donc aux valeurs les plus défavorables observées.

La capacité d'absorption, tenant compte du volume de remplissage du lit, nous donne une limite de ruissellement avec écoulement à la station (R), et non de ruissellement simple sur le sol (R_1), de telle sorte que la limite d'écoulement de ce graphique doit correspondre au tableau précédent.

On trouve, en effet :

I-eff.	15 mm/h.	30 mm/h.	50 mm/h.	75 mm/h.	150 mm/h.
Durée la plus faible	32'	10'	4'	0	0

Ces limites sont semblables aux plus faibles valeurs données par le tableau. On voit que :

- A toute période de l'année, une pluie de 75 à 150 mm/h. sera efficace immédiatement, en moins de 5'.

- Les limites inférieures observées sont plus élevées que celles calculées d'après le graphique de variation de la capacité :

- pour 50 mm/h. 4' contre moins de 5'
- pour 30 mm/h. 10' contre moins de 5'
- pour 15 mm/h. 32' contre 30'

Il est évident, qu'ayant rassemblé, dans ce paragraphe, toutes les possibilités les plus défavorables, les limites inférieures obtenues sont vraiment très faibles, et la probabilité de ruissellement aux abords de ces limites est aussi très petite.

Il faut aussi remarquer qu'une pluie d'intensité et de durée supérieures à ces limites peut fort bien ne pas donner d'écoulement. En effet, le graphique est établi à partir des intensités et des durées de pluie efficace et non de pluie totale. Prendre les valeurs de pluie totale n'aurait, en effet, aucun sens ; mais, par contre, à l'inverse, rien ne dit qu'une pluie située au delà de ces limites soit efficace.

L'examen de la capacité d'absorption probable peut seul nous renseigner. L'utilisation pratique de cette limite d'écoulement est donc restreinte.

5°) Coefficients de ruissellement des crues :

Nous ne considérerons, dans le présent chapitre, que le ruissellement R arrivant à la station et non le ruissellement R_1 sur le sol.

Aux 48 averses étudiées, nous ajouterons les 12 crues non observées de 1954, leur coefficient de ruissellement étant évalué par comparaison avec des pluies d'intensité et durée correspondantes, compte tenu de l'état du sol.

Dans le tableau ci-dessous sont rassemblées, par mois, les valeurs de ce coefficient :

Année	Mois	0-5 %	5-10 %	10-20 %	20-30 %	30-40 %	40-50 %
1954	Juin	1					1
	Juil.	10	1		2		13
	Août	4	4	2			11
	Sept.	2				1	3
	Total	17	5	2	2	1	28
1955	Mai	1	2				3
	Juin	5	1				6
	Juil.	3	3	1	2		9
	Août	3	2	1			6
	Sept.	5	1	1			7
	Oct.	1					1
Total	18	9	3	2		32	
1954 + 1955		35	14	5	4	1	60

Plusieurs remarques s'imposent :

- En Mai, Juin et Octobre, la sécheresse du sol ou la forte végétation, associées à de petites averses violentes et courtes ne donnent pas de gros coefficients d'écoulement.

- Les gros coefficients sont le fait des fortes pluies, survenant en pleine saison, sur un terrain plus ou moins bien ressuyé.

- Près de 80 % des crues ont un coefficient d'écoulement inférieur à 10 %. Ceci est particulièrement remarquable si l'on considère que le terrain est relativement imperméable.

Il serait intéressant de pouvoir rattacher le coefficient d'écoulement à quelques-unes des valeurs caractéristiques des averses ou du bassin.

Il n'y a que de faibles corrélations entre ce coefficient d'une part, et l'intensité efficace de l'averse ou la hauteur totale de l'averse, d'autre part.

Une certaine corrélation apparaît avec la hauteur de pluie efficace, comme on peut le voir sur le graphique n° 23. Certes ceci est bien grossier, comme nous le verrons plus loin; mais ce graphique aura le mérite de faire apparaître l'irrégularité du ruissellement au cours de la saison des pluies.

Si nous distinguons les coefficients d'écoulement d'après le critère des périodes de pluies, nous voyons une nette séparation entre les valeurs obtenues pour une même hauteur efficace, avec la période. Pour une même hauteur efficace, les coefficients d'écoulement seront décroissants dans l'ordre :

- Juillet
- Mai-Juin
- Août
- Septembre

La seule chose intéressante à tirer de cette confrontation est le caractère dangereux des averses de Juillet vis à vis de Mai et Juin. En effet, en début de saison, le sol est très sec, bien que nu, et absorbe beaucoup d'eau ; mais, en Juillet, la végétation est encore insignifiante et le sol ayant retrouvé sa structure normale, la capacité d'absorption semble donc plus faible.

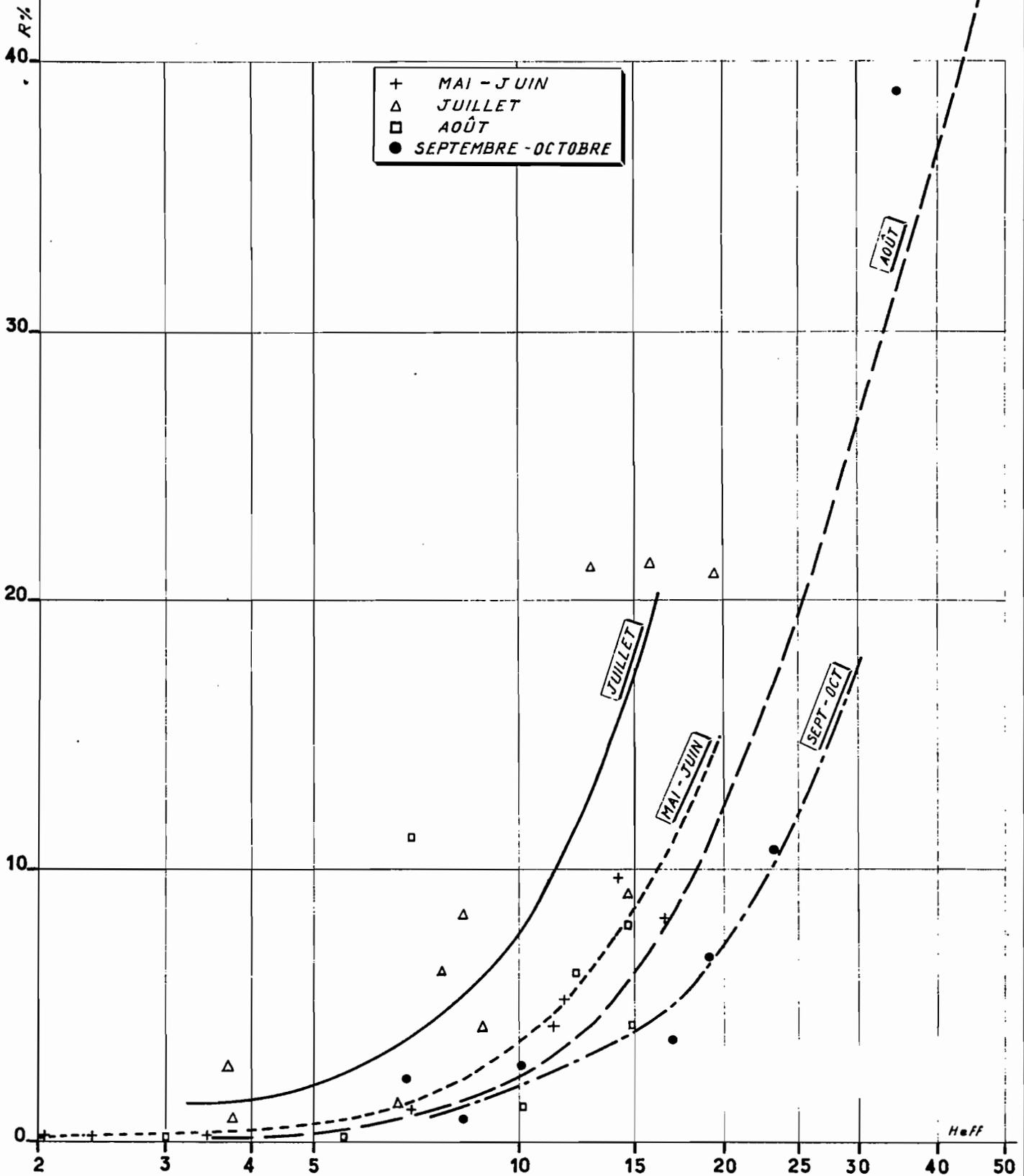
Il y a, certes, des points aberrants, mais notons que le point 35 mm/h. - 38 % correspond à une averse du 1er Septembre, ce qui explique fort bien sa présence sur la courbe d'Août.

Si l'on veut pousser le problème plus à fond, il faut non pas considérer la hauteur efficace, mais l'intensité efficace et la durée efficace, prises séparément, et utiliser des coefficients de ruissellement, calculés à partir des pluies efficaces, au lieu des pluies totales, ce qui élimine la forme de l'averse.

En effet, bien que donnant une même hauteur, deux averses efficaces, l'une de 10 mm/h. en 20', l'autre de 20 mm/h. en 10', n'ont certainement pas la même "potentialité" de ruissellement.

Mayo BOULORÉ

COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT



ELECTRICITÉ DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

ED:

LE: 15-11-56

DES: J. Métyer

VISA:

TUBE N°:

AO

Nous pouvons supposer une relation de la forme :

$$R \% = K \cdot I\text{-eff}^a \cdot T\text{-eff}^b$$

La potentialité de ruissellement représentée par le produit $I\text{-eff}^a \cdot T\text{-eff}^b$ (où a et b sont des exposants positifs) se traduira graphiquement en coordonnées logarithmiques, par un faisceau de droites parallèles de pente b avec $a \log.I\text{-eff}$ en ordonnée et $\log.T\text{-eff}$ en abscisse.

Nous avons vu que le graphique simple $I, T\text{-eff}$ en coordonnées logarithmiques fournit des droites limites de ruissellement et, qu'en s'éloignant parallèlement à ces droites, on va vers des coefficients de ruissellement croissants. Mais, ce graphique ne tient pas compte de la potentialité réelle d'une averse, H efficace mise à part.

Le facteur k de notre relation doit modifier la potentialité $I\text{-eff}^a \cdot T\text{-eff}^b$, suivant l'état du terrain, de la végétation, en début de pluie.

La capacité d'absorption du bassin étant égale à l'intensité efficace, en début de pluie efficace d'une part, et sa variation étant fonction de l'intensité efficace d'autre part, faire intervenir cette valeur dans k , ferait double emploi.

Aussi, k nous semble-t-il un facteur correctif qui pourrait être variable avec les périodes de saison des pluies mises en évidence précédemment, c'est-à-dire représentant les pentes des courbes de variation de la capacité d'absorption en fonction de l'intensité efficace dans le temps : pentes décroissantes de Mai à Septembre.

Nous avons essayé, graphiquement, de vérifier ces hypothèses en partant des coefficients d'écoulement connus pour remonter aux valeurs d'intensité-durée ; dans la majorité des cas, une loi semblable paraît unir les facteurs considérés. Malheureusement, la détermination du facteur k doit être beaucoup plus complexe que nous ne le pensions ; nos connaissances sur l'infiltration et l'absorption sont encore trop rudimentaires pour trouver le facteur correctif de la potentialité Intensité-Durée.

F) BILAN HYDROLOGIQUE -

1°) Coefficients d'écoulement mensuels :

Le bilan de l'écoulement a été dressé pour chaque mois de 1954 et 1955, à partir des relevés de crues observées et des valeurs moyennes mensuelles de la pluviométrie sur le bassin.

	Pluie moyenne mensuelle - mm.	Volume eau pluie - m ³	Volume écoulé m ³	Coefficient d'écoulement
<u>1954</u>				
Juin	53	199.000	4.500	2,5
Juil.	244	914.800	91.050	10
Août	330	1.240.000	195.640	15,8
Sept.	80,8	302.300	52.980	17,5
Oct.	19,6	73.500	-	-
Année	727,4	2.729.600	344.170	12,6
<u>1955</u>				
Mai	79	296.100	15.825	5,3
Juin	101	377.900	13.640	3,6
Juil.	210	787.400	77.625	9,9
Août	188	703.200	28.316	4
Sept.	211	792.200	34.870	4,3
Oct.	42,5	159.200	2.640	1,7
Année	831,5	3.116.000	172.916	5,55

Remarquons, tout d'abord, que 1954 et 1955 ont une pluviométrie semblable sur le bassin au total, mai 1954 ayant donné 117 mm. à MAROUA.

Comme nous le pensions déjà en 1954, ces coefficients d'écoulement n'ont pas une grande signification.

L'absence d'écoulement permanent alimenté par une nappe phréatique ou alluvionnaire restreint la détermination de ces coefficients aux seules pointes de crues. Aussi, les valeurs trouvées sont-elles très influencées par le moindre phénomène exceptionnel dans la pluviométrie ou l'écoulement.

En 1955, nous avons estimé avec plus de précision, les valeurs d'écoulement des 12 crues non observées en 1954. De ce fait, les coefficients ont subi quelques modifications.

Les coefficients d'écoulement d'Août et Septembre 1954 sont artificiellement gonflés :

- le premier par la crue du 28 Août donnant 113.000 m³ sur les 195.000 du mois, avec 47,5 % d'écoulement ;
- le second par la crue du 1er Septembre qui, avec 38 % de coefficient, fournit plus de 95 % du volume écoulé dans le mois.

Par contre, 1955, qui se présente comme une année normale, sans pluie ni crue exceptionnelles, apporte des coefficients d'écoulement plus significatifs. Il est très agréable de voir se confirmer l'hypothèse émise au paragraphe 5 du chapitre "Infiltration", sur l'importance décroissante des coefficients d'écoulement de chaque crue, de Juillet à Septembre, en passant par Mai, Juin et Août.

Le coefficient de Mai est légèrement supérieur à ceux des gros mois de pluie que sont Août et Septembre.

2°) Coefficients et déficits d'écoulement annuels :

	E %	Lame d'eau écoulée	Déficit d'écoulement
1954	12,6	91,8 mm.	635,6 mm.
1955	5,55	46,1 "	785,4 "

Les deux crues exceptionnelles ont encore influencé le coefficient annuel de 1954. A ces 12,6 % correspondent 5,55 % pour 1955, année normale. Pour un terrain assez perméable, de tels coefficients paraissent ridiculement faibles.

Nous savons que, dans la même région de MAROUA, des mayos importants, coulant sur terrains granitiques, ont des coefficients d'écoulement de 20 à 25 %.

Ici, la quasi-imperméabilité du bassin favorise les fortes crues dont les débits de pointe et les volumes peuvent être très dangereux.

Mais, par contre, l'absence de nappe alluvionnaire prive l'écoulement d'une part importante. Pour tous ces mayos, à régime semblable (fortes pointes de crues de quelques heures à 48 h.), c'est l'écoulement permanent de nappe, quand il y en a, qui apporte le plus gros volume d'eau.

Il est à peu près certain que, sur un bassin versant de terrain granitique, de même surface, les crues seraient beaucoup plus faibles, mais le coefficient annuel serait plus fort, gonflé par les nappes.

Dans le cas de sol imperméable, on constate que le coefficient d'écoulement annuel ne permet, en aucune façon, de se faire une idée sur le coefficient de ruissellement correspondant à une averse donnée.

Par contre-coup, le déficit d'écoulement est très affecté par ces variations brusques du coefficient E %. Il ne nous paraît, cependant, guère possible d'obtenir un écoulement inférieur à celui de 1955.

Nous connaissons la forte irrégularité interannuelle des pluies à MAROUA (600 à 1.100 mm.). Il est, cependant, plausible d'admettre qu'aux fortes années pluvieuses correspondent les averses les plus dangereuses. En supposant une variation moyenne de la lame d'eau écoulée de 45 à 100 mm., on voit que le déficit d'écoulement peut varier dans d'énormes limites, allant de 555 mm. à 1.000 mm. Cela ne paraît pas inconcevable.

3°) Débits solides :

Il nous a paru souhaitable de chercher à obtenir une première approximation des débits solides charriés lors des crues par les mayos de la région de MAROUA.

Sur le BOULORE, nous n'avons effectué que trois séries de mesures, rassemblées dans le tableau ci-dessous :

Dates	Hauteur de l'eau	Dist. RG	Profondeur	Poids pour 10 l.	C g./l.
I B 19/8/55	0,55 début décrue	+ 3 m. (milieu hauteur)	0,30 (milieu hauteur)	9,3	0,93
		+ 6 m.	0,30	7,4	0,74
II B 10/9/55	0,26 Crue	+ 3 m.	0,20	6,8	0,68
	0,35 Max. étale	+ 3 m.	(milieu hauteur)	4,65	0,46
	0,26 Décrue	+ 3 m.	(milieu hauteur)	2,8	0,28
III B 20/9/55	0,12 Décrue	milieu section	(milieu hauteur)		0,32

Ces quelques mesures, très insuffisantes, montrent néanmoins :

- l'extrême variation, du simple au triple, du débit charrié quand la hauteur d'eau passe de 0,12 à 0,55 ;
- la mesure du 10 Septembre est très intéressante : elle montre que, pour un même débit liquide, le débit charrié passe de 0,68 g./l. à la crue 0,28 g./l. à la décrue. Le débit solide doit, d'ailleurs, varier avec le gradient de montée de la crue, puisqu'à l'étale maximum

il est déjà retombé à 0,46 g./l.

Une étude complète de ce problème devrait se composer d'un grand nombre de mesures, à différentes hauteurs, à la montée et à la descente des eaux. Il est certain que le graphique des débits solides Q_s , en fonction des hauteurs d'eau, se composerait de plusieurs courbes ... (suivant les gradients de montée ou les pentes de surface) pour la crue et la décrue, très distinctes entre elles.

Il serait alors possible d'évaluer, d'une façon correcte, les volumes charriés à chaque crue.

Nous avons dû nous contenter d'une grossière approximation, en prenant des concentrations variables pour différentes hauteurs d'eau, sans différencier crue et décrue.

Hauteurs	Débit m ³ /sec.	C g./l.
+ de 0,60 m.	+ de 6 m ³ /s.	0,90
0,4 < H < 0,6	3 < Q < 6	0,60
0,2 < H < 0,4	1 < Q < 3	0,45
H < 0,2	Q < 1	0,3

Les poids totaux transportés en suspension auraient été :

- en 1954 : 20,8 tonnes pour 344.000 m³ d'eau
- en 1955 : 11,5 tonnes pour 172.900 m³ d'eau.

C O N C L U S I O N

I/ CARACTERISTIQUES PHYSIQUES du BASSIN -

Résumons brièvement les caractéristiques essentielles qui permettent de situer le bassin versant étudié :

- Zone tropicale Nord latitude 10° N.
- Zone pluviométrique des 800 mm. (d'Avril à Octobre)
- Surface du bassin 3,75 km²
- Kf = 1,65
- Kp = 0,256
- Pente moyenne : 44 m/km.
- Sol argileux de décomposition de roches éruptives, couvert d'une savane mixte à feuillus et épineux, faible couvert herbacé.

II/ RESULTATS ESSENTIELS -

- Le grand nombre de petites pluies inférieures à 5 mm. limite considérablement les possibilités d'observation de crues à 25 à 40 cas par an.

- Sur une très petite surface, les pluies sont très irrégulières dans la majorité des cas. La présence de nombreux pluviomètres est indispensable.

- L'enregistrement des intensités de pluie et des durées est essentiel et ne sera jamais assez minutieux.

- La violence des crues nécessite l'installation de stations de jaugeages fortement équipées, un limnigraphe précis est indispensable. Un dispositif de mesure pour ressaut, venturi au déversoir artificiel est recommandé.

- L'irrégularité du profil en long du lit du mayo crée des perturbations dans les petits écoulements et empêche la détermination exacte du ruissellement hypodermique.

- Bien que les difficultés soient nombreuses, et toutes opérations faites, les crues utiles en petit nombre, la méthode des hydrogrammes unitaires a conduit à des résultats satisfaisants.

- Le diagramme de distribution moyen est connu avec une bonne approximation.

- Le problème de l'infiltration est complexe. La pratique systématique d'essais MUNTZ pendant les averses pourrait donner des renseignements sur la variation de ce phénomène. La connaissance de la capacité d'absorption est capitale : c'est elle qui conditionne la détermination des hydrogrammes de crues calculés à partir des pluies.

- L'absence de nappe souterraine conduit, malgré la forte imperméabilité du terrain, à des coefficients d'écoulement annuels très faibles (5,5 et 12 %), à l'encontre des terrains granitiques où ce coefficient dépasse toujours 20 %.

- L'action érosive des eaux ruisselantes est forte. Le débit de suspension est de l'ordre de 0,6 g./l. en moyenne. Il est très variable avec la crue, la décrue, la hauteur d'eau.

III/- DETERMINATION des CRUES EXCEPTIONNELLES -

Les résultats de ces deux campagnes permettent de déterminer la valeur d'une crue à partir du hyétogramme de la pluie efficace. La marche à suivre sera :

- Détermination ou examen du hyétogramme
- Examen de l'état du sol, de la végétation avant l'averse
- Détermination de la courbe de variation de la capacité d'absorption, en fonction des intensités de la pluie
- Mise en évidence des fractions de pluie efficace
- Décomposition de la pluie efficace en averses unitaires
- Etablissement des hydrogrammes unitaires dus à ces averses
- La sommation graphique de tous ces hydrogrammes donnera la crue cherchée.

La latitude reste assez grande de varier les chiffres, au cours de ce schéma de travail, suivant le but poursuivi, le degré d'exceptionnalité recherché, le danger de la crue calculée, etc ...

A titre d'essai, nous avons calculé la crue résultante de la plus forte pluie connue à FORT-LAMY. Nous ne connaissons pas de hyétogramme parfait, aussi notre étude est-elle approximative.

Cette pluie d'Août 1950 a donné 180 mm., dont 135 mm. en 2 heures.

La hauteur d'eau seule correspond à une probabilité bien supérieure à la pluie duodécennale (115 mm.).

De même, l'intensité moyenne de 67,5 mm/h. pendant 2 heures place cette pluie dans les probabilités de la zone intermédiaire entre la pluie duodécennale et la pluie cinquantenaire.

Nous ne pouvons mieux préciser.

Nous avons supposé l'état du sol normal en Août (capacité d'absorption, au début de l'averse, de 60 mm/h.) et utilisé le diagramme de distribution moyen.

Nous obtenons les valeurs suivantes :

CA moy.	=	22 mm/h.
I. exc.	=	67,5 - 22 = 45,5 mm/h.
H. exc.	=	91 mm.
V. pluie	=	506.000 m ³
V _R	=	341.000 m ³
R %	=	67,5 %

Nous avons divisé la pluie efficace de 2 heures en 8 fractions unitaires de 15 minutes chacune.

Le débit maximum obtenu est de 57 m³/sec. (15.200 l/s/km²).

Pour les crues de probabilité donnée, sur le bassin versant, nous pouvons avancer les chiffres suivants :

	Q max. m3/s.	Q max. l/s/km2	R %
Crue annuelle	8 - 10	2.500 à 3.000	20
<u>Crue décennale</u>	35 à 40	10.000-12.000	45 - 48
<u>Crue d'Août 1950</u> supérieure à la crue duodécennale	57	15.200	67,5

Ces chiffres sont valables à une bonne approximation. Ils montrent que, sur un petit bassin, à forte pente, sol imperméable couvert d'une faible végétation, les crues sont très violentes et donnent d'énormes débits spécifiques.

Les valeurs de 2.500 l/s/km2 et 10.000 pour les crues annuelle et décennale sont très élevées.

Il est certain que, sur les terrains granitiques voisins de MAROUA, les débits seraient amortis par la forte rétention des arènes granitiques.

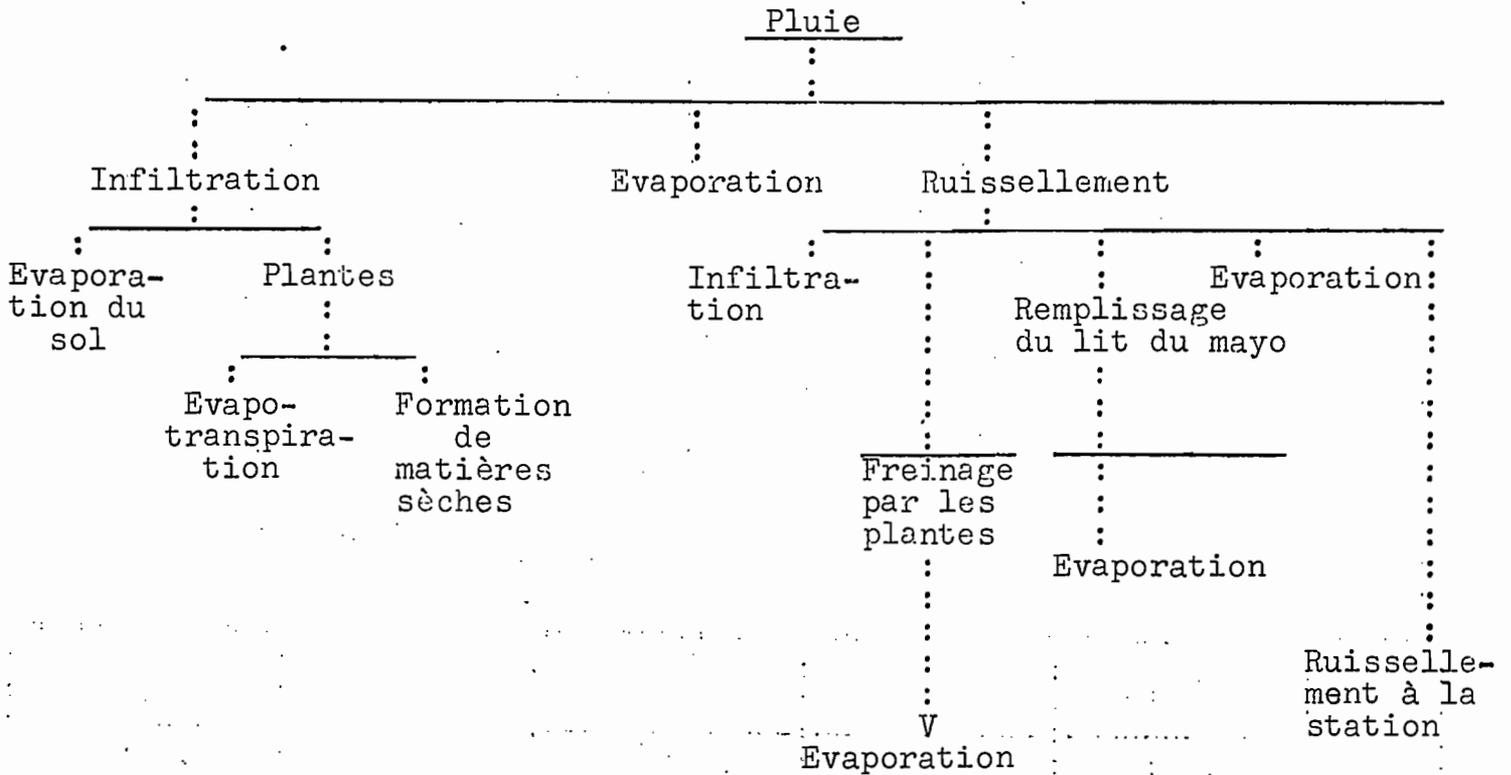
Les observations, commencées en 1955 sur le bassin granitique du MOTORSOLO (43 km2) à GODOLA, et les relevés de crues des mayos KALLIAO à MAROUA (350 km2) et TSANAGA à MAROUA (930 km2) et BOGO (1.630 km2) permettront de préciser les débits maxima sur ces terrains.

IV- BILAN HYDRIQUE :

Nous allons essayer d'évaluer l'importance relative des divers facteurs constitutifs du bilan hydrique : écoulement, infiltration, évaporation, consommation des plantes.

Notons, tout d'abord, que la teneur en eau du sol se retrouve la même en Novembre qu'en Mai, et que les volumes d'eau emmagasinés pendant les pluies dans le sol, ont été consommés par les plantes ou évaporés ; de plus, l'eau d'infiltration ne semble pas alimenter de nappe souterraine.

Nous pouvons schématiser, dans le tableau ci-dessous, le devenir de l'eau de pluie.



En définitive, les facteurs résiduels de cette répartition sont :

- le ruissellement mesuré à la station,
- l'évaporation : sur le sol
- : sur les plantes
- : transpiration des plantes
- : dans les mouilles du lit
- la consommation des plantes pour leur formation.

A part le ruissellement, l'ensemble des autres pertes est très difficile à analyser au point de vue volumes d'eau consommés.

Les auteurs américains en irrigation appellent "Consumptive Use", la somme de l'évapo-transpiration et de la consommation pour formation de matières sèches, mal séparables.

Nos bacs d'évaporation sur sol enherbé donnent une idée de l'évaporation du sol, des plantes, mais ils sont loin des conditions normales. D'une part, l'importante évaporation, à la surface, des plantes, de l'eau de pluie tombée sur elles n'est pas mise en évidence par ces bacs ; par contre, ils englobent une part de la consommation des végétaux.

Si nous prenons les valeurs des bacs d'évaporation en eau libre, majorées de 25 %, pour tenir compte du sol et des végétaux, nous verrons qu'il reste un excédent "non évaporé". Ou bien, nous sous-évaluons l'importance de l'évaporation des plantes, ou bien cet excédent dénote un volume d'eau consommable par les plantes.

Nous obtenons les résultats suivants :

	Pluie		Lame d'eau écoulee		Total des pertes		Evaporation		Excédent non-évaporé	
	mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%	mm.	%
1954	727,4		91,8	12,6	635,6	87,4	425,6	58,5	210	28,9
1955	831,5		46,1	5,5	785,4	94,5	555,5	66,9	229,9	27,6

Il serait illusoire de vouloir approfondir davantage ce bilan, le secteur "Pertes" restant mal connu.

---:---:---:---:---:---:---:---