

VARIATIONS JOURNALIERES DE DEBIT DES

RIVIERES BAMILEKE EN

PERIODE DE TARISSEMENT

Saison sèche 69 - 70

Mesures et Interprétation

J.C. OLIVRY

AVRIL 1970

VARIATIONS JOURNALIERES DE DEBIT DES

RIVIERES BAMLEKE EN

PERIODE DE TARISSEMENT

Saison sèche 69 - 70

Mesures et Interprétation

J.C. OLIVRY

AVRIL 1970

S O M M A I R E

1. INTRODUCTION
2. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE LA REGION ETUDIEE
3. DESCRIPTION SOMMAIRE DU PHENOMENE ET HISTORIQUE DES OBSERVATIONS
4. HYPOTHESES DE BASE
5. EQUIPEMENT ET MESURES
 - 5 - 1°/ Equipement hydrométrique
 - 5 - 2°/ Autres équipements
6. RESULTATS DES MESURES ET DES OBSERVATIONS 69 - 70
 - 6 - 1°/ Observations limnimétriques :
 - 6.1.1.) Bassin de la METEU
 - 6.1.2.) Bassin de la MIFI
 - 6.1.3.) Bassin du CHOUMI
 - 6.1.4.) Bassin de la WASSA
 - 6.1.5.) Autres bassins étudiés : CHRIS, NAT , MESAP.
 - 6 - 2°/ Autres observations
 - 6.2.1) Températures
 - 6.2.2) Pression barométrique
 - 6.2.3) Mesures piézométriques
 - 6.2.4) Evaporation et Hygrométrie
7. INTERPRETATION DES OBSERVATIONS
 - 7 - 1°/ Origine des variations journalières de débit :
 - 7.1.1) Hydrogrammes et variations de température
 - 7.1.2) Schéma explicatif des variations journalières de débit
 - 7 - 2°/ Hydrogramme des variations journalières de débit
 - 7.2.1) Reconstitution d'un hydrogramme type
 - 7.2.2) Hydrogrammes réels
 - 7 - 3°/ Délimitation de la zone responsable du Phénomène
 - 7 - 4°/ Temps de réponse du phénomène
8. CONCLUSIONS
9. BIBLIOGRAPHIE

S U M M A R Y

At the beginning of the hydrological studies of ORSTOM in the western part of Cameroon, some anomalies were noticed in the depletion of rivers. Instead of displaying a simple depletion curve, the records of stage gauge in the dry season show a daily increase of the discharges which repeats every day in a regular manner.

The amplitude of the discharge variations levels off at the point of 12 % of the mean daily discharge but it is not linked to the surface of the river basin.

The phenomenon was systematically studied at seven stream gauging stations in Bamileke country during the dry season 69-70. This study proposes an explanation of this phenomenon concerning the evapotranspiration on an hand, and the water table on the other.

During the day, the evapotranspiration pumps up into the phreatic water producing a drawdown of it. During the night, the evapotranspiration is virtually zero and the flowing up stream allow a recharging of the water table. The piezometric variations are conducted by the effluent seepage with a certain delay to the stream gauging station.

The particularities of this phenomenon have permitted us to define the shape of the discharge graphs and to show that the influential zone of the discharge variations was limited to an narrow strip following the drainage pattern, and to explain the various lag times of the different river basins.

1. INTRODUCTION

Dès le début des études hydrologiques dans la région de l'Ouest du Cameroun, les hydrologues de l'ORSTOM se sont trouvés en présence d'"anomalies" dans le tarissement des rivières. J. CALLEDE, en particulier, avait préparé un programme d'étude sur cette question, mais il n'avait pas été possible de procéder à des mesures systématiques.

Au lieu de mettre en évidence une courbe de tarissement simple, les limnigrammes de saison sèche montrent des variations des hauteurs d'eau au cours de la journée. Ces variations se répètent chaque jour d'une manière régulière.

Dans une note de Décembre 1968, nous avons proposé une explication de ce phénomène de gonflement journalier des débits, et préconisé une série de mesures destinées à vérifier ou non notre hypothèse.

De son côté, J. CALLEDE a pu retrouver ce phénomène dans de nombreux pays d'Afrique mais avec une amplitude des variations beaucoup plus faible que dans la région de l'Ouest Camerounais.

A partir de Novembre 1969, le nouveau programme de mesures a été mis au point et les observations systématiques ont commencé immédiatement.

La présente note porte sur les mesures effectuées au cours de la saison sèche 69-70 et propose une interprétation des résultats.

2. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE LA REGION ETUDIEE

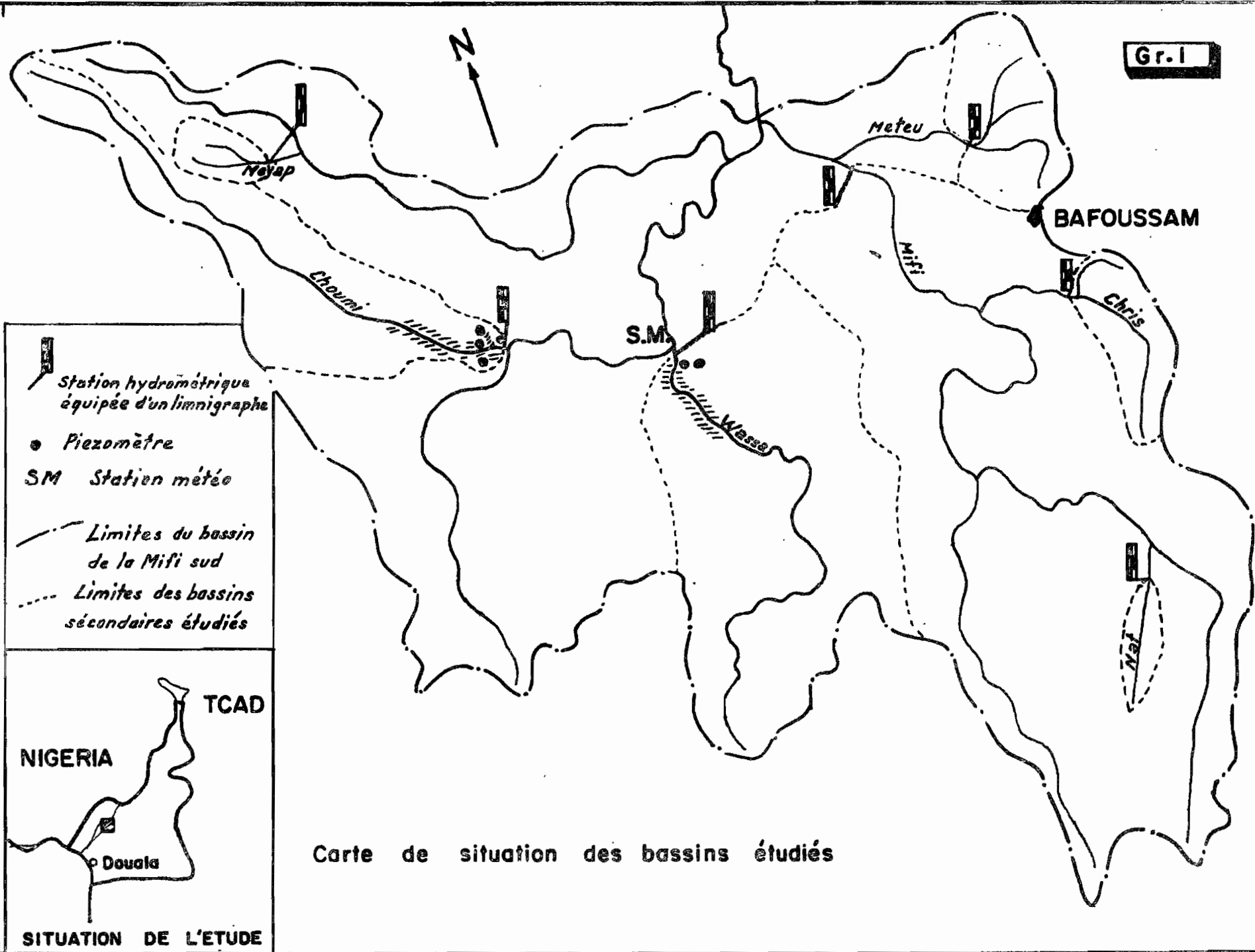
Les rivières étudiées dans cette note se situent toutes en pays Bamiléké, sur le plateau du même nom. Le plateau Bamiléké a une altitude moyenne de 1400 m ; ses rebords au Sud et à l'Est dépassent 1600 m. Au Nord et à l'Ouest, le plateau s'adosse aux massifs volcaniques des Bambouto (2740 m) et de SANTA (2550 m).

D'ensemble du plateau est drainé par des affluents du Noun, tributaire du MBAM, branche majeure de la SANAGA.

L'altitude élevée du Plateau Bamiléké constitue une de ses caractéristiques principales puisqu'elle conditionne le particularisme de son climat.

Le Pays Bamiléké a un climat correspondant au régime tropical de transition. Les pluies commencent généralement en Mars pour se terminer début Novembre. Décembre et Janvier, parfois Février, ne reçoivent pratiquement pas de précipitations. Il faut cependant noter des nuances importantes dans le climat Bamiléké ; en premier lieu les variations journalières de température sont importantes (en saison sèche des amplitudes thermiques journalières sont en moyenne de 15° et atteignent jusqu'à 20°) ; en second lieu, l'humidité relative varie dans des proportions tout à fait comparables (de 97 % à 6 h à 35 % à 12 h).

La végétation présente peu de zones boisées par suite d'une exploitation intensive du pays par les agriculteurs. Les zones non exploitées sont envahies par de hautes graminées. Dans les vallées, des galeries de raphia occupent les bas-fonds. Le morcellement de la propriété bamiléké a développé les formations arbustives aux limites des concessions donnant au pays un aspect de bocage.



L'ensemble du plateau est constitué de basaltes. Leur épaisseur est très variable et le socle granito-gneissique affleure largement au Sud du plateau et aussi au centre du Bassin du CHOUMI. Les bassins versants des principales rivières étudiées sont sur couverture basaltique dont les produits de décompositions sont souvent très épais.

3. DESCRIPTION SOMMAIRE DU PHENOMENE ET HISTORIQUE DES OBSERVATIONS

Dans la figure 2 nous avons reproduit les extraits d'enregistrements limnimétriques de trois stations pour lesquelles les variations de hauteur d'eau sont bien marquées.

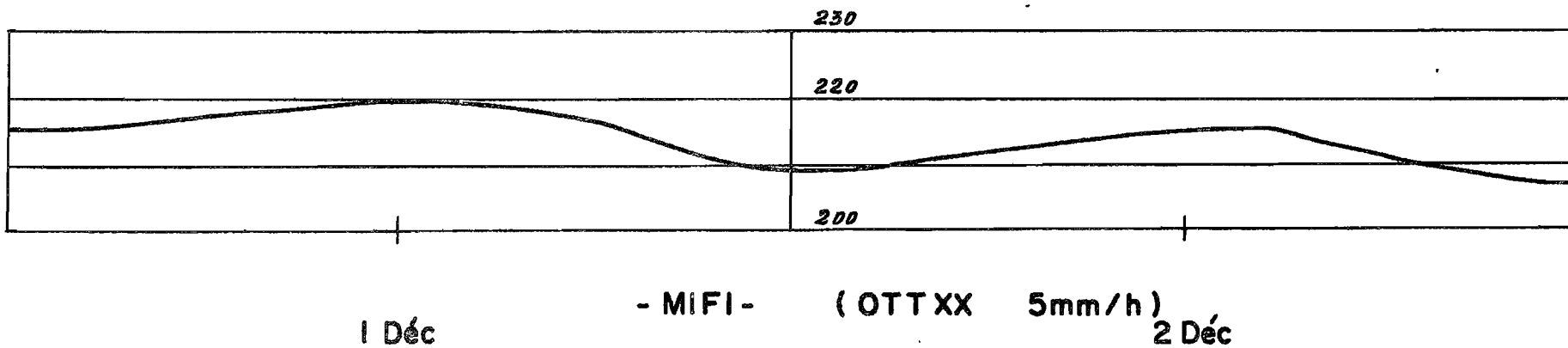
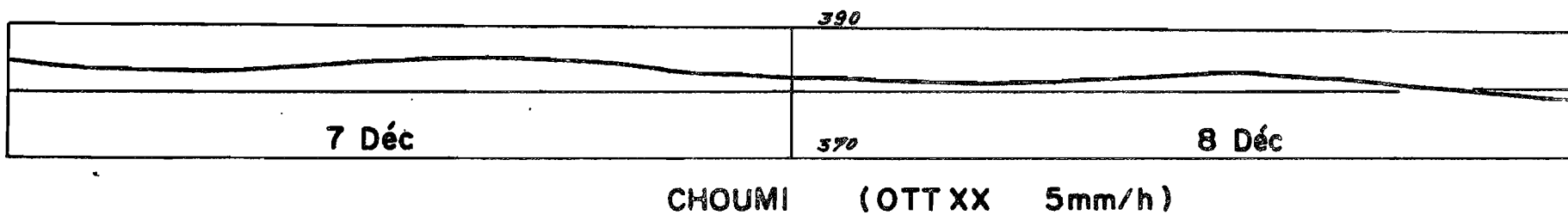
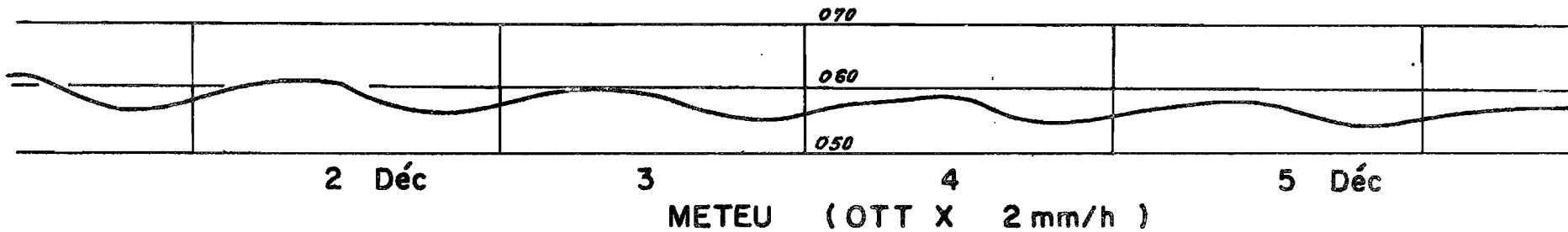
L'examen de ces limnigrammes montre une montée lente des eaux se répétant chaque matin et atteignant un maximum vers le milieu de la journée. La descente qui suit le maximum est beaucoup plus rapide que la montée. Le minimum est atteint au cours de la nuit.

Le phénomène se répète chaque jour sous la même forme et à des heures régulières. Au fur et à mesure que l'on avance dans la saison sèche, l'amplitude des variations décroît.

Ces variations ont été observées dès la saison sèche 66-67 aux stations du CHOUMI à BAMBENDOU et de la WASSA à BANOK, stations étudiées à cette époque pour l'aménagement hydroélectrique de la METCHIE. L'aménagement du Bassin versant de la METTEU à BALENG a permis de retrouver le même phénomène aux basses-eaux 67-68. L'équipement des rivières de la région ayant été très allégé en 1968, nous n'avons pu observer les variations de hauteur d'eau lors de l'étiage 68-69 sur les principales rivières intéressées. Des défaillances matérielles ne nous ont pas permis d'avoir d'enregistrements exploitables sur la METTEU. Un limnigraphe sur la METCHIE aux chutes a montré de très faibles variations qui n'étaient plus sensibles dès

LIMNIGRAMMES

Gr. 2



date

des.

le mois de Janvier. L'aménagement, d'une source à BAFOUNDA a montré également quelques variations, mais des perturbations extérieures (utilisation de la source) n'ont pas permis d'utiliser les enregistrements.

4. HYPOTHESES DE BASE

Le tarissement des rivières étant lié au tarissement des nappes phréatiques des bassins, il est logique de supposer que les variations de débit sont liées à des variations du niveau de ces nappes.

Parmi les hypothèses qui peuvent expliquer des variations du niveau piézométrique, seules celles dont la régularité est bien établie peuvent être retenues.

1°/ Marées terrestres : Elles provoquent des variations du niveau des nappes régulières mais dont le rythme est biquotidien alors que le rythme des variations étudiées est quotidien. Nous pouvons donc éliminer cette hypothèse.

2°/ Variations barométriques : Probablement régulières, leur influence n'est pas négligeable lorsque leur amplitude est forte. Nous verrons plus loin les résultats de quelques mesures barométriques.

3°/ Evapotranspiration : C'est à priori l'hypothèse la plus satisfaisante. En effet, nous avons mentionné plus haut les grandes variations de température et d'hygrométrie entre le jour et la nuit, variations qui commandent celles de l'évapotranspiration. L'évapotranspiration continue impliquerait un apport d'eau continu réalisé par l'ascension capillaire dans la masse végétale d'une part, dans le sol d'autre part. Au cours de la nuit, il y a ralentissement ou même arrêt de l'évapotranspiration, d'où ralentissement de l'ascension capillaire et par conséquent arrêt du pompage dans la nappe. Le rabattement de la nappe de stabilisant, la décroissance des débits de tarissement de la rivière se ralentit ou même se stabilise.

Les zones temporairement marécageuses du CHOUMI et de la WASSA viennent renforcer l'idée du rôle de la nappe phréatique peu profonde. Une zone dépressive au coeur du bassin de la METTEU justifiait également l'observation des variations journalières de débit.

En Décembre 1968, nous pensions que ces zones marécageuses en saison des pluies, garantissant en saison sèche la présence de nappes peu profondes constituaient le facteur primordial requis pour l'observation du phénomène. Nous verrons que les variations journalières de débit s'observent sur des bassins versants ne présentant pas ce particularisme.

L'hypothèse du rôle de l'évapotranspiration, à la différence des deux premières hypothèses proposées, n'explique que la stabilisation du niveau de la nappe. Or, on n'observe pas de simples paliers dans la décroissance des débits mais bel et bien un gonflement des débits comparable à une petite crue. On doit donc admettre que l'arrêt du pompage par évapotranspiration permet une remontée du niveau piézométrique due à l'alimentation de la nappe par sa partie amont.

5. EQUIPEMENT ET MESURES

5.1. Equipement hydrométrique :

L'étude générale du bassin de la MIFI-SUD a permis en 1969 l'installation de limnigraphes sur sept stations secondaires. Seules trois stations, contrôlant les bassins versants les plus grands, n'ont pu être équipés d'appareils enregistreurs. On possède donc les enregistrements de hauteurs d'eau pour l'étiage 69-70 des stations suivantes :

- NAT	à	BANDJOUN	B.V. de	7,95	Km ²
- MESAP	à	BANGANG	B.V. de	8,57	Km ²
- CHRIS	à	MBO	B.V. de	18,8	Km ²
- METIEU	à	BALENG	B.V. de	29,4	Km ²
- CHOUMI	à	BAMENDOU	B.V. de	80	Km ²
- WASSA	à	BANOK	B.V. de	119	Km ²
- MIFTI	à	BAMOUNGOUM	B.V. de	306	Km ²

Des jaugeages de basses eaux ont précisé, cette année encore, l'étalonnage de la courbe hauteurs-débits de ces stations. Les jaugeages sont satisfaisants et la dispersion des points de mesure autour de la courbe moyenne est faible.

5.2. Autres équipements :

- Une station météorologique a été installée à BANOK. Elle donne des mesures assez représentatives des conditions climatiques de l'ensemble de la région. Elle comporte un bac d'évaporation du type Colorado, un évaporomètre Piche, un psychromètre, et thermomètres.

- A BAFOUSSAM, nous suivons les variations barométriques sur un baromètre altimétrique. Un thermographe nous a permis de faire quelques enregistrements des variations de température.

- A BAMENDOU, quatre piézomètres ont été implantés directement à l'amont de la station hydrométrique, en bordure du marais. A BANOK deux piézomètres permettent de suivre les variations de niveau de la nappe de la WASSA. Nous utilisons pour ces mesures une sonde H.W.K. et deux sondes électriques fabriquées par nos soins. La précision des mesures n'est malheureusement pas suffisante pour le problème qui nous occupe puisqu'elle n'excède pas le 1/2 cm.

- Avec un thermographe à plongeur nous avons enregistré les variations de température de l'eau du CHOUMI.

- Enfin, nous avons recueilli quelques données météorologiques auprès des stations de DSCHANG (IRAT) et de KOUTABA.

6. RESULTATS DES MESURES ET DES OBSERVATIONS 69 - 70

6.1. Observations limnimétriques

Contrairement à ce que nous pensions, les variations journalières de hauteur d'eau s'observent pratiquement à toutes les stations du Bassin de la MIFI. Elles ont été retrouvées sur la METEU, le CHOUMI, et la WASSA ; on les a mises en évidence sur la MIFI, la CHRIS, la NAT et la MESAP.

Il nous faut souligner ici que nos appareils enregistreurs, avec une réduction de 1/10, ne donnent pas toute la précision requise pour une telle étude. En effet, les variations de hauteur d'eau sont relativement faibles pour des stations à écoulement rapide comme celle de la CHRIS. Bien entendu les faibles variations limnimétriques ne préjugent pas pour ces stations : des variations de débit, mais il est alors délicat d'interpréter la forme des hydrogrammes.

C'est évidemment les stations pour lesquelles les variations limnimétriques ont une grande amplitude que nous retiendrons plus particulièrement dans notre étude.

Avant d'étudier les variations journalières de débit, station par station, il nous faut signaler les caractéristiques de la saison des pluies 69. Celle-ci a été excédentaire sur l'ensemble de la région ; elle s'est poursuivie jusqu'au 12 Novembre par des averses abondantes qui ont provoqué au début de ce mois les plus fortes crues de l'année ; aussi, quand la saison sèche commence, les rivières sont encore en hautes eaux, les sols des bassins versants sont saturés, les réserves des nappes souterraines sont à leur maximum.

6.1.1. Bassin de la METTEU :

Les variations de hauteur d'eau sont observées dès le 14 Novembre, soit le lendemain de la dernière crue de la saison des pluies 69. Avec un maximum de $H = 083^5$ pour un débit de $1,250 \text{ m}^3/\text{s}$ et un minimum de $H = 077^5$ pour un débit de $1,100 \text{ m}^3/\text{s}$, la variation est de 150 litres/seconde, soit près de 13 % du débit moyen. Le 16 Novembre le débit varie de 140 l/s pour un maximum de 1100 l/s. L'amplitude des variations de débit ne cesse de décroître ; ainsi, le 2 Décembre l'amplitude n'est plus que de 70 l/s pour un débit minimum de 630 l/s ; le 11 Décembre, variation de 60 l/s pour débit minimum de 535 l/s ; le 1er Janvier, variation de 35 l/s pour débit minimum de 350 l/s. Le 5 Février, la variation de débit est encore de 20 l/s pour un débit minimum de 240 l/s.

Sur le graphique 3, on a porté en coordonnées semi-logarithmiques les débits maximum journaliers et leurs débits minimum correspondants au cours de la saison sèche. On voit que la décroissance des maximum suit une évolution parallèle à celle des minimum. Autrement dit, l'amplitude journalière des variations décroît exponentiellement. Autre remarque, la cassure de la droite de tarissement, le 25 Décembre, se retrouve dans la courbe des minimum comme dans celle des maximum. A cette date, l'amplitude des variations qui était de 11 à 12 % du débit moyen journalier passe à 8 et 9 %.

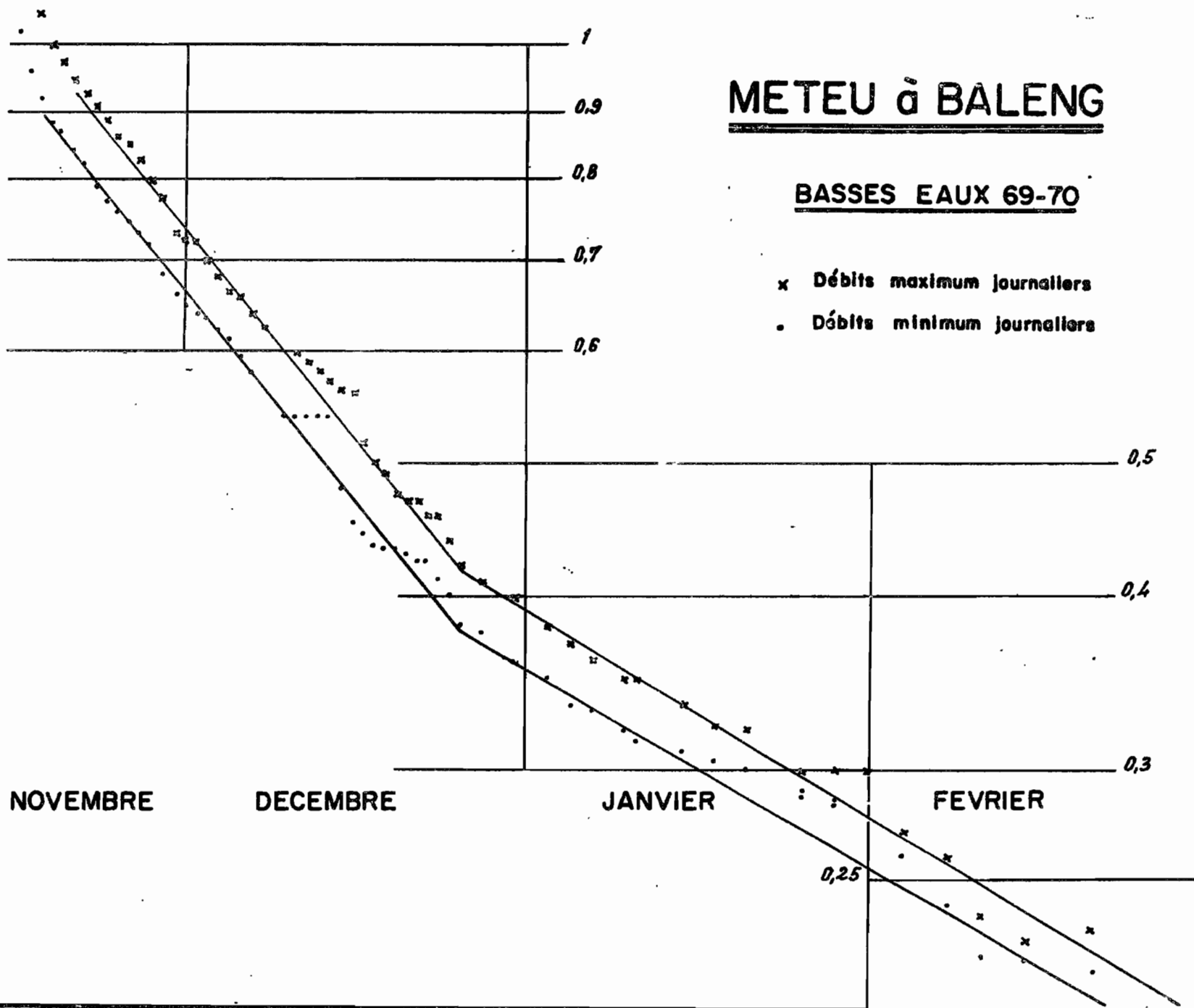
Dans la deuxième quinzaine de Janvier, un colmatage partiel du puits de limnigraphe a perturbé l'enregistrement des minimum. Au mois de Février, les variations sont très faibles et l'enregistrement n'a plus toute la précision souhaitable, ce qui explique la dispersion des points.

On a porté dans le graphique 4 l'évolution au cours de la saison sèche de l'heure d'apparition des maximum (x) et des minimum (.). Sous son aspect apparemment régulier, l'heure d'apparition du maximum et du minimum subit une nette évolution au cours de l'étiage. Au début, le débit maximum est observé à 6 h. Très vite, il se situe à

METEU à BALENG

BASSES EAUX 69-70

- x Débits maximum journaliers
- Débits minimum journaliers

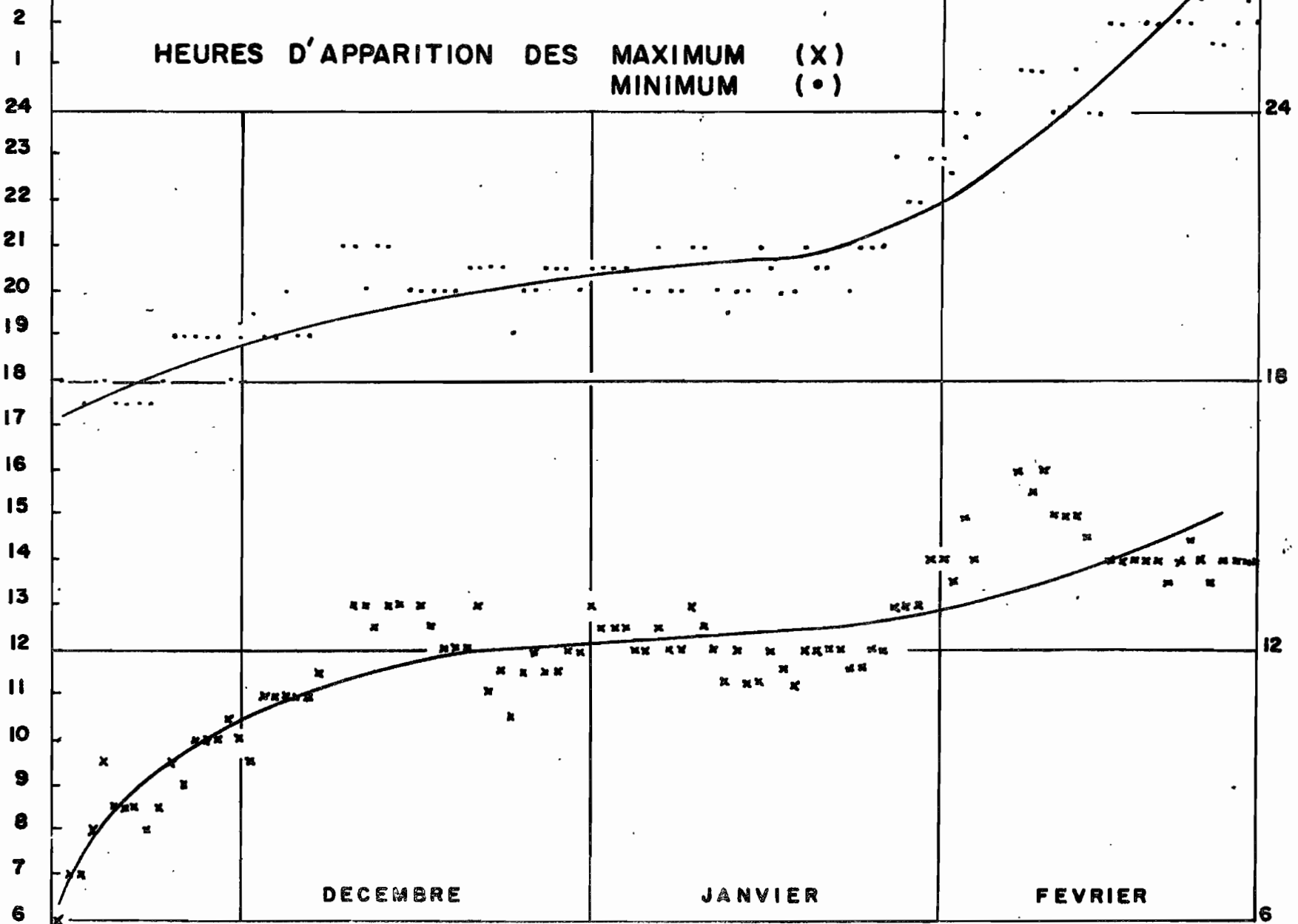


METEU à BALENG

Gr. 4

t heures

HEURES D'APPARITION DES MAXIMUM (X)
MINIMUM (•)



DECEMBRE

JANVIER

FEVRIER

6

date

des.

à 9 h puis 10 h pour atteindre au bout d'un mois les environs de midi. Pendant plus d'un mois et demi, le débit maximum se répète à cette heure. En Février, le maximum apparaît plus tard (14 h environ).

L'heure du minimum (suivant le débit maximum) suit une évolution comparable mais moins forte. Ainsi, en un mois, l'heure du minimum passe de 18 h à 20 h où on observe une stabilisation jusqu'en Février. La durée de la descente des débits est presque de 12 heures au début de la saison sèche, mais diminue très rapidement pour se stabiliser à 8 heures. En Février, la durée de la "décrue" augmente pour atteindre 12 et 13 heures à la fin du mois. C'est probablement là un indice de la progressive disparition du phénomène.

6.1.2 Bassin de la MIFI à BAMOUNGOM

C'est le plus grand des bassins étudiés dans cette note (306 km²).

Les variations de hauteurs d'eau prennent pour cette station leur amplitude majeure. Elles atteignent jusqu'à 14 cm au début de la deuxième quinzaine de Novembre, et sont encore plus importante au cours de la décrue qui suit le dernier épisode pluvieux de ce mois.

Les limnigrammes de la MIFI ont l'intérêt de mettre en évidence l'existence du phénomène de variations de hauteurs d'eau avant la saison sèche. Ces variations sont nettement sensibles au cours des mois de Septembre et d'Octobre pour lesquels on a observé de petites périodes sans pluies, et déjà moins nettes en Août où les crues sont plus rapprochées. Il aurait été illogique, d'ailleurs, en admettant nos hypothèses de base de ne pas observer le phénomène en saison des pluies, mais pour la plupart des stations, les variations sont trop faibles pour que l'on puisse les isoler des hydrogrammes de crue.

Les variations de débit sont importantes en valeur absolue. Le 14 Novembre, l'amplitude est de 950 l/s pour un débit minimum de 13,8 m³/s ; le 20 Novembre, cette variation n'est plus que de 450 l/s pour un minimum de 11,35 m³/s, elle est de 350 l/s pour un minimum de 9,35 m³/s, le 30 Novembre. Elle est de 400 l/s pour un minimum de 8,25 m³/s, le 5 Décembre et de 250 l/s pour un minimum de 7,05 m³/s le 10 Décembre.

Des colmatages très rapides et répétés du puits de limni-
graphe, d'une part, et des défaillances de l'appareil, d'autre part
ont perturbé les enregistrements à partir de la deuxième quinzaine
de Décembre. La courbe de tarage entre 10 et 5 m³/s n'est pas précise,
les points de mesure sont assez dispersés. (Cette imprécision de
l'étalonnage peut s'expliquer par une mobilité du lit de basses-eaux
du fait de la présence de bancs vaseux). La courbe moyenne présente
notamment un fléchissement à partir de 9 m³/s qui entraîne un flé-
chissement de la courbe de tarissement qui est difficilement expli-
cable.

Les variations de débit montrent une très grande régu-
larité. Le minimum est observé à 24 heures, tandis que le maximum
s'observe aux environs de 13 h. La "décrue" est donc légèrement plus
rapide que la montée des débits. La taille du bassin est peut-être
responsable de cette régularité. Les heures des maximum et des minimum
sont telles que les relevés de l'observateur (6 h et 18 h) ne nous
ont pas permis de voir plus tôt ces variations sur ce bassin.

6.1.3 Bassin du CHOUTI à BAKENDOU

Les variations observées sur les limniogrammes sont moins
importantes que les stations précédentes. La précision dans l'esti-
mation des débits est moins grande. En Janvier, il est pratiquement
impossible d'exploiter les limniogrammes bien que les variations y
soient encore sensibles. Du 14 au 20 Novembre, les maximums sont
inférieurs aux minimums de la veille ; on a des paliers journaliers
sur la courbe de décrue au lieu de remontées des débits. La dé-

termination des maximum et minimum est obtenue en choisissant le point le plus éloigné de la droite moyenne au-dessus et en dessous. Bien entendu, ces points ne marquent que le maximum ou le minimum du phénomène étudié et ne constituent pas les maximum et minimum du débit de la journée. Dès la fin de la saison des pluies, le phénomène apparaît, mais la vidange du bassin est trop rapide pour que les variations prennent toute leur ampleur et les amplitudes mesurées entre maximum et minimum ne sont importantes que parce que la décroissance naturelle des débits est rapide. Ramenées à la courbe de tarissement du 15 Décembre par exemple, les variations sont faibles. Ceci s'explique du fait de la présence du marécage encore inondé qui tamponne les effets du phénomène. A partir du 21 Novembre, les variations suivent une évolution comparable à ce que nous avons déjà observé sur les autres bassins. Variation de 100 l/s pour débit minimum de $2,560 \text{ m}^3/\text{s}$, le 21 Novembre. Le 10 Décembre, variation de 80 l/s pour un débit minimum de $1,540 \text{ m}^3/\text{s}$. Le 28 Décembre, variation de 60 l/s pour minimum de $0,895 \text{ m}^3/\text{s}$.

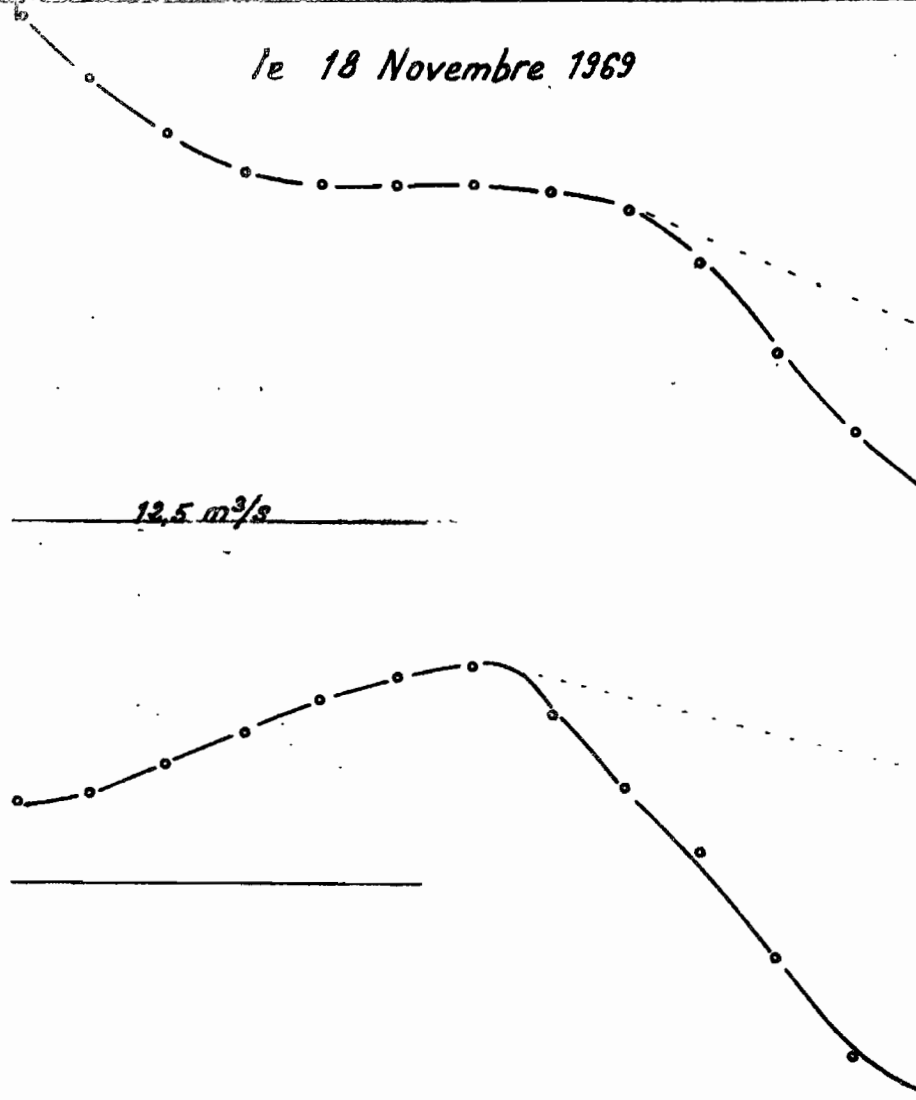
Les maximums apparaissent à des heures relativement régulières, de 16 h en début de saison sèche, à 14 h à la fin Décembre. Mais il n'y a pas d'évolution nette comme pour la METEU. En moyenne, le débit maximum est enregistré à 15 heures. Les débits minimum présentent une régularité comparable dans l'heure de leur apparition, située vers 5 heures le matin.

Ici donc, le temps entre minimum et maximum est relativement court (10 heures), mais il faut préciser toutefois que l'hydrogramme garde une forme assez voisine de ceux observés sur les rivières précédentes.

6.1.4. Bassin de la WASSA à BANOK

Les variations de débit se présentent sous la même forme que pour le bassin du CHOUMI. Il est remarquable de voir que ces variations ne commencent à se faire sentir qu'après le 18 Novembre. Elles sont d'ailleurs relativement faibles au cours de la décrue et ne commencent à être vraiment significatives que vers le 25 Novembre. On retrouve ici encore l'influence de la zone marécageuse qui retarde l'observation du phénomène.

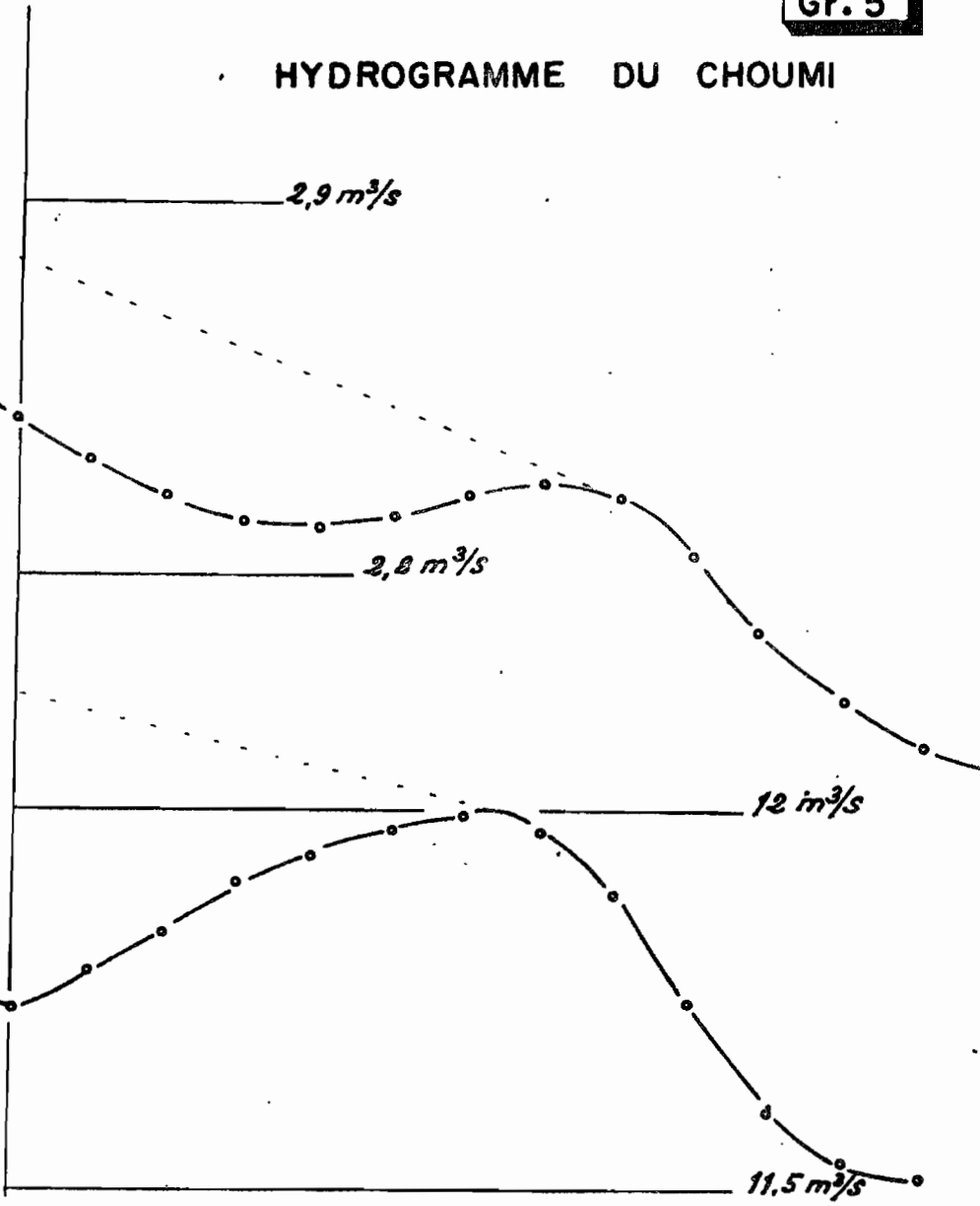
le 18 Novembre 1969



HYDROGRAMME DE LA MIFI

Gr. 5

HYDROGRAMME DU CHOUMI



le 19 Novembre 1969

Les variations de hauteur d'eau sont faibles et la détermination des amplitudes de débit n'est pas très précise. Entre le 25 Novembre et le 15 Décembre on n'observe pas d'évolution nette de ces amplitudes qui sont de l'ordre de 75 à 100 l/s pour des débits minimum de 2,6 m³/s le 25/11 et de 1,6 m³/s le 15 Décembre.

L'heure d'apparition des maximum et minimum est relativement régulière et ne montre pas de changement au cours de la saison. Les maximum se situent vers 20 heures et les minimum vers 8 heures le matin. L'hydrogramme présente toujours sa forme caractéristique, même si le temps de montée est de même durée que le temps de descente.

6.1.5. Autres bassins étudiés

- Bassin de la CHRIS à MBO

Avec une forte pente et des vitesses élevées, la CHRIS ne montre pas de variations importantes de hauteurs d'eau. En effet, elles sont de l'ordre de 0,5 cm, parfois plus petites. Dans ces conditions, il est délicat d'interpréter ces variations au point de vue quantitatif. A titre indicatif, le débit varie de 40 l/s en début de saison sèche et d'environ 10 l/s à la fin Janvier.

Par contre, cette station a l'intérêt de montrer qu'un petit bassin peut présenter une très grande régularité dans le rythme de ses variations (nous avons vu que ce n'était pas le cas de la METEU). De Novembre à la mi-Mars, les maximum se situent toujours à 13 heures et les minimum à 24 h.

- Bassin de la NAT à BANDJOUN :

Là aussi, les variations de hauteur d'eau sont très faibles. Elles vont jusqu'à atteindre 2 cm, mais sont en moyenne de l'ordre du centimètre. Les variations de débit sont de 30 l/s en début de saison sèche pour des débits minimum de 250 l/s et de 5 l/s pour des débits de 50 l/s à la mi-Février. Avec des maximum à 11 h et des minimum à 19 h, la régularité du rythme des variations est comparable à celle de la CHRIS.

- Bassin de la MESAP à BANGANG

De faibles variations de hauteur d'eau (là 2 cm) sont enregistrées (variation de débit de 40 à 10 l/s).

Le maximum se situe entre 9 et 10 h, tandis que le minimum a lieu vers 17 h.

6.2. Autres observations

6.2.1. Températures

Les enregistrements de la température de l'air montrent des variations qui se répètent d'une manière régulière au cours de la saison sèche. Le minimum se situe entre 6 h et 7 heures le matin, tandis que le maximum est enregistré entre 14 h et 15 heures. Ceci montre immédiatement l'aspect assymétrique de la courbe des températures. On observe une brusque montée le matin et après le maximum on a une longue descente qui se poursuit de plus en plus lentement dans la nuit.

Nous avons également fait quelques enregistrements de la température de l'eau du CHOUMI. Les variations sont très faibles. On note une montée de la température à partir de 6 h jusqu'à 13 h (de 17° à 20°). Cette variation peut s'expliquer par l'action du soleil sur le plongeur immergé à 20 cm de la surface et n'a alors aucune signification. Par contre on observe entre 22 et 23 heures un petit maximum (+ 1/2°) qui doit correspondre à l'arrivée d'une tranche d'eau réchauffée pendant la journée.

Nous donnons ci-après un tableau où sont réunies les principales mesures météorologiques.

6.2.2. Pression barométrique

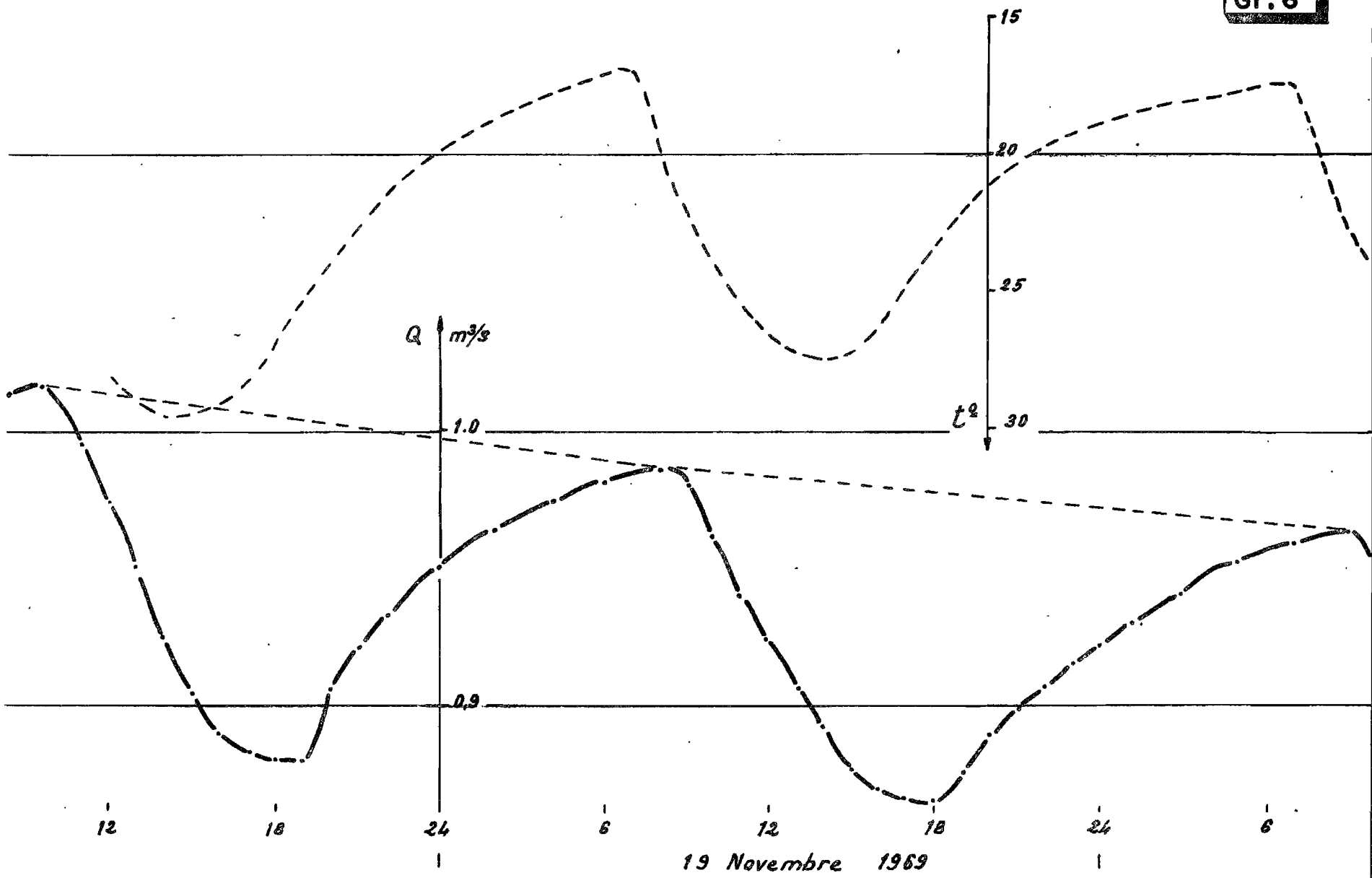
Les mesures que nous avons effectué sur un baromètre altimétrique à BAFOUSSAM n'ont jamais montré de variations supérieures

O.R.S.T.O.M. Service Hydrologique

date
des.

VARIATIONS DE TEMPERATURE A BAFOUSSAM

Gr. 6



HYDROGRAMME DE LA METEU

à 3 mm de mercure. Des variations de cet ordre ne sont pas de nature à provoquer des variations de la surface piézométrique sensibles. Par ailleurs les enregistrements barométriques de la station de KOUTABA montrent deux maximums au cours de la journée, ce qui exclue toute incidence de ce facteur dans le phénomène qui nous occupe.

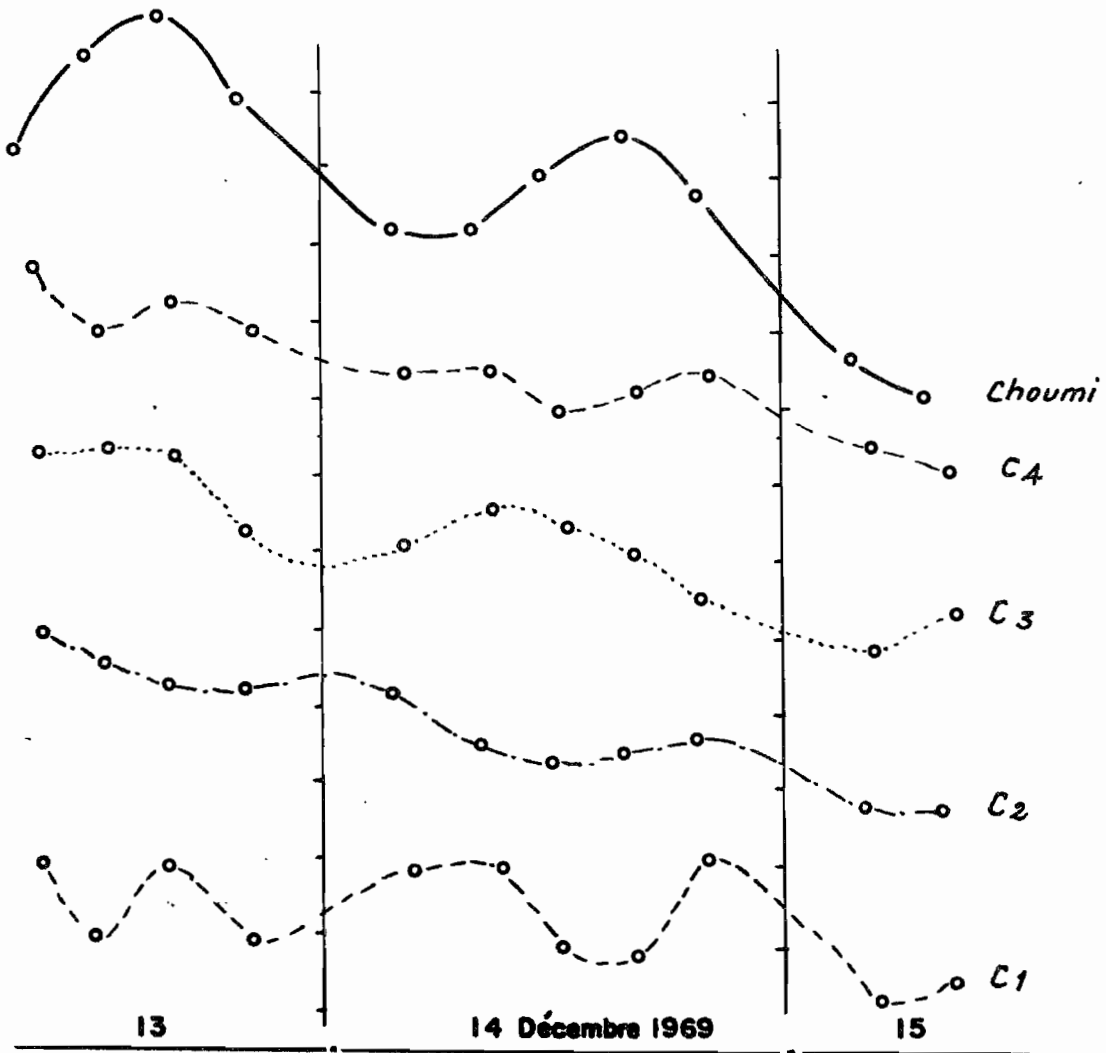
6.2.3. Mesures piézométriques

Les mesures effectuées au cours de la saison sèche par les lecteurs n'indiquent pas de variations journalières nettes. La qualité des mesures faites par les observateurs n'étant pas très bonne, il serait vain d'exploiter les quelques mesures qui paraissent significatives. Sur les piézomètres du CHOUMI, nous avons suivi le niveau de la nappe pendant deux jours et mis en évidence des variations journalières du même type que celles de la rivière. Mais ces mesures ont été trop brèves, et l'exploitation des résultats est délicate du fait de décalages horaires entre les maximum des différents points de mesure. (voir figure 7). Nous nous bornerons à constater que ces variations piézométriques existent. Des enregistrements seraient nécessaires pour une interprétation.

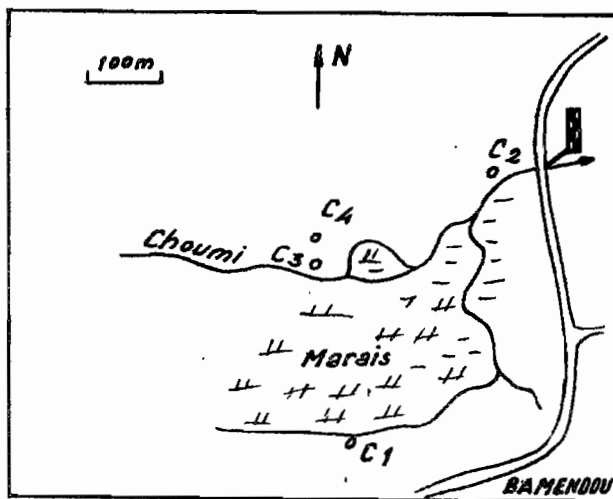
6.2.4. Evaporation et Hydrométrie

Evaporation sur bac Colorado à BANOK en mm/jour (moyenne décade par décade).

Mois	1	2	3	Mois	1	2	3
Juillet	2,9	3,1	3,0	Octobre	4,0	4,1	4,4
Août	2,7	2,8	3,3	Novembre	4,1	4,2	3,9
Sept. 70	3,1	3,5	3,5	Décembre	3,7	3,9	4,0
Janvier	(3,3	3,1	3,2)	douteux			
Février	4,7	4,6	4,4				
Mars	4,5	3,5	4,3				



VARIATIONS CENTIMETRIQUES DU CHOUMI ET DES PIEZOMETRES



CROQUIS DE SITUATION

Humidité relative en %

	1 9 6 9						1 9 7 0		
	Jt.	A.	S.	O.	N.	D.	J.	F.	M.
à 12 h.	79	81	78	71	53	45	46	43	51
à 18 h.	93	95	95	95	89	89	85	77	80

à 6 h. l'humidité est toujours de l'ordre de 98 %.

7. INTERPRETATION DES OBSERVATIONS

De toutes ces observations, il ressort que :

- Le phénomène des variations journalières de débit se reproduit sensiblement sous la même forme pour des bassins versants de superficie très variable.
- Il n'y a pas de rapport net entre l'amplitude des variations de débit et la superficie du bassin.
- La superficie du bassin ne détermine pas l'heure des maximum ou minimum de débit.
- L'hydrogramme journalier, indépendamment des temps de montée ou de descente, montre dans chaque cas, une pente douce directement avant le maximum et plus forte, directement après.

Nous avons reporté ci-dessous les principales caractéristiques des variations journalières de débit à la date du 1^o Décembre 1969.

Bassin	S km ²	Q moy	dq	%	HM	Hm	a.10 ⁻²
MIPI	306	8,00	350	4,4	13	24	2,09
WASSA	119	2,20	100	4,5	20	08	2,11
CHOUMI	80	2,00	90	4,5	15	05	2,72
MEFEU	29,4	0,650	70	10,8	12	20	2,21
CHRIS	18,8	0,800	40	5	13	24	3,22
MESAP	8,57	0,350	25	7,1	10	17	3,57
NAT	7,95	0,180	20	11,1	11	19	2,06

S : superficie du bassin en km² - Q_{moy} : débit moyen journalier en m³/s
 dq : amplitude de la variation de débit en l/s % : amplitude en pourcentage du débit moyen - HM : heure du maximum de débit - Hm : heure du minimum de débit. a.10⁻² : coefficient de tarissement calculé du 20 Nov. au 20 Déc. (ne correspond pas au vrai coefficient observé de Janvier - Février).

7.1. Origine des variations journalières de débit

7.1.1. Hydrogrammes et variations de température

Faute d'enregistrement de l'évaporation ou de l'humidité, nous comparerons l'hydrogramme à la courbe des températures. Les deux courbes montrent une similitude troublante (voir graphique 6). Cependant, la courbe hygrométrique aurait été plus intéressante. En effet, nous avons vu que l'humidité relative était déjà très forte à 18 h alors que les températures sont encore élevées. Il serait dangereux donc de relier purement et simplement la décroissance progressive des températures à l'augmentation progressive des débits. La courbe des températures traduit la variation rapide de l'humidité relative dans la matinée seulement, variation qui entraîne une augmentation rapide de l'évapotranspiration responsable de la "décrue" de l'hydrogramme.

L'évapotranspiration est vraiment effective pendant une douzaine d'heures, peut-être moins (retard du à la rosée). Ce temps correspond à la décrue de l'hydrogramme. L'arrêt de l'ETP n'entraîne pas une remontée de l'hydrogramme, mais un simple palier au débit minimum observé. Cet arrêt permet à un autre facteur d'intervenir : les apports amont de la nappe phréatique.

7.1.2. Schéma explicatif des variations journalières de débit

Nous avons à plusieurs reprises abordé le rôle de la nappe dans le phénomène étudié. La forme de l'hydrogramme nous paraît assez significative de ce rôle. Les variations de débit traduisent des variations piézométriques du niveau de la nappe. Le phénomène se résume donc à un pompage dans la nappe avec rabattement de son niveau, et à une remontée du niveau de la nappe après arrêt du pompage.

Le schéma suivant explique le processus. (voir figure 8).

1°/ - A la fin de la nuit, le niveau de la nappe est à son maximum.

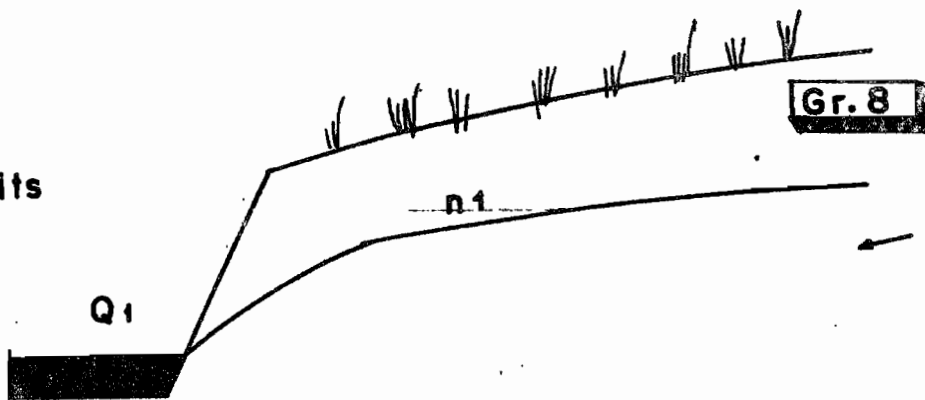
Le débit fourni à la rivière est maximum.

Schéma explicatif

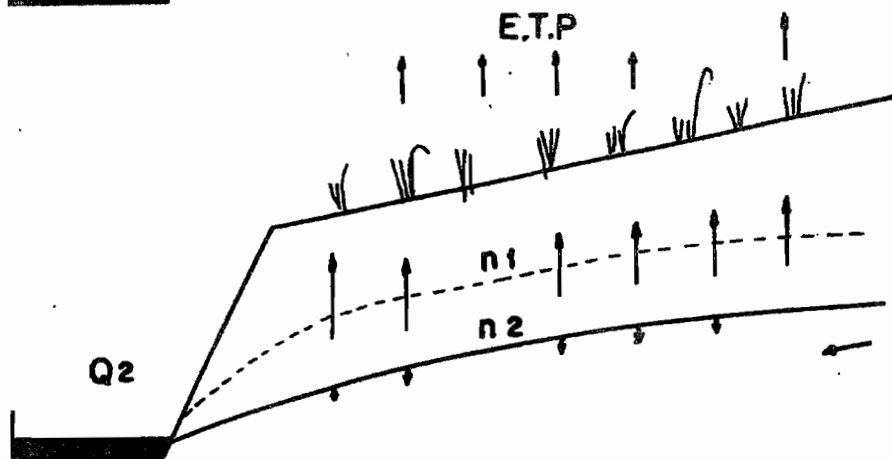
des variations

journalières de débits

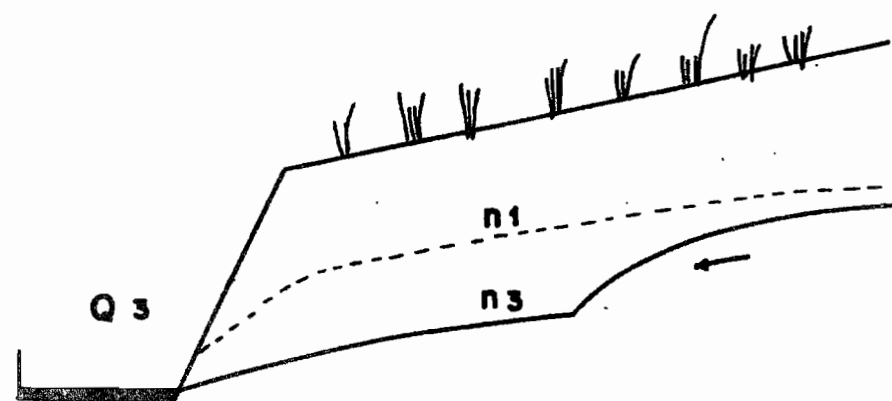
①



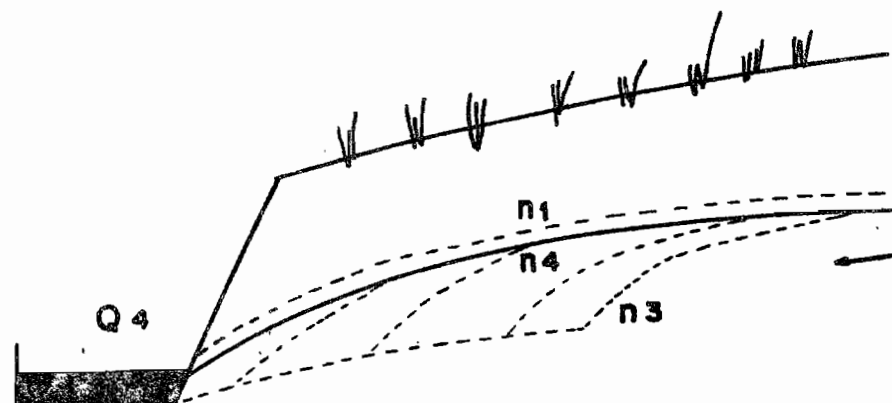
②



③



④



- 2°/ - Avec la levée du jour, la température s'élève, l'hygrométrie diminue, l'évapotranspiration va reprendre et se poursuivre toute la journée. Elle agit sur la nappe en pompant les réserves aquifères. Le niveau de la nappe diminue et par conséquent, le débit fourni à la rivière diminue. Comme pour un pompage, la descente du niveau piézométrique est d'abord rapide, puis se ralentit progressivement (loi exponentielle). Le débit fourni à la rivière varie dans le même sens (très net sur l'hydrogramme).
- 3°/ - A la tombée du jour, l'hygrométrie devient forte, l'évapotranspiration s'arrête ou est au moins fortement atténuée. La nappe est à son niveau minimum, le débit fourni à la rivière est minimum. L'arrêt du pompage de l'ETP dans la nappe va permettre à celle-ci de "récupérer".
- 4°/ - La nappe a progressivement "récupéré" son niveau maximum, légèrement inférieur à celui de la veille. Comme après un pompage, la remontée du niveau de la nappe est d'abord rapide puis croît de plus en plus lentement. Le débit fourni à la rivière suit une variation identique, très nette également sur les hydrogrammes.

REMARQUES :

- a : Il va de soi que si notre schéma porte les variations de débit dans le même temps que les variations de la nappe, la rivière réagit en fait avec un certain retard.
- b : La différence de niveau entre deux maximum de la nappe correspond à son tarissement pur.
- c : Pour que la nappe récupère, il faut qu'il y ait apports. Ces apports ne peuvent provenir que d'une zone de la nappe non concernée par le pompage de l'ETP, donc assez profonde pour ne pas être atteinte par l'évapotranspiration. Ceci est d'ailleurs tout à fait justifié par les profils transversaux observés sur ces bassins, dont les pentes sont plus fortes que celles de surfaces piézométriques. En s'éloignant de la rivière, de la zone de drainage, le niveau piézométrique est de plus en plus profond par

rapport à la surface du sol et échappe progressivement à la zone d'ETP. Cette remarque amène donc la notion de limitation dans l'espace du processus responsable des variations journalières de débit.

d : Enfin, il est bien évident que pendant toute la durée du pompage il y a apports de la partie amont de la nappe ; mais ces apports, fonction du rabattement de la nappe, sont alors peu de chose par rapport au volume pompé par l'ETP.

7.2. HYDROGRAMME des variations journalières de débit

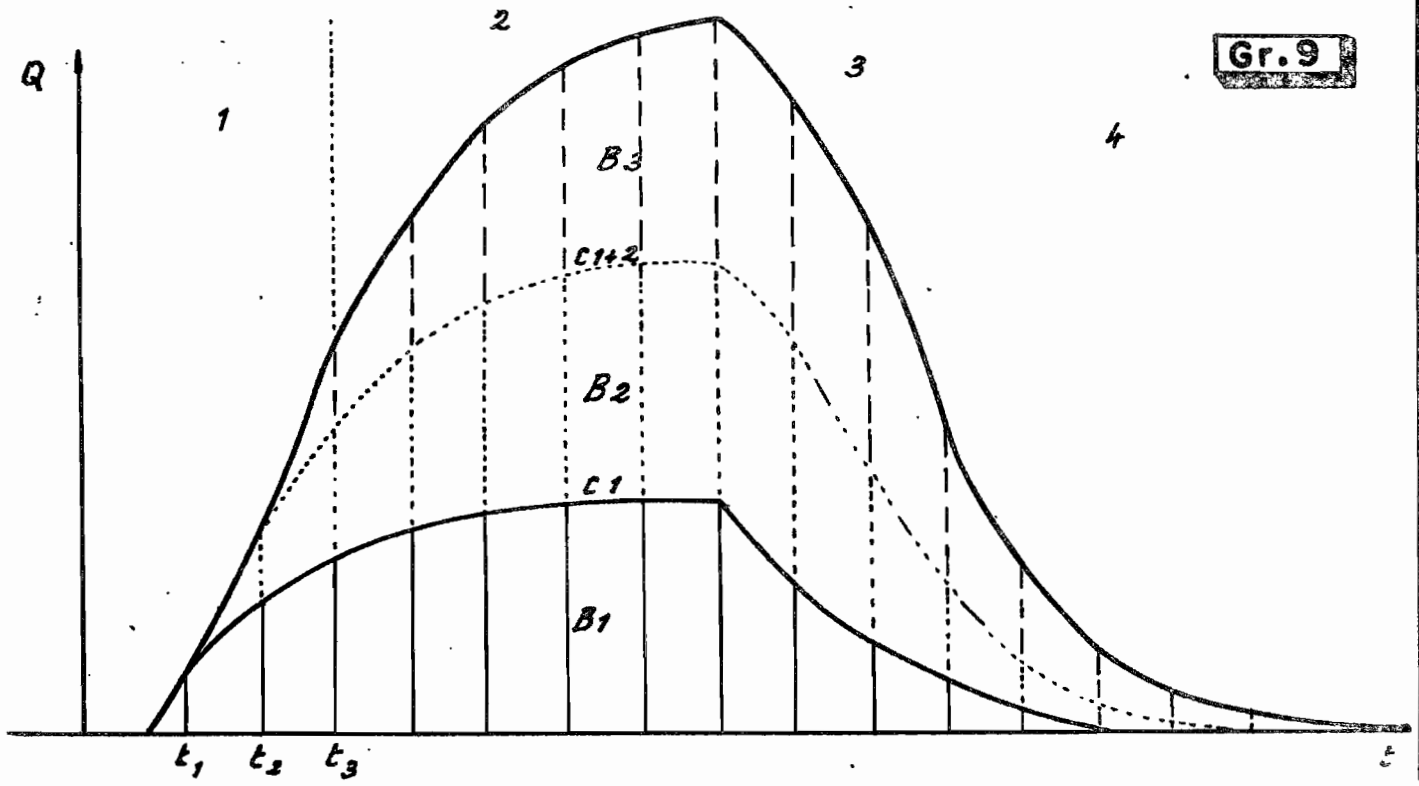
7.2.1. Reconstitution d'un hydrogramme type

Nous venons de voir que lorsque l'ETP pompe dans la nappe, on a un rabattement du niveau de celle-ci dont la variation est exponentielle. Corrélativement, la variation de débit a une décroissance exponentielle. Ces variations suivent des lois identiques lors de la remontée de la nappe. Pour une tranche unitaire de la rivière, la variation de débit va suivre une courbe du type de celles obtenues par un essai de pompage dans une nappe en régime de non-équilibre. L'analogie de ces courbes avec nos hydrogrammes nous a paru suffisamment frappante, on l'a vu, pour justifier intuitivement le rôle que nous avons attribué à la nappe.

Si on divise le réseau hydrographique en tranches égales pour lesquelles on admet que les réactions sont identiques, on peut composer l'hydrogramme tel qu'il devrait être observé à la station de mesures. Afin de faciliter la construction de cet hydrogramme, nous n'avons considéré que trois tranches identiques d'apports. Une tranche B1 mesurée à la station au temps t1, B2 mesurée à la station au temps t2, B3 au temps t3.

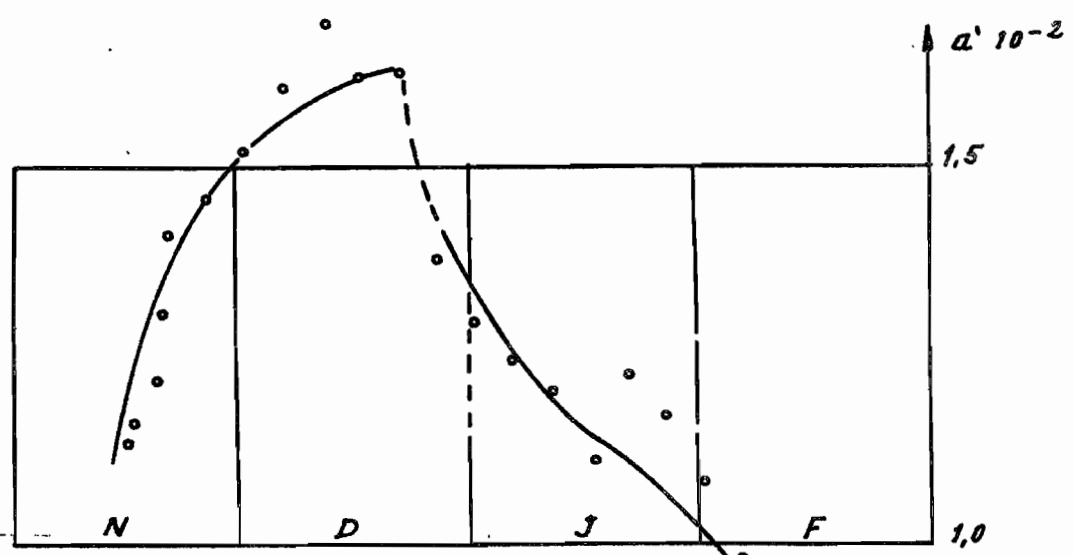
Ainsi le débit à la station $Q_{tn} = q_{tn} + q_{tn-1} + q_{tn-2}$

La figure 9a montre l'hydrogramme reconstitué. La courbe de la tranche B1 est une courbe type d'essai de pompage dans une nappe.



HYDROGRAMME THEORIQUE

9a



- Bassin de la Meteu -
 Variations du coefficient α' de
 rabattement au cours de la Saison sèche
 $Q = Q_0 e^{-\alpha' t}$) t exprimé en heures

9b

L'hydrogramme reconstitué montre quatre parties :

- 1° une phase de montée rapide jusqu'à l'arrivée de la tranche B3 ;
- 2° une phase de montée de plus en plus lente jusqu'au maximum ;
- 3° une phase de descente lente puis rapide, courbe convexe ;
- 4° une longue phase de descente à décroissance exponentielle des débits.

7.2.2. Hydrogrammes réels

Dans la mesure où les enregistrements limnigraphiques sont assez précis, on retrouve des hydrogrammes naturels présentant cette forme, notamment en début de saison sèche où les amplitudes sont plus fortes.

On peut admettre que le phénomène démarre simultanément sur l'ensemble du bassin puisque les conditions physiques du bassin varient en même temps. La phase 1 correspond donc au temps de montée du phénomène, équivalent au temps de montée d'une crue normale provoquée par une pluie homogène de courte durée tombée au même instant sur l'ensemble du bassin. Pour la METEU, ce temps de montée est de 1 heure. La phase 1 est donc relativement courte pour ce bassin, ce que l'on observe d'ailleurs dans l'hydrogramme (Figure 6). La phase 3 correspond au même temps dans le sens de la décrue. Les phases 2 et 4, plus longues, se retrouvent nettement dans tous les hydrogrammes réels, tels qu'elles ont été reconstituées dans notre hydrogramme type.

Remarque : L'hydrogramme théorique présente une durée de descente équivalente à celle de la montée. Or, nous avons vu précédemment qu'il y avait souvent assymétrie entre les temps de montée et ceux de descente. Cette assymétrie s'explique fort bien si l'on considère que la loi de variation des débits n'est pas forcément la même à la montée et à la descente. En fait, si dans les deux cas, la forme des variations est exponentielle, rien n'implique que les coefficients de variation soient les mêmes.

la montée est débits est liée aux apports amont de la nappe, suivant une loi du type : $Q = Q_0 (1 - e^{-at})$ la descente des débits dépend elle du pompage vertical de l'ETP dans la nappe, suivant une loi du type : $Q = Q_0 e^{-a't}$.

Quand le temps de descente est plus court que le temps de montée, a' est plus grand que a .

Le particularisme de chaque bassin intervient ici dans le rapport de ces deux coefficients.

- Nous avons supposé que le pompage exercé par l'ETP était un pompage à débit constant, ce qui ne peut être vérifié puisque l'ETP varie au cours de la journée. Le problème devient plus complexe dans ces conditions, même si la forme générale des variations est conservée.

- Particularisme de la METEU : Nous avons vu que la durée de la descente évoluait au cours de la saison sèche pour la METEU, ainsi que le rythme d'apparition des maximum et minimum. On peut supposer que le temps de descente est plus long au début de la saison sèche parce que les apports sont suffisamment importants pour limiter dans une certaine mesure la vitesse du rabattement du à l'ETP, et de nouveau plus long en fin de saison sèche parce que l'ETP puise plus difficilement dans la nappe, celle-ci étant plus profonde. Mais ces caractéristiques devraient se retrouver sur les autres bassins et on observe pas cette évolution. Il est possible que ce particularisme soit alors dû à l'existence de trois branches majeures du réseau hydrographique, dont les bassins évoluent différemment.

Coefficients de rabattement, de récupération

Malgré les réserves que nous venons de faire sur la forme du pompage de l'ETP, il est intéressant de voir l'évolution du coefficient a' de variation de la descente ou coefficient de rabattement. La figure 9b montre l'évolution de ce coefficient pour la METEU au cours de la saison sèche. (Signalons que dans l'expression $Q = Q_0 e^{-a't}$, t est exprimé en heures). Les valeurs de a' sont comprises entre 0,5 et $1,5 \cdot 10^{-2}$. L'évolution du coefficient n'est pas très différente de celle que l'on a notée pour le temps de descente, mais il est remarquable de retrouver au 25 Décembre la cassure que l'on observe dans le tarissement pur de la METEU. Le coefficient de récupération est du même ordre de grandeur, légèrement plus petit toutefois.

7.3. Delimitation de la zone responsable du phénomène

Il est logique de penser que l'ensemble du bassin n'est pas responsable des variations journalières de débit des rivières pour plusieurs raisons :

- Les vitesses de circulation dans une nappe sont très lentes. En dehors d'une zone proche de la rivière, les variations piézométriques éventuelles de la nappe (à supposer que la présence de nappes soit générale sur l'ensemble du bassin) se compensent et ne sont pas ressenties du fait de temps de réaction très variables.

- L'évapotranspiration ne joue vraiment son rôle que pour une zone où la nappe est relativement peu profonde. (rappelons que les profils transversaux des bassins ont de fortes pentes très supérieures aux pentes des nappes).

- L'amplitude spécifique ($1/s/km^2$) des variations de débit, varie d'un bassin à un autre.

Le calcul de l'évapotranspiration va nous permettre de préciser l'étendue de la zone responsable du phénomène étudié.

Nous considérerons que l'évapotranspiration est nulle au cours de la nuit (hygrométrie voisine de 100 %). La décroissance des débits maximum journaliers représente donc sensiblement le tarissement tel qu'il serait s'il n'y avait pas évapotranspiration au cours de la journée. Le planimétrage de l'aire comprise entre deux maximum de l'hydrogramme doit donc nous indiquer le volume de l'ETP réelle journalière.

Au mois de Novembre, peu après la fin des pluies l'ETP réelle est proche de l'ETP potentielle puisque le sol ne s'est pas encore appauvri de ses réserves et peut fournir la demande. Calculée à BANOK sur un bac Colorado, l'ETP potent. est d'environ 4 mm/jour à cette période.

Nous avons mesuré les volumes évaporés sur les hydrogrammes des 18, 19 et 20 Novembre 69. Le tableau ci-dessous donne les résultats pour trois bassins. (pas encore de variations sur la WASSA, et variations trop faibles pour les autres bassins).

Bassin	Superficie	ETP m ³	ETP Hydrog.	%	S zone
MIFI	306	10 ⁶	18.10 ³	1,8	5,4
CHOUMI	80	3.10 ⁵	3.10 ³	1	0,8
METEUFU	29,4	10 ⁵	5.10 ³	5	1,5

ETP m³ : sur la superficie totale du bassin - ETP hydrog. : déficit journalier d'écoulement mesuré sur l'hydrogramme. % : pourcentage du volume total d'ETP S zone : superficie de la zone influente en km².

Comme on le voit, les zones influentes du phénomène sont des plus réduites. Pour le CHOUMI, par exemple, la superficie du marécage n'est même pas atteinte (0,8 km² pour 2,5 km² de marais).

Nous avons essayé de préciser la forme de ces zones à partir du réseau hydrographique. L'étude du chevelu a été abordée de manière classique, mais retenir telle ou telle longueur du réseau pour déterminer la largeur de la zone influente est assez arbitraire. Nous avons finalement choisi la ou les branches majeures du réseau aval des bassins. (50 km pour la MIFI, 10 km pour la METEUFU, 8 km pour le CHOUMI). La zone influente aurait dans ces conditions une largeur d'environ 50 m de part et d'autre du lit de la rivière. C'est à notre avis une largeur trop importante pour les vitesses de circulation du sol et il semble qu'il faille admettre une plus grande longueur du réseau hydrographique intervenant dans ce phénomène.

7.4. Temps de réponse du phénomène

Le débit maximum est enregistré, nous l'avons vu, à des heures variables suivant la station.

Le débit maximum de la rivière apparaît avec un temps de retard par rapport au niveau maximum de la nappe. Ce temps est égal à la somme des temps de réponse de la nappe et des temps de montée de la rivière.

$$T_R = t_{\text{nappe}} + t_{\text{rivière}}$$

Les observations de cette saison ne nous ont pas permis de déterminer l'heure du maximum de la nappe. Celle-ci doit varier d'un point à un autre suivant que l'on est plus ou moins loin de la zone d'apports. On peut admettre que le temps de réponse de la nappe correspond au temps mis par l'écoulement de celle-ci à parcourir la moitié de la largeur de la zone influente du phénomène. Nous venons de voir que la largeur de cette bande qui suit le réseau hydrographique était probablement de la même dimension pour tous les bassins. Par ailleurs, les perméabilités sont comparables. (de l'ordre de 10^{-5} m/s). Le temps de réponse de la nappe doit donc être sensiblement le même pour tous les bassins.

C'est donc le temps de montée de l'écoulement superficiel, dans la rivière, qui, variant suivant les bassins, est responsable des différentes heures d'apparition du débit maximum.

Il est délicat de considérer quantitativement les temps de montée des crues observées en saison des pluies, celles-ci faisant intervenir l'ensemble du réseau hydrographique. Mais ces temps de montée traduisent toutefois des caractéristiques physiques du réseau qui doivent se retrouver dans l'écoulement de saison sèche.

On retrouve en effet une "hiérarchie" identique entre les bassins, que l'on considère les temps de montée des crues de saison des pluies (T_m), ou l'heure plus ou moins tardive du débit maximum journalier de saison sèche (H_M) ;

	Wassa	-	Choumi	-	Mifi	-	Chris	-	Meteu	-	Nat	-	Mésap	-
T_m h.	20,24		12,18		4,6		21/2,4		1,4		1/2,2		1	
H_M	20h		15h		13h		13h		12h		11h		10h	

8. C O N C L U S I O N S

Au cours des années précédentes, les variations journalières de débit n'avaient été observées qu'au cours d'une brève période suivant la saison des pluies. En Janvier, les variations n'étaient en général plus sensibles. La saison sèche 69-70 montre au contraire que les varia-

tions se poursuivent jusqu'à la mi-Mars, où les premières pluies apparaissent et perturbent le phénomène, soit pendant quatre mois. Cette persistance des variations est dû à une saison des pluies abondante et tardive qui a gonflé les nappes de manière exceptionnelle. (Les étiages absolus n'ont d'ailleurs pas été très bas.

La saison sèche 69-70 a donc été particulièrement propice à l'observation du phénomène et les mesures effectuées ont permis de dégager quelques caractéristiques de ces variations journalières de débit. Ces mesures et leur interprétation ont montré aussi que de nombreux points restaient à préciser, notamment en ce qui concerne les réactions de la nappe qui sont encore mal connues. Des perméabilités de l'ordre de 10^{-5} m/s (méthode Porchet) sont faibles et il est probable que l'on a des "chenaux" de circulation préférentielle dans la nappe (ceci a d'ailleurs été observé dans la région) qui permettent un transfert plus rapide des variations piézométriques au niveau de la rivière. Des injections de sel devraient permettre de déterminer les vitesses de circulation de la nappe en bordure de la rivière, au cours de la prochaine saison sèche. Au point de vue piézomètres, une infrastructure plus importante est en cours d'implantation ; il est notamment prévu d'enregistrer les variations de la nappe en plusieurs points.

Avec une réduction de 1/5, la précision des enregistrements aux stations hydrométriques sera nettement améliorée et permettra une meilleure étude des hydrogrammes.

L'ensemble de ces nouvelles observations devrait permettre de mieux définir les caractéristiques du phénomène que nous avons probablement trop schématisé dans cette étude faute de pouvoir mieux cerner les paramètres qui font le particularisme de chaque bassin.

L'amplitude des variations journalières de débit est telle que l'Ouest Cameroun est probablement une des régions les plus propices à leur étude.

9. B I B L I O G R A P H I E

G. CASTANY : Traité pratique des eaux souterraines

E. GELIS : Eléments d'hydraulique souterraine.