

RÉPUBLIQUE du TCHAD

Ministère des Travaux Publics

Service de l'Hydraulique

Etude Hydrologique des Ouadis
KADJEMEUR , SOFOYA et FERA

CAMPAGNE 1965

B. BILLON

M. A. ROCHE

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE - MER
CENTRE DE FORT-LAMY

7114ep.1

S O M M A I R E

SOMMAIRE

INTRODUCTION

A/ - SITUATION DE L'ETUDE PAR RAPPORT AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE
RAPPEL DE LA CONVENTION.

B/ - MOYENS D'EXECUTION

a) Personnel

b) Moyens matériels

1 - DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE

1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DES BASSINS VERSANTS.

1.2. GEOLOGIE.

1.3. PEDOLOGIE.

1.4. RELIEF.

1.5. COUVERTURE VEGETALE.

1.6. HYDROGRAPHIE.

2 - DONNEES CLIMATOLOGIQUES.

2.1. SOURCE DES RENSEIGNEMENTS ET STATIONS CLIMATOLOGIQUES.

2.2. INSOLATION.

2.3. TEMPERATURES.

2.4. HUMIDITE RELATIVE.

2.5. VENTS.

2.6. EVAPORATION.

2.7. PRECIPITATIONS.

2.7.1. Mécanisme général des précipitations.

2.7.2. Précipitations annuelles.

2.7.3. Variations interannuelles des précipitations annuelles.

2.7.4. Précipitations mensuelles.

2.7.5. Pluies journalières.

3 - RESULTATS ET CARACTERISTIQUES PLUVIOMETRIQUES DE L'ANNEE 1965 - OBSERVATIONS CLIMATOLOGIQUES A SOFOYA.

3.1. PRECIPITATIONS ANNUELLES.

3.1.1. Précipitation annuelle sur l'ensemble de la région.

3.1.2. Pluviométrie annuelle sur le bassin de l'O.FERA à AM NABAK.

3.2. PRECIPITATIONS MENSUELLES.

3.3. PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

- 3.3.1. Nombre de jours de pluie.
- 3.3.2. Précipitations journalières.
- 3.3.3. Précipitations journalières extrêmes.

3.4. REPARTITION DES PRECIPITATIONS DANS LE TEMPS.

3.5. OBSERVATIONS CLIMATOLOGIQUES A SOFOYA AU COURS DE 1965.

- 3.5.1. Températures.
- 3.5.2. Humidité relative.
- 3.5.3. Evaporation.

4 - BASSIN VERSANT DE L'OUADI FERA A AM NABAK.

4.1. EQUIPEMENT HYDROMETRIQUE.

- 4.1.1. Situation et description de la station.
- 4.1.2. Etalonnage de la station.

4.2. ETUDE DES CRUES.

- 4.2.1. Présentation de l'étude.
- 4.2.2. Description des crues.

4.3. HAUTEURS D'EAU ET DEBITS CLASSES - MODULE ET DEBITS MENSUELS.

- 4.3.1. Hauteurs d'eau classées.
- 4.3.2. Débits classés.

4.4. DEBIT SOLIDE.

- 4.4.1. Méthode de travail.
- 4.4.2. Débit solide en fonction de la hauteur d'eau.
- 4.4.3. Poids et volume de matière solide transportée en suspension.

4.5. ETUDE DE LA NAPPE AQUIFERE.

- 4.5.1. Résultats géophysiques.
- 4.5.2. Variations du niveau piézométrique de la nappe.

5 - BASSINS VERSANTS SUR L'OUADI KADJEMEUR.

5.1. EQUIPEMENT HYDROMETRIQUE.

- 5.1.1. Station I.
- 5.1.2. Station II.

5.2. ETUDE ANALYTIQUE DES AVERSES ET DES CRUES.

- 5.2.1. Présentation de l'étude.
- 5.2.2. Description de l'étude.

5.3. HAUTEURS D'EAU ET DEBITS CLASSES - MODULE ET DEBITS MENSUELS.

- 5.3.1. Hauteurs d'eau classées.
- 5.3.2. Débits classés.

5.4. DEBIT SOLIDE

- 5.4.1. Débit solide en fonction de la hauteur d'eau.
- 5.4.2. Poids et volume de matière transportée en suspension.

5.5. ETUDE DE LA NAPPE AQUIFERE.

- 5.5.1. Résultats géophysiques.
- 5.5.2. Variations du niveau piézométrique de la nappe.

6 - BASSINS VERSANTS SUR L'OUADI SOFOYA.

6.1. EQUIPEMENT HYDROMETRIQUE

- 6.1.1. Station I.
- 6.1.2. Station II.
- 6.1.3. Station III.

6.2. ETUDE ANALYTIQUE DES AVERSES ET DES CRUES.

- 6.2.1. Présentation de l'étude.
- 6.2.2. Description averse - crues.

6.3. HAUTEURS D'EAU ET DEBITS CLASSES - MODULE ET DEBITS MENSUELS.

- 6.3.1. Hauteurs d'eau classées.
- 6.3.2. Débits classés.

6.4. DEBIT SOLIDE.

- 6.4.1. Débit solide en fonction de la hauteur d'eau.
- 6.4.2. Poids et volume de matière transportée en suspension.

6.5. ETUDE DE LA NAPPE AQUIFERE.

- 6.5.1. Résultats géophysiques.
- 6.5.2. Variations du niveau piézométrique de la nappe.

7 - OUADI ENNE A BILTINE.

8 - OUADI OUM CHALOUBA A OUM CHALOUBA.

9 - CONCLUSIONS SUR L'ANNEE 1965.

- 9.1. AM NABAK.
- 9.2. KADJEMEUR.
- 9.3. SOFOYA.

LISTE DES FIGURES

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

A/ - SITUATION DE L'ETUDE PAR RAPPORT AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE.

RAPPEL DE LA CONVENTION.

Dans le Ouaddaï et le Mortcha il n'existe aucun système aquifère généralisé. L'essentiel des ressources en eau pendant la saison sèche est fourni par un grand nombre de nappes souterraines isolées et de faible importance. En relation étroite avec l'inféro-flux des ouadis ces réserves d'eau se rencontrent dans les dépôts quaternaires qui recouvrent le socle cristallin antécambrien.

La recharge de ces nappes s'effectue pendant la saison des pluies, en grande partie par infiltration des eaux de ruissellement dans le lit des ouadis. En fin de saison sèche les ressources exploitables deviennent souvent précaires ou inexistantes, au détriment des nomades et de leur bétail. Alors apparaît la nécessité de créer des points d'eau permanents supplémentaires.

Afin d'accroître les ressources de ces systèmes aquifères un projet de construction de barrages de suralimentation sur certains ouadis a été envisagé.

Le Ministère des Travaux Publics a confié à l'ORSTOM le soin de rassembler les données hydrologiques nécessaires à une telle réalisation.

La Convention 6500-373 du 24 Juillet 1965 entre le Ministère des Travaux Publics et l'ORSTOM définit les études à effectuer pour chacun des sites de barrages.

Des études doivent s'étendre sur les saisons des pluies 1965 et 1966.

Les stations principales des ouadis à étudier sont situées aux emplacements prévus pour les barrages de suralimentation, soit aux emplacements suivants :

Barrage de l'Ouadi FERA	Station située à AM NABAK	14°44' N	20°58' E
"	Ouadi KADJEMEUR	Station située au point	15°23' N 19°50' E
"	Ouadi SOFOYA	Station située au point	16°04' N 20°56' E

Les résultats à fournir sont les suivants :

- Caractéristiques des crues maximales enregistrées.
- Volume des crues.
- Hauteurs et débits classés.
- Estimation des volumes écoulés en années extrêmes (forte et faible pluviométrie)
- Estimation des crues de fréquence rare.

Le programme de mesure comprend en outre :

- Des mesures périodiques du niveau des nappes, effectuées au cours de la saison des pluies dans les piézomètres installés par l'Administration à proximité des sites de barrages.

- Des prélèvements d'eau au cours des crues pour l'évaluation des débits solides transportés en suspension.

B/ - MOYENS D'EXECUTION.

a) - Personnel

La campagne s'est déroulée de Juin à Octobre 1965. Les opérations sur les 3 bassins versants ont été réalisées par B. BILLON et M.A. ROCHE, Hydrologues de l'ORSTOM et par R. RANDON et J. SABATIER, Agents Techniques Hydrologues à l'ORSTOM.

b) - Moyens matériels

- Déplacements : Le matériel lourd et l'essence nécessaires ont été acheminés par un transporteur à KADJEMEUR et OUM CHALOUBA.

La mission disposait de 4 véhicules tous terrains.

- 1 Land Rover 109 à AM NABAK.

- 1 Land Rover 109 à SOFOYA.

- 2 Power Wagon à KADJEMEUR. Un de ces véhicules tombe en panne en début de campagne. Le second s'avère de faible utilité étant donné la difficulté de circuler sur le bassin après les pluies.

Les relevés pluviométriques ont été effectués très souvent à chameau ou à cheval.

Avant les premières pluies l'eau a dû être acheminée en fûts de 200 l. d'OUM CHALOUBA à SOFOYA, le puits de cette station étant pratiquement à sec.

- Climatologie

La pluviométrie annuelle du bassin d' AM NABAK est connue par 21 totalisateurs et un pluviomètre Association situé à la station.

A KADJEMEUR les précipitations journalières ont été mesurées à 9 pluviomètres Associations doublés de totalisateurs et à 12 totalisateurs. Deux pluviographes à mouvement de 24 et 48 heures ont été placés, l'un à la station I, l'autre au poste n° 8. Ce dernier a été détruit par les nomades après la deuxième averse.

A SOFOYA on disposait de 15 Associations doublés de totalisateurs et de 12 totalisateurs, répartis sur l'ensemble du bassin. Deux pluviographes à mouvement quotidien et mensuel ont été placés l'un à la station, l'autre au poste n° 11. Ce dernier a été détérioré par les nomades avant que l'enregistrement soit relevé.

.. / ...

Notons que sur les bassins de nombreux pluviomètres, ou l'huile des totalisateurs, ont été très souvent volés. Bien que remplacés immédiatement, un certain nombre de résultats ont été ainsi perdus.

Une station climatologique installée à la station I comprenait :

- 1 thermomètre à maximum
- 1 thermomètre à minimum
- 1 thermomètre enregistreur
- 1 hygromètre enregistreur à cheveux
- 1 psychromètre (thermomètre sec et humide)
- 1 bac Colorado (1 m²) (enterré)

- Topographie : Chaque équipe était dotée d'un niveau WILD n° 0 ou n° 2, d'une mire pliante de 4 m et d'une boussole Broussarde TOPOCHAIX.

- Hydrologie : La station d'AM NABAK était équipée d'un limnigraphe OTT, type XX longue durée. 3 limnigraphes à SOFOYA et 2 à KADJEMEUR, à mouvement quotidien ou hebdomadaire, enregistraient les crues à chaque station.

Chaque appareil était doublé d'une échelle de contrôle.

Chacune des équipes possédait 2 moulinets OTT type Arkansas et Neiss.

Une passerelle de 25 mètres à la station I de SOFOYA permettait les jaugeages de hautes eaux.

Les mesures du niveau dynamique de la nappe dans les puits et piézomètres ont été effectuées à l'aide d'un sondeur HWK (MIST) ou d'une sonde ROSSIGNOL.

- Fond topographique

Les cartes utilisées sont :

Au 1/200.000 = ELELA, ARCHEI, MONOU, OUM CHALOUBA, KAPKA, IRIBA, BILTINE, AM ZOER, GUEREDA, ABECHE.

Au 1/400.000 = BILTINE, IRIBA.

Au 1/1000.000 = ABECHE, LARGEAU.

../...

1 - DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE

1.1.- SITUATION GEOGRAPHIQUE DES BASSINS VERSANTS

La carte 1 précise la position de la région étudiée, la carte 2 y situe les bassins versants des O. FERA, KADJEMEUR et SOFOYA.

Ces trois bassins se trouvent dans la bordure Ouest du Ouaddaï et du Mortcha entre 14 et 16° de latitude Nord et 20°50' et 22°10 de longitude Est.

Celui de l'Ouadi FERA à AM NABAK (20 km au Nord de BILTINE) est le plus vaste des trois. Il s'étend sur le massif du Ouaddaï et la plaine du piedmont. Il est adjacent au bassin versant du Nil dans sa partie Est.

Celui de l'O. KADJEMEUR se trouve à trente kilomètres à l'Est de la piste ARADA - OUM CHALOUBA, à mi-distance de ces deux localités. Deux stations y sont observées, le bassin I englobant le II.

Celui de l'O. SOFOYA est à une trentaine de kilomètres au Nord-Est d'OUM CHALOUBA. Trois stations y sont observées, le bassin englobe les II et III, adjacents l'un à l'autre. La piste ABECHE - FADA traverse le bassin au voisinage des stations II et III.

Le tableau 1 donne les caractéristiques de ces différents bassins versants.

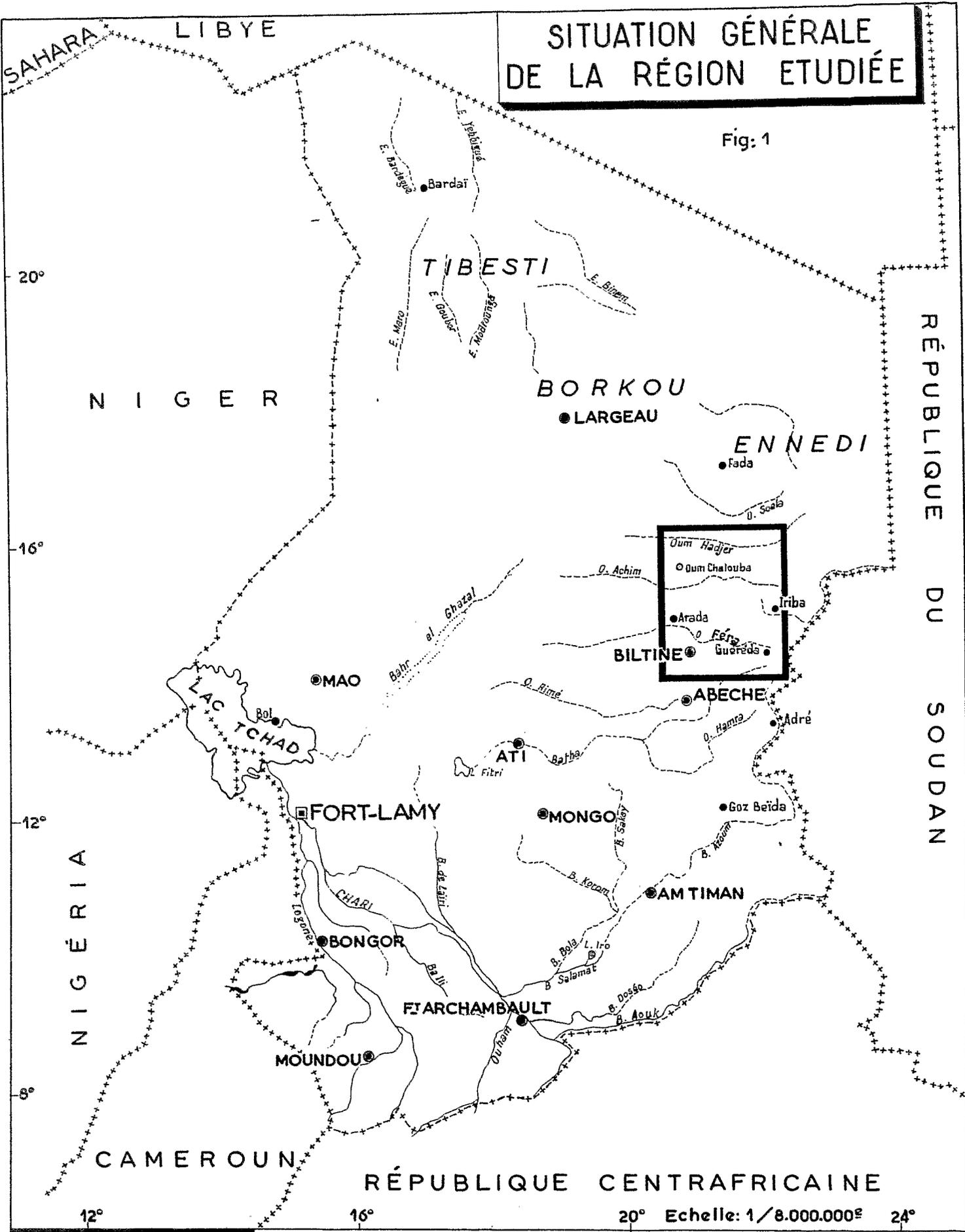
Tableau 1 : Caractéristiques des bassins versants à AM NABAK, KADJEMEUR et SOFOYA.

Bassins versants	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Coefficient de Gravelius	Altitude maximale *	Altitude de la st. *
AM NABAK	5600	375	1,40	1300	500
KADJEMEUR I	245	78	1,41	550	450
II	195	65	1,31		
SOFOYA I	345	106	1,61		
II	173	74	1,59	550	450
III	62	48	1,72		

* Altitude approximative estimée sur les cartes topographiques.

SITUATION GÉNÉRALE DE LA RÉGION ETUDIÉE

Fig: 1



CRT 7585

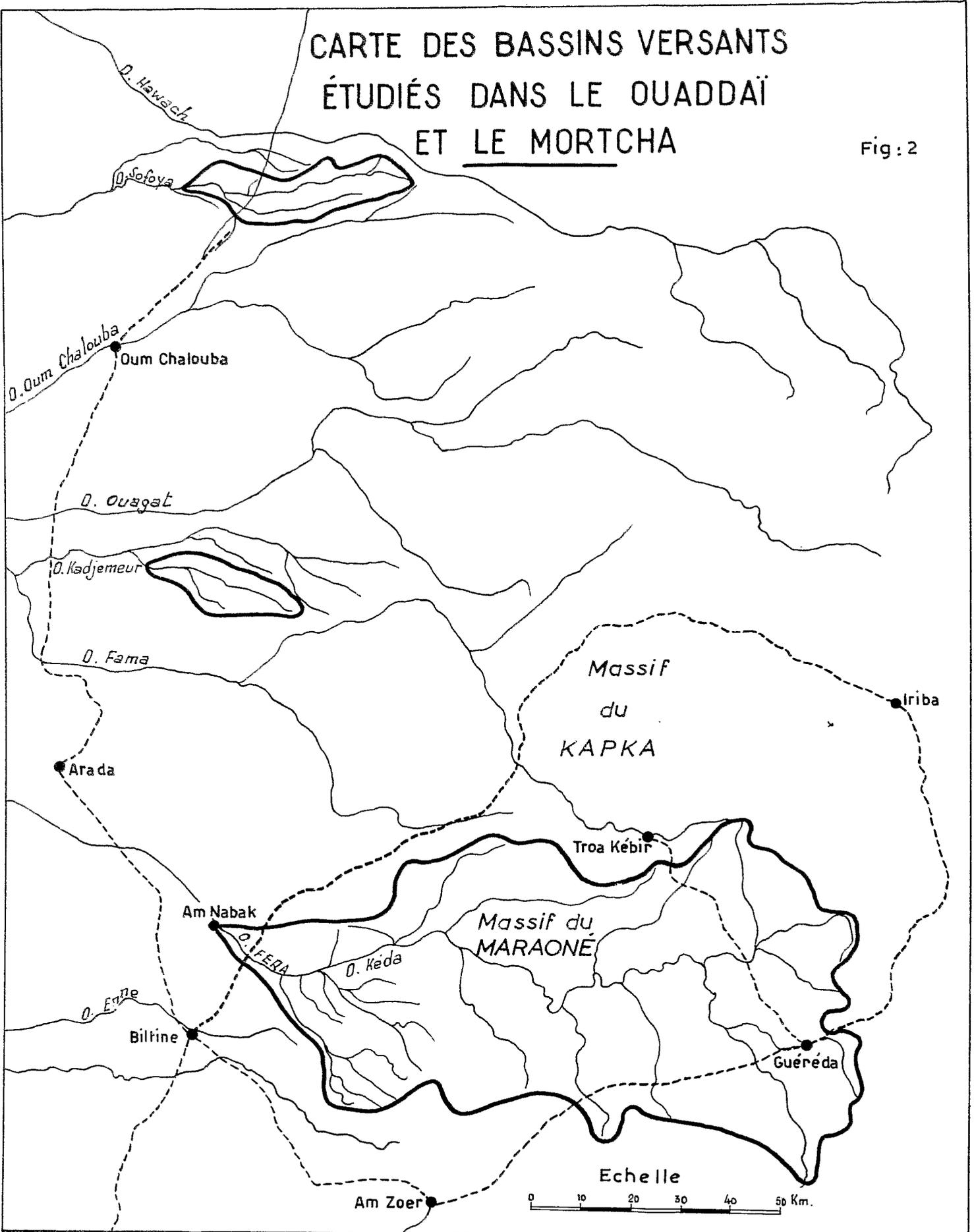
ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:	LE:10-12-65	DES: S. NTCOE	VISA	TUBEN°
-----	-------------	---------------	------	--------

20° Echelle: 1/8.000.000° 24°

CARTE DES BASSINS VERSANTS ÉTUDIÉS DANS LE OUADDAÏ ET LE MORTCHA

Fig: 2



CRT 7577

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:	LE: 16-11-65	DES: S. NICOE	VISA	TUBEN?	
-----	--------------	---------------	------	--------	--

1.2.- GEOLOGIE

Dans le Ouaddaï se distinguent deux grands ensembles géologiques :

- A l' Est, le massif granitique antécambrien à relief accentué.

- A l' Ouest, la plaine alluviale quaternaire qui ennoie le substratum cristallin : les bassins étudiés se situent à la limite de ces deux ensembles. L'épaisseur des sédiments quaternaires est très souvent réduite, laissant apparaître le socle en de nombreux points.

Quelques rares témoins de terrains primaires se rencontrent également sur les bassins septentrionaux.

Antécambrien

La région Est est constituée de granites et de migmatites calco-alcalins souvent riches en phénocristaux de feldspath. On note, par place, des passages peu abondants et très localisés de gneiss et de micaschistes. Des granodiorites, bien qu'assez rares, sont également représentées.

Des filons de microgranite à biotite, de pegmatite et de quartz, postérieurs à la mise en place des granites et migmatites affleurent sous forme de crêtes.

Primaire

De rares affleurements de grès apparaissent dans la plaine. C'est en particulier le cas de KADJEMEUR où s'observent à l'état de reliquats des grès siluro-dévonien fortement érodés reposant directement sur le socle. Ils sont encadrés par de nombreuses failles soulignées par d'importantes brèches quartzeuses. L'effondrement de l'ensemble a permis aux grès de subsister malgré l'érosion.

Quaternaire

Dans le massif granitique se rencontrent quelques dômes volcaniques. Leur bon état de conservation (cheminée de Natika) amène à leur attribuer un âge quaternaire.

La plaine alluviale qui s'étend à l' Ouest des reliefs cristallins est composée des formations de remplissage de la Cuvette Tchadienne, d'arènes granitiques, d'alluvions actuelles et de formations éoliennes.

Sur les bassins versants les formations de remplissage de la Cuvette Tchadienne ne sont pas représentées.

../...

Les regs qui recouvrent partiellement le socle sont en général des sols qui reposent directement sur la roche mère altérée.

Les arènes granitiques se rencontrent principalement dans les bassins d'altération ou de fractures qui jalonnent les vallées des ouadis. Ce sont avec les alluvions actuelles et en particulier le sable des ouadis, les principaux terrains aquifères de la région.

Les formations éoliennes peuvent être anciennes, récentes ou mixtes. Elles sont fixées par la végétation. Les ouadis recourent les dunes anciennes orientées ENE - WSW. Les formations récentes, de moindre importance, se développent principalement au pied des inselbergs.

1.3.- PEDOLOGIE (Par G. BOCQUIER, Maître de Recherches de l'ORSTOM)

Dans le bassin versant de l'Ouadi SOFOYA, on peut distinguer quatre unités morphologiques principales auxquelles correspondent des unités pédologiques ou des associations de sols caractéristiques :

- Des glacis à pente faible et régulière, formés sur roches granitiques et appelés "regs" du fait de la présence de graviers de quartz à leur surface. Ils occupent généralement les lignes de crête et la majorité des versants. A la base des versants, ces glacis sont entaillés - mais rarement disséqués - par des affluents secondaires peu ramifiés. Au point de vue pédologique, ces glacis correspondent à une association de Vertisols et de Sols Halomorphes lessivés (solonetz) formés directement à partir de la roche-mère granitique (Sols Lithomorphes).
- Des accumulations sableuses éoliennes, occupent certaines parties hautes de glacis et sont adossées ou non à des affleurements rocheux granitiques ou gréseux. Les sols qui en dérivent sont généralement des Sols peu évolués d'apport éolien à faciès subaride brun rouge : malgré leur texture sableuse souvent grossière, la perméabilité de ces sols paraît réduite par la formation de croûtes superficielles et certaines surfaces à pente forte peuvent être l'objet d'un ruissellement en nappe puis concentré avec formation de rigoles d'érosion.
- Des zones basses d'accumulation alluviale, correspondent ou non aux surfaces d'épandage actuel des crues. Constituées par une succession de dépôts plus ou moins grossiers (proluvions) et de dépôts fins de décantation, ces surfaces où se localise la végétation arbustive correspondent à des Sols peu évolués d'apport alluvial, généralement peu marqués par l'hydromorphie.
- Des affleurements rocheux soit de nature granitique sous forme de chaos ou de massifs avec fragmentation d'écaillles de desquamation, soit de nature gréseuse dans la zone Nord Est du bassin versant. Il s'agit dans ce cas de Sols Minéraux bruts d'érosion.

Deux observations pédologiques concernant les sols de glacis ont permis de préciser les points suivants :

- Les sols des glacis, formés directement sur granite sont relativement épais (de l'ordre de 1 mètre jusqu'à la roche mère massive) et s'ils présentent indéniablement des traces de ruissellement diffus à leur surface (croute et horizon supérieur mince d'apport) ils ne sont pas l'objet d'une érosion intense.
- Malgré leur texture argilo-sableuse et la présence de croutes pluviales superficielles, ces sols de glacis et notamment les Vertisols sont l'objet d'une infiltration encore importante ; ainsi une rétention d'eau a été observée à 75 cm de profondeur dans un Vertisol, 5 mois après des précipitations d'un total de 106 mm. Malgré l'aridité du climat actuel, on note d'ailleurs que ces Vertisols - correspondant vraisemblablement à une pédogénèse ancienne plus humide - ont une humectation suffisante pour créer saisonnièrement un faible microrelief superficiel ainsi que des effondrements.

Le Bassin Versant de l'Ouadi KADJEMEUR est - en comparaison - caractérisé par :

- Des surfaces basses d'accumulation alluviale plus importantes et plus colonisées par la végétation.
- La présence locale, à la base des glacis, de surfaces à pente plus forte érodées jusqu'à la roche granitique et sujettes à un ruissellement diffus sinon en rigoles et ravines.
- De plus vastes affleurements rocheux (sols minéraux bruts d'érosion).

Le Bassin Versant de l'Ouadi FERA à proximité d' AM NABAK se caractérise par :

- Des plaines alluviales encore plus étendues.
- Des regs sur granite identiques à ceux des bassins plus septentrionaux (Vertisols et Sols Halomorphes).
- Des accumulations éoliennes adossées aux inselbergs.

1.4.- RELIEF

Le bassin de l'O. FERA, dans le massif cristallin, englobe le MARAONE et la région de GUEREDA. La partie amont a une altitude supérieure à 1000 m, au Sud-Est deux points dépassent légèrement 1200 m. La plaine de piedmont, à peine modelée par le réseau hydrographique, s'étend entre 600 et 500 m, altitude à laquelle peut être estimée la station d' AM NABAK.

A l'extérieur du massif de nombreux inselbergs granitiques, souvent entourés à la base de sables dunaires, dominant la plaine d'une centaine de mètres. Les reliefs

../...

présentent soit des pentes lisses soit des pentes chaotiques. La première morphologie est due à la desquamation des granites lesquels se délitent en bancs épais d'un à plusieurs mètres concentriquement aux formes de relief. Le second stade de cette évolution s'effectue par une décomposition des bancs en boules.

La courbe hypsométrique du bassin (fig. 3) permet d'estimer l'altitude moyenne du bassin aux environs de 800 m.

Le bassin de l' O. KADJEMEUR présente de faibles dénivellées (450 à 530 mm). Il est limité au Sud par des dunes et au Nord par la crête rocheuse méridionale du massif de KONK qui domine d'une centaine de mètres la station I dont l'altitude a été estimée à 500 m. Les filons quartzeux forment de nombreux dykes dans le paysage.

Le bassin de SOFOYA présente des reliefs encore plus faibles, déterminés par des affleurements gréseux ou granitiques ou des filons de quartz. On peut évaluer à 450 m l'altitude de la station I et à 550 m le sommet des reliefs qui bordent localement le bassin au Sud et au Nord-Est. Des massifs dunaires peu élevés séparent au Nord-Ouest le bassin versant de celui de l' O. HAOUACH.

1.5.- COUVERTURE VEGETALE

La densité du couvert végétal, la répartition des espèces, sont fonction à la fois des formations pédologiques, des ressources en eaux souterraines et des conditions climatiques.

De BILTINE à SOFOYA la densité de la végétation décroît progressivement. On passe de la savane arborée à des pseudo-steppes encadrées par la végétation arbustive qui ne se développe plus que dans les lits majeurs des ouadis.

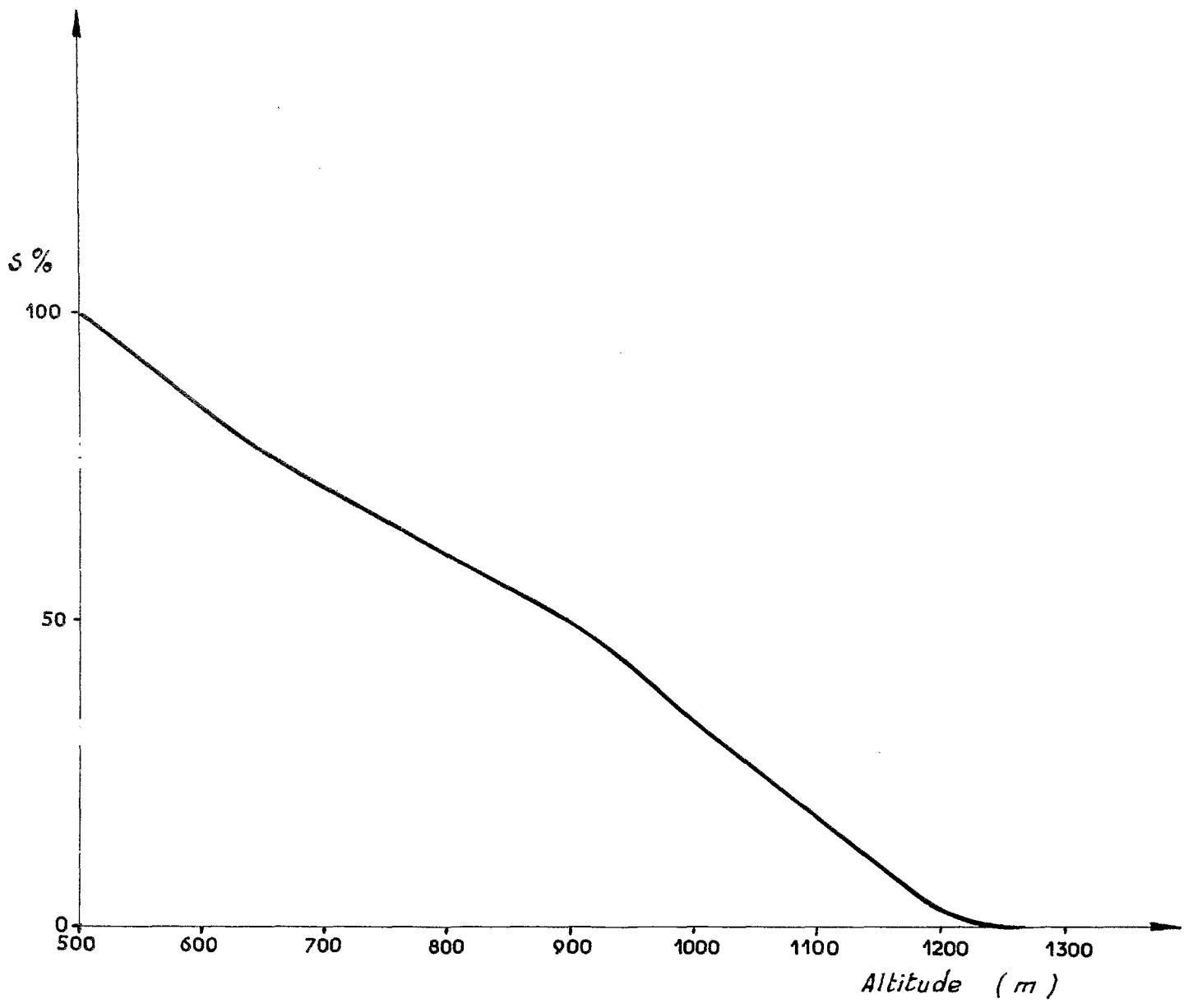
Le tapis graminéen décroît également rapidement en hauteur et densité vers le Nord mais présente un cycle annuel lié à la saison des pluies. Quelques jours après les premières précipitations, le sol dénudé et le lit de certains ouadis se recouvrent d'herbes. Ceci se traduit par des débits liquides et solides moins importants pour une même hauteur d'eau, ce qui favorise la sédimentation. C'est un phénomène qui apparaît nettement à AM NABAK où le lit de l'Ouadi FERA est envahi par les graminées après les premières pluies.

Les espèces dominantes de graminées sont :

- *Aristida*
- *Cenchrus bifloris*
- *Panicum turgidum*
- *Cymbopogon giganteus* (en touffes déchaussées)
- *Schoenfeldia gracilis*

../...

COURBE HYSOMÉTRIQUE du Bassin versant de L'OUADI FERA à AM NABAK



CRT 7575

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:	LE: 11 - 11 - 65	DES: S. NICOE	VISA	TUBEN°	
-----	------------------	---------------	------	--------	--

Comme principales espèces arbustives on note :

- Acacia senegal
 tortilis
 seyal
 scorpioides
 sieberiana
- Ziziphus sp.
- Dalbergia melanoxylon
- Albizzia chevalieri
- Commiphora africana
- Boscia senegalensis
- Cordia gharaf
- Maerua crassifolia
- Salvadora persica
- Capparis decidua
- Balanites aegyptiaca.

1.6.- HYDROGRAPHIE

Dans la région qui nous intéresse le réseau hydrographique prend naissance dans le massif de l' Ouaddaï et se dirige ensuite vers l'Ouest jusqu'au voisinage du GOZ KERKI, sur un parcours de 400 à 500 kilomètres.

Notons qu'un même ouadi change fréquemment de nom tout au long de son cours.

L' O. ENNE débute à l'Est de BILTINE et se poursuit jusqu'à la longitude d'Ati.

L' O. KEDA débute dans la région de GUEREDA, il prend le nom d' O. FERA en arrivant dans la plaine où il est étudié à AM NABAK, puis celui de O. HADDAD à l'Ouest de la piste BILTINE - ARADA. En avant de la piste BILTINE - MATADJENE le lit se développe en vastes zones d'inondation où se répand la totalité des crues moyennes. L' O. HADDAD se divise fréquemment en de nombreux bras au lit le plus souvent sableux.

L'Ouadi KADJEMEUR prend naissance dans la plaine du piedmont et se jette après une soixantaine de kilomètres dans l'ouadi FAMA. Ce dernier prend naissance dans le massif du KAPKA. Il en est de même de l'Ouadi OUAGAT avec lequel il conflue pour former l'Ouadi KARMA.

- L'ouadi SOFOYA afflue à l'Ouadi YEDINGA lequel après la confluence de l'Ouadi OUM CHALOUBA forme l'Ouadi ACHIM.

Les caractères essentiels de ce réseau hydrographique sont sa dégradation et son endoréisme.

La dégradation hydrographique se traduit le plus souvent par de vastes zones d'inondation dans lesquelles arrivent à peine à se discerner quelques chenaux d'écoulement préférentiel. Elles absorbent fréquemment la totalité des crues.

On assiste parfois à une division du lit mineur en une multitude de bras pouvant évoluer en chapelet de mares. L'Ouadi HADDAD à l'Ouest de la piste BILTINE - ARADA devient une vaste dépression orientée Ouest-Est, large d'une trentaine de kilomètres et couverte en saison des pluies par de grandes mares dont les plus importantes durent généralement jusqu'en Janvier. Ce lieu de rassemblement important des nomades mérite une attention particulière.

Cet O. HADDAD ne représente d'ailleurs que l'un des trois tronçons qui diffluaient au quaternaire de l'O. FERA. La branche la plus méridionale occupait la dépression où passe le cours actuel de l'O. ENNE. La branche médiane rejoignait l'O. HADDAD en passant au travers de la série sableuse ancienne ainsi arasée sur plusieurs kilomètres de large.

L'endoréisme du réseau est extrêmement marqué. Il est rare d'observer des écoulements continus sur de grandes distances. De toutes façons aucune liaison n'existe entre les différents ouadis et chacun d'eux disparaît peu à peu vers l'Ouest ou aboutit dans de vastes nagsa.

D'après J. RODIER * cette dégradation hydrographique est due à l'effet combiné de 3 facteurs :

- Une longue saison sèche au cours de laquelle disparaît la végétation herbacée et des averses de forte intensité, responsables d'une érosion intense.

- Des crues sporadiques, de courte durée et de débits spécifiques insuffisants pour transporter les matériaux solides ou entretenir un lit continu dès que la pente devient faible.

- D'immenses étendues à très faible pente où les crues s'étendent en nappe assez mince vite consommée par une évaporation intense.

Il apparaît donc finalement que le réseau hydrographique actuel n'est que l'héritage d'un réseau fossile qui s'est réalisé au cours des périodes humides du Quaternaire, après le retrait du lac jusqu'au GOZ KERKI, vestige de l'ancien rivage. Les ouadis débouchant du Ouaddaï se jetaient alors dans ce lac. Ultérieurement les accumulations sableuses du GOZ KERKI ont constitué un barrage efficace à l'écoulement vers le BAHR EL GAZAL.

Durant les périodes arides qui ont séparé les pluviales, le réseau hydrographique devait prendre un aspect peut-être plus dégradé encore que l'actuel.

../...

* Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'Ouest du Congo.

D'après la classification de J. RODIER, le régime hydrographique de l' O. FERA est sahélien, ceux des O. KADJEMEUR et SOFOYA sont subdésertiques, mais le passage d'un régime à l'autre est insensible.

2 - DONNEES CLIMATOLOGIQUES

2.1.- SOURCE DES RENSEIGNEMENTS ET STATIONS CLIMATOLOGIQUES

Les archives de l' ASECNA sont à la base des résultats mentionnés.

Sur une distance de 400 km du Sud au Nord on passe du régime climatologique sahélien Sud, qui intéresse ABEICHE et le bassin de l'O. FERA, presque au régime saharien qui règne à FADA au climat un peu plus aride que celui de l'Ouadi SOFOYA. KADJEMEUR, situé entre les deux, a un régime sahélien Nord.

Les conditions climatiques de la région Ouest du bassin de l'O. FERA peuvent être estimées d'après les résultats de la station d' ABEICHE. Cependant celles des deux bassins septentrionaux sont déjà plus difficiles à déterminer vu la rapidité des changements de régime vers le Nord.

Les résultats climatologiques relevés pendant la saison des pluies 1965 à la station I de SOFOYA seront étudiés au chapitre 3.

Les résultats pluviométriques comparés d' ABEICHE, GUEREDA, IRIBA, BILTINE, ARADA et FADA permettent une étude serrée des précipitations sur le OUADDAI et le MORTCHA et en particulier une bonne estimation du régime des pluies sur les bassins versants.

Les altitudes et coordonnées des différentes stations sont les suivantes :

ABEICHE	=	549 m.	13°51' N	20°51' E
GUEREDA	=	988 m.	14°30' N	22°05' E
IRIBA	=	950 m.	13°15' N	15°18' E
BILTINE	=	512 m.	14°32' N	20°55' E
AM NABAK	=	500 m.	14°44' N	20°58' E
ARADA	=	450 m.	15°01' N	20°40' E
KADJEMEUR	=	450 m.	15°23' N	19°50' E
SOFOYA	=	450 m.	16°04' N	20°56' E
FADA	=	(450 m.)	17°10' N	21°33' E

2.2.- INSOLATION (Fig. 4)

L'insolation a été étudiée à ABEICHE de 1953 à 1965. Les valeurs moyennes journalières mensuelles sont présentées ci-dessous en dixième d'heure.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
100	106	95	99	99	94	76	65	85	99	103	100	92

..//...

Les maximums s'observent pendant la saison sèche avec un peu plus de 10 heures d'insolation alors que les minimums correspondent à la saison des pluies. La nébulosité diminuant vers le Nord il est probable que les valeurs soient plus élevées en été sur les bassins versants étudiés.

2.3.- TEMPERATURES (Fig. 5)

Les variations de température dépendent de deux phénomènes dont les influences se conjuguent :

- Un rafraîchissement hivernal, correspondant aux incidences faibles des rayons solaires, qui produit un minimum en Janvier.

- Un rafraîchissement estival, dû à l'apparition des pluies et à l'augmentation de la nébulosité, qui correspond à un minimum secondaire en Août.

Le maximum de Mai correspond au deuxième passage annuel du soleil à la verticale.

Le réchauffement d' Octobre marque la fin de l'influence des pluies sur les températures.

Les moyennes mensuelles des températures à ABECHÉ, de 1948 à 1965, sont présentées ci-dessous :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
Moyenne des maxi.	35,9	37,1	40,1	41,7	41,2	39,2	34,8	31,6	35,0	38,2	37,0	35,4	37,3
Moyenne	25,2	27,3	30,8	32,9	33,0	31,5	28,4	26,1	27,7	29,2	28,1	25,8	28,8
Moyenne des mini.	15,8	17,5	21,6	23,8	24,7	24,0	22,0	20,6	20,4	20,1	19,1	16,2	20,5

Sur les bassins les températures tendent probablement à être plus fortes en été et plus faibles en hiver.

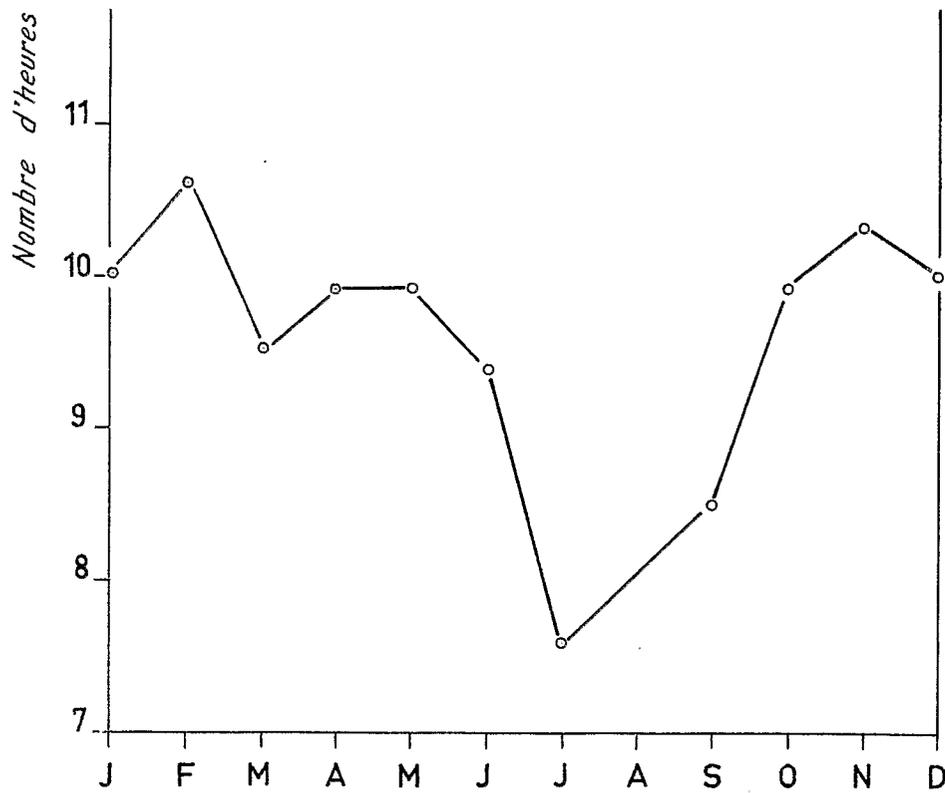
2.4.- HUMIDITE RELATIVE (Fig. 6)

Les moyennes mensuelles de l'humidité relative à ABECHÉ pour la période 1948 - 1965 sont les suivantes :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
6 h	32,5	27,0	24,4	27,7	41,4	59,5	77,6	89,2	80,9	49,7	33,6	34,7
12 h	17,9	15,8	15,8	17,9	24,7	32,1	49,7	62,0	46,2	24,4	20,3	18,6
18 h	24,2	20,0	19,8	23,2	29,7	38,5	59,7	78,9	61,8	37,0	28,4	26,1

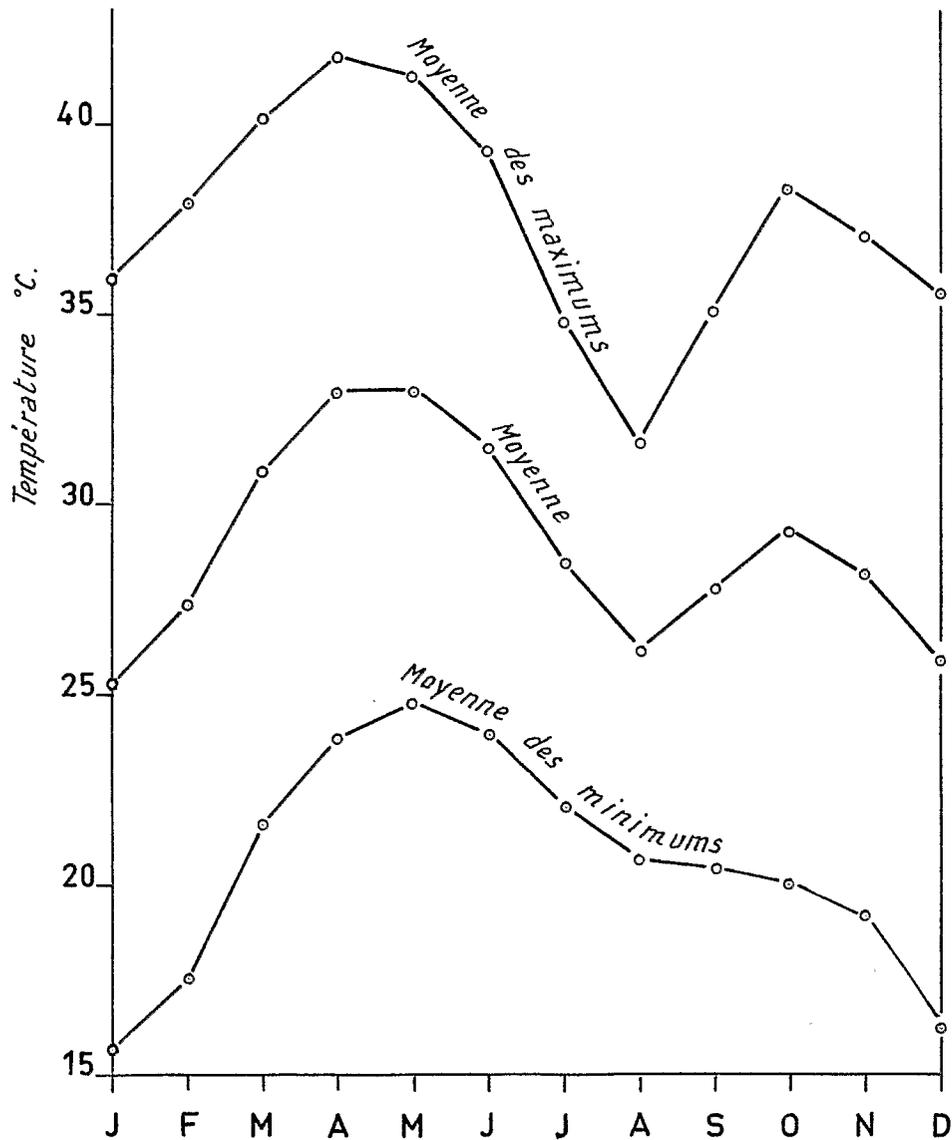
ABECHÉ (1953-1965)

INSOLATION JOURNALIÈRE MOYENNE



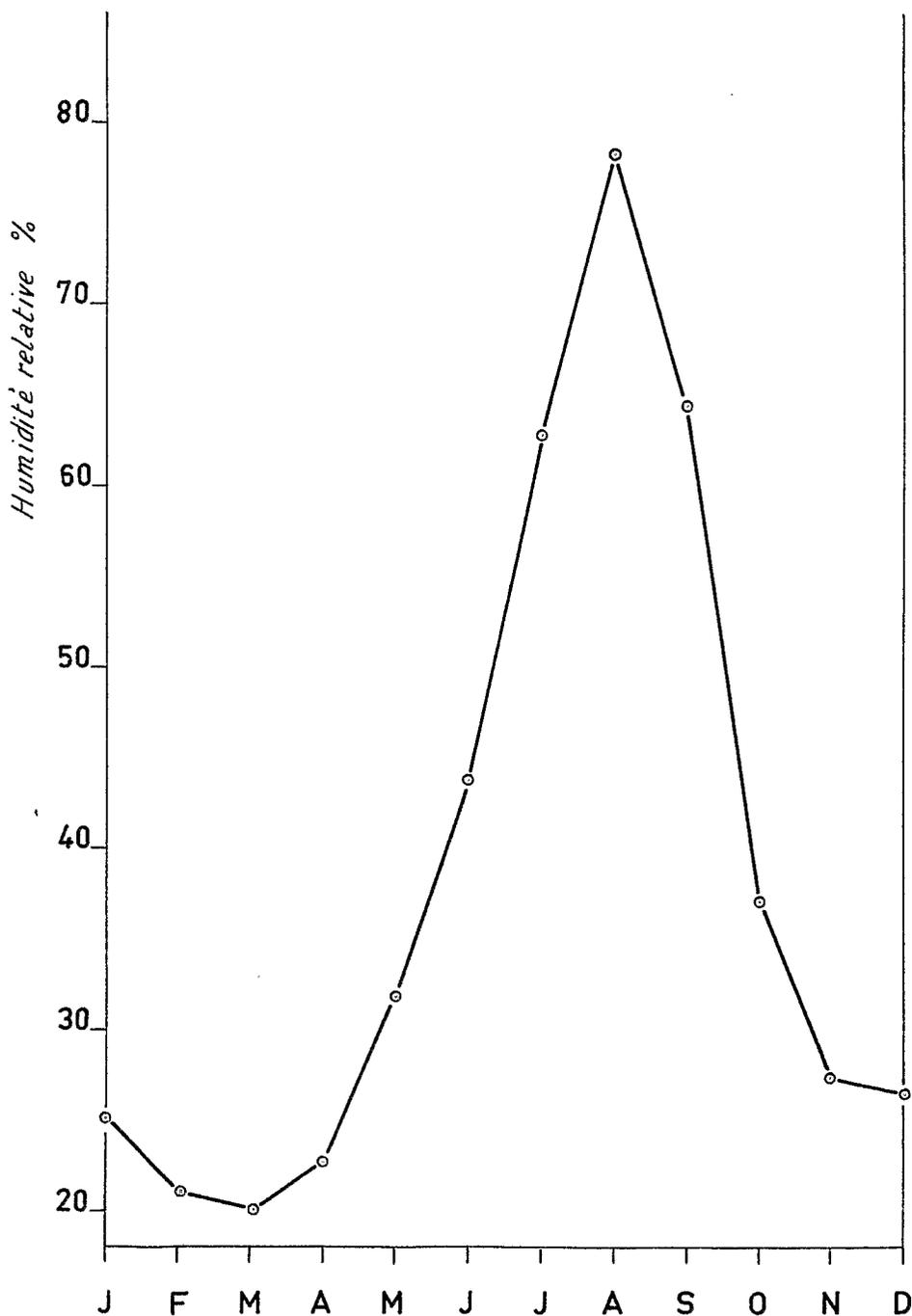
ABÉCHÉ (1948-1965)

TEMPÉRATURES MOYENNES MENSUELLES



ABÉCHÉ (1948-1965)

HUMIDITÉ RELATIVE MOYENNE MENSUELLE



L'humidité, élevée en saison des pluies avec un maximum en Août, décroît ensuite progressivement pour atteindre un minimum en Mars.

Sur les bassins versants on peut s'attendre à avoir des valeurs inférieures.

2.5.- VENTS

Les moyennes mensuelles de la vitesse du vent (en m/s) à ABECHÉ, de 1949 à 1965, sont présentées ci-dessous.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
2,61	3,05	3,08	3,06	2,90	2,56	2,42	1,81	1,79	2,40	2,87	2,79	2,61

2.6.- EVAPORATION (Fig. 7)

L'évaporation Piche a été mesurée à ABECHÉ de 1948 à 1965. Les moyennes journalières (en mm) sont les suivantes :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
11,6	13,5	14,1	14,2	12,1	9,5	5,7	2,9	4,7	9,5	11,5	11,0	10,0

On note un maximum en Avril et un minimum en Août. Sur les bassins versants l'évaporation présente certainement des valeurs moyennes supérieures à celles ci-dessus.

2.7.- PRECIPITATIONS

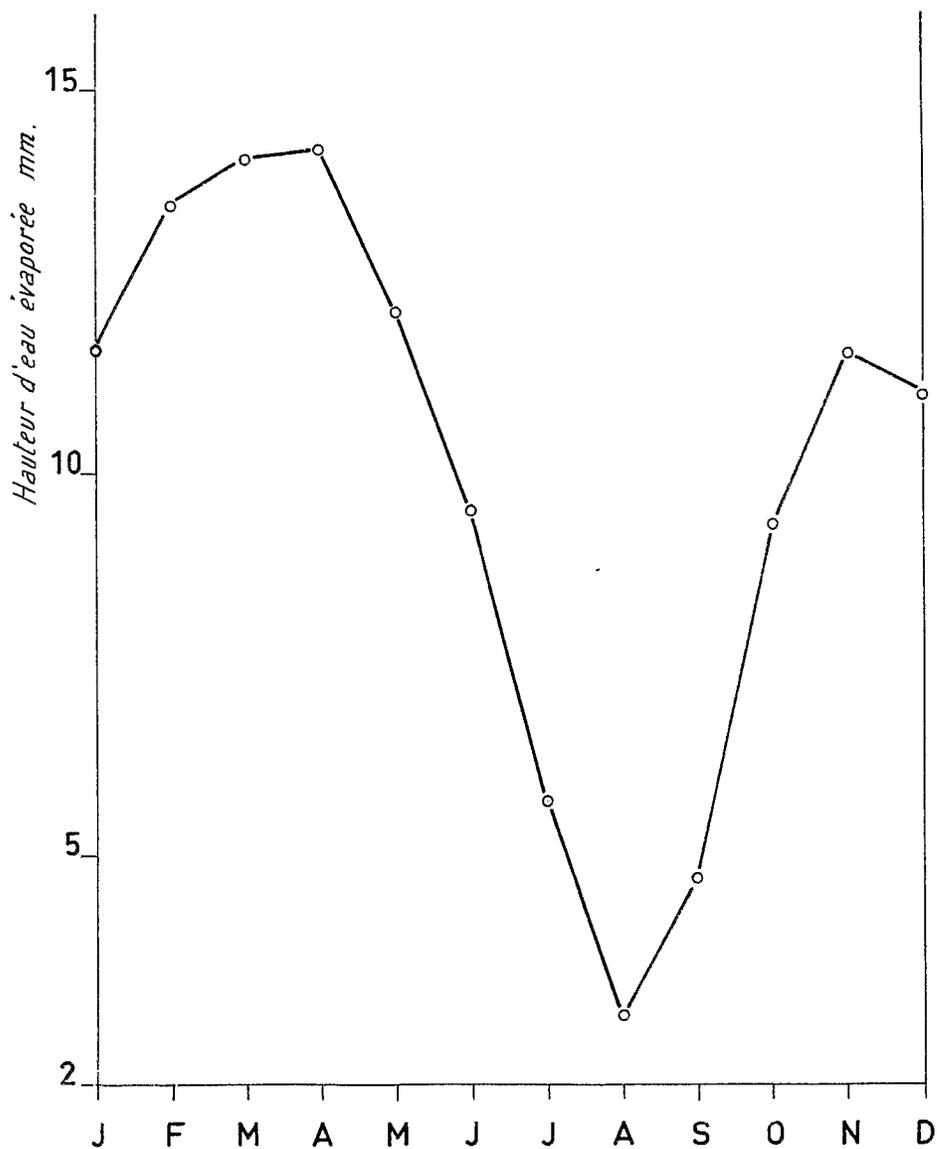
2.7.1 Mécanisme général des précipitations

Le régime des pluies au Tchad est principalement lié au déplacement du Front Intertropical (FIT) qui est la surface de discontinuité entre la masse d'air tropical continental chaud et sec (en été) de l'Harmattan et la masse d'air frais et humide de la mousson.

L'Harmattan souffle sur le bord méridional de l'anticyclone qui, en été, est centré sur la Méditerranée. La mousson est provoquée par la dépression thermique d'Afrique Centrale centrée en été sur le Sahara et qui entraîne un appel d'air humide depuis le golfe de Guinée. La mousson joue par rapport à l'Harmattan le rôle de masse froide, ce qui explique que lorsque le FIT se déplace vers le Nord, il y a formation d'importants systèmes nuageux responsables des tornades.

ABÉCHÉ (1948-1965)

ÉVAPORATION PICHE JOURNALIÈRE MOYENNE



Ces systèmes nuageux du type cumulo-nimbus nécessitent pour se développer, une masse d'air humide suffisamment étendue en altitude ce qui explique que les tornades ne s'observent en fait qu'au Sud de la trace au sol du FIT.

2.7.2.- Précipitations annuelles

Le tableau 2 indique les totaux mensuels et la moyenne interannuelle aux stations d' ABEICHE (30 ans), GUEREDA (10 ans), IRIBA (6 ans), BILTINE (14 ans), ARADA (7 ans), FADA (31 ans).

Les périodes d'observation sont très inégales. Signalons qu'à ABEICHE la moyenne des 15 dernières années est seulement supérieure de 13 mm à la moyenne calculée sur les 30 dernières années. Cependant les corrélations d'une station à l'autre apparaissent décevantes.

Ces résultats montrent nettement la décroissance de la pluviométrie vers le Nord-Ouest.

Compte tenu de ces hauteurs de précipitation moyenne et du tracé général des isohyètes au Tchad nous pouvons estimer que le bassin de l'O. FERA à AM NABAK reçoit en moyenne environ 450 mm au Sud-Est (GUEREDA : 449 mm), 400 mm au Nord Est (IRIBA : 394 mm), 350 mm au Sud-Ouest et 300 mm au Nord-Ouest (BILTINE : 334 mm, ARADA : 201 mm) AM NABAK pourrait ainsi recevoir une hauteur moyenne de 300 à 350 mm.

Pour les bassins de KADJEMEUR et SOFOYA l'estimation est plus difficile. D'après les résultats d' ARADA et de FADA (95,9 mm) on peut avancer que le bassin de KADJEMEUR reçoit en moyenne 180 mm et celui de SOFOYA 110 mm.

2.7.3.- Variations interannuelles des précipitations annuelles.

- Ajustement à une loi statistique

La répartition statistique des pluies annuelles à ABEICHE, BILTINE et FADA peut être représentée par une relation gaussio-logarithmique (Loi de GALTON). Les graphiques (fig. 8, 9 et 10) permettent de déterminer les hauteurs de précipitation annuelle de fréquence données.

On trouve ainsi :

Stations	Année sèche		Année médiane	Année humide		K ₃
	10 ans	5 ans		5 ans	10 ans	
ABEICHE	363	386	451	590	700	1,93
BILTINE	194	211	285	465	655	3,38
FADA	30	48	92	140	170	5,67

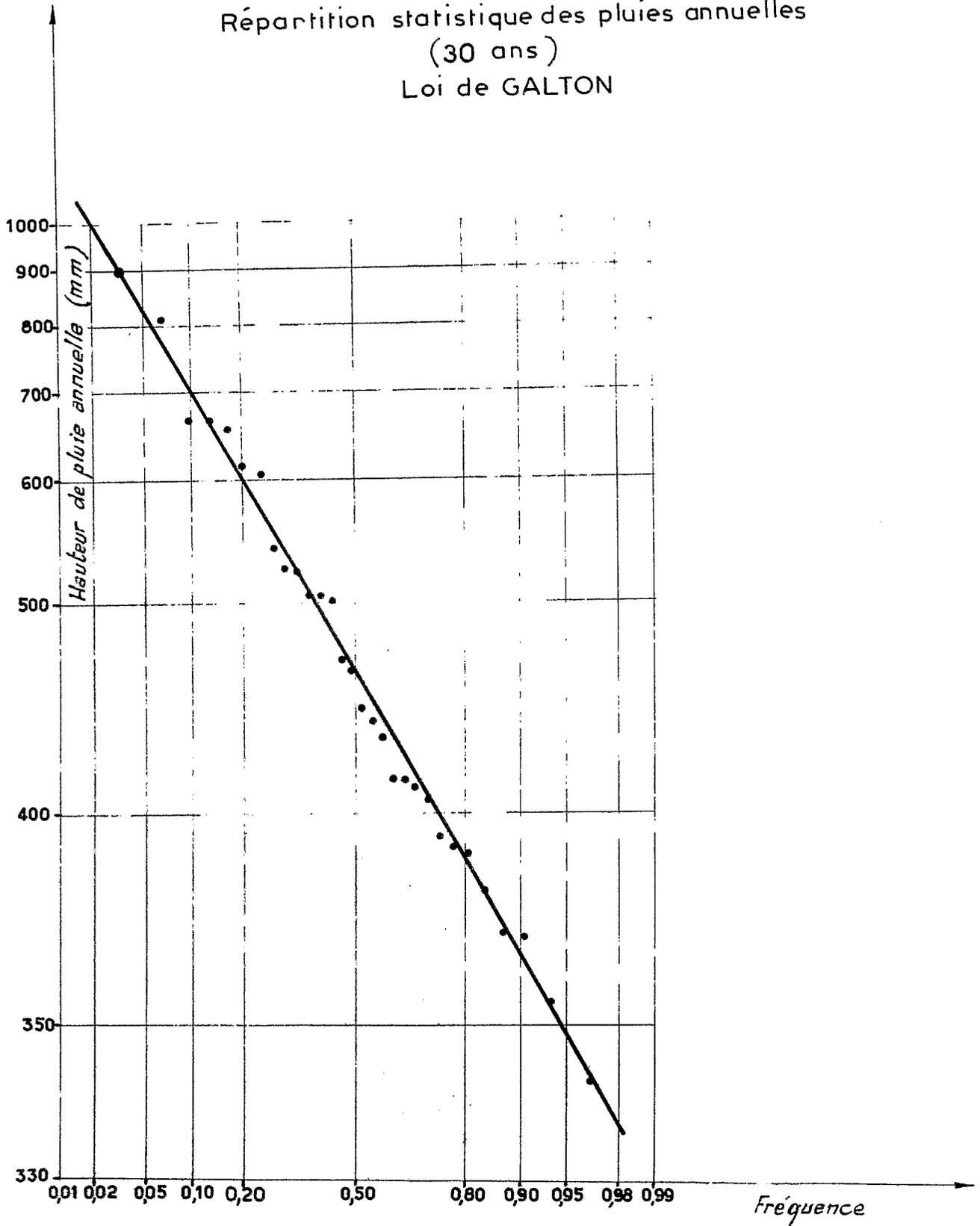
Tableau 2 : Précipitations: Totaux annuels et moyenne interannuelle (en mm) à différentes stations de la région.

Année	ABECHE	GUEREDA	IRIBA	BILTINE	ARADA	FADA
1965	354		232	267	(246)	64
64	660	684	418	518	149	132
63	412			219		66
62	506	520		227	21	115
61	540		491	801		113
60	405	274		260		29
59	605	324		295		145
58	429	468		375		138
57	523	410	427	276	184	64
56	436	479	391	284	361	154
55	410	254	366	220	122	92
54	501	669				192
53	655	(404)		187		144
52	521			(498)	325	141
51	665			285		79
50	812					160
49	367					42
48	342					14
47	442					120
46	899					74
45	368					148
44	388					65
43	460					98
42	393					-
41	505					12
40	368					69
39	390					93
38	613					88
37	412					33
36	466					177
35						43
34						70
Moyenne	495	449	387	334	201	96
Médiane	451	439	409	285	184	92

ABECHÉ

Fig 8

Répartition statistique des pluies annuelles
(30 ans)
Loi de GALTON



CRT 7585

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 14-12-65

DES: S. NICOE

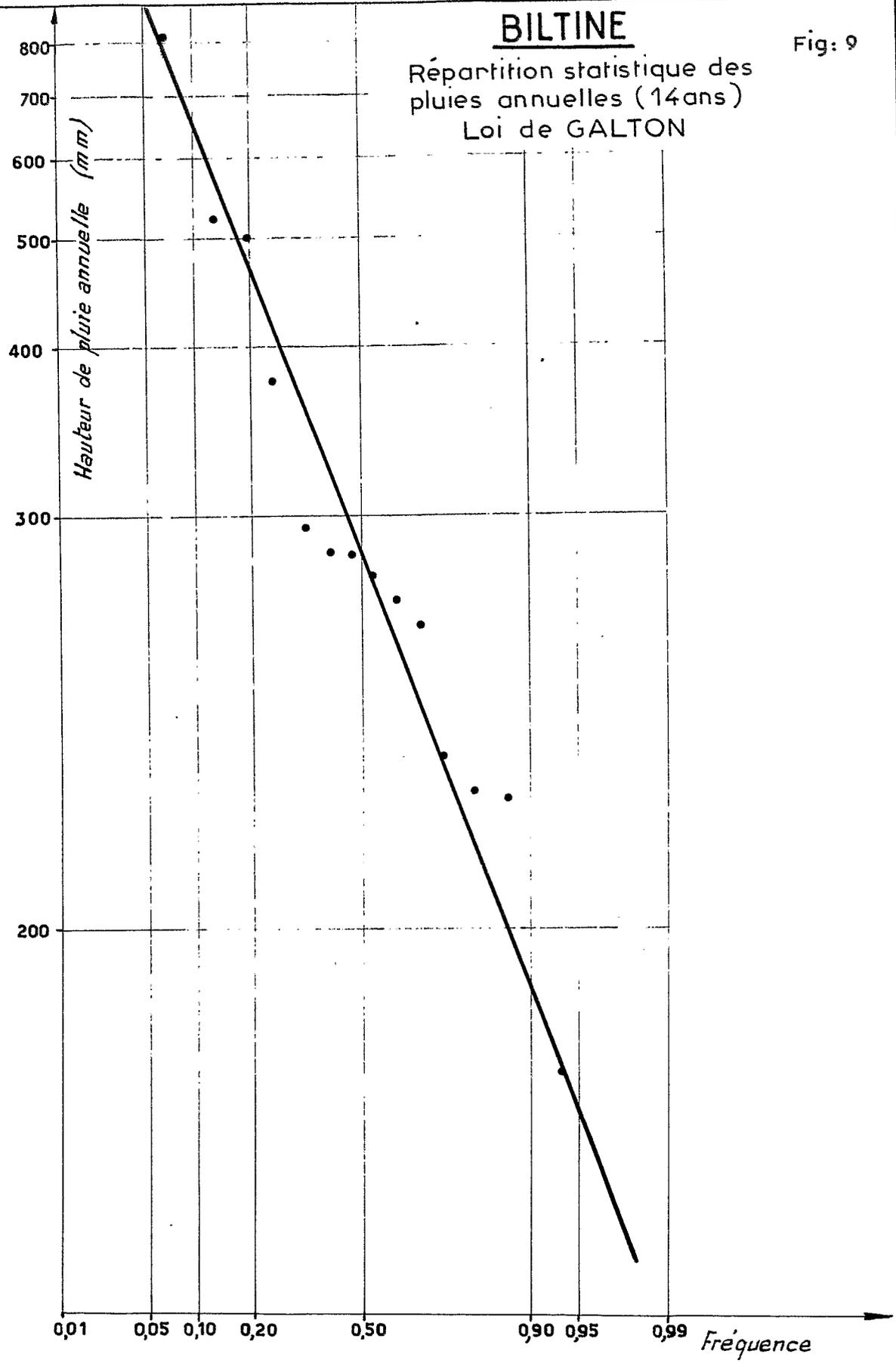
VISA

TUBEN°

BILTINE

Fig: 9

Répartition statistique des pluies annuelles (14 ans)
Loi de GALTON



CRT 7588

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 14 - 12 - 65

DES: S. NICOE

VISA

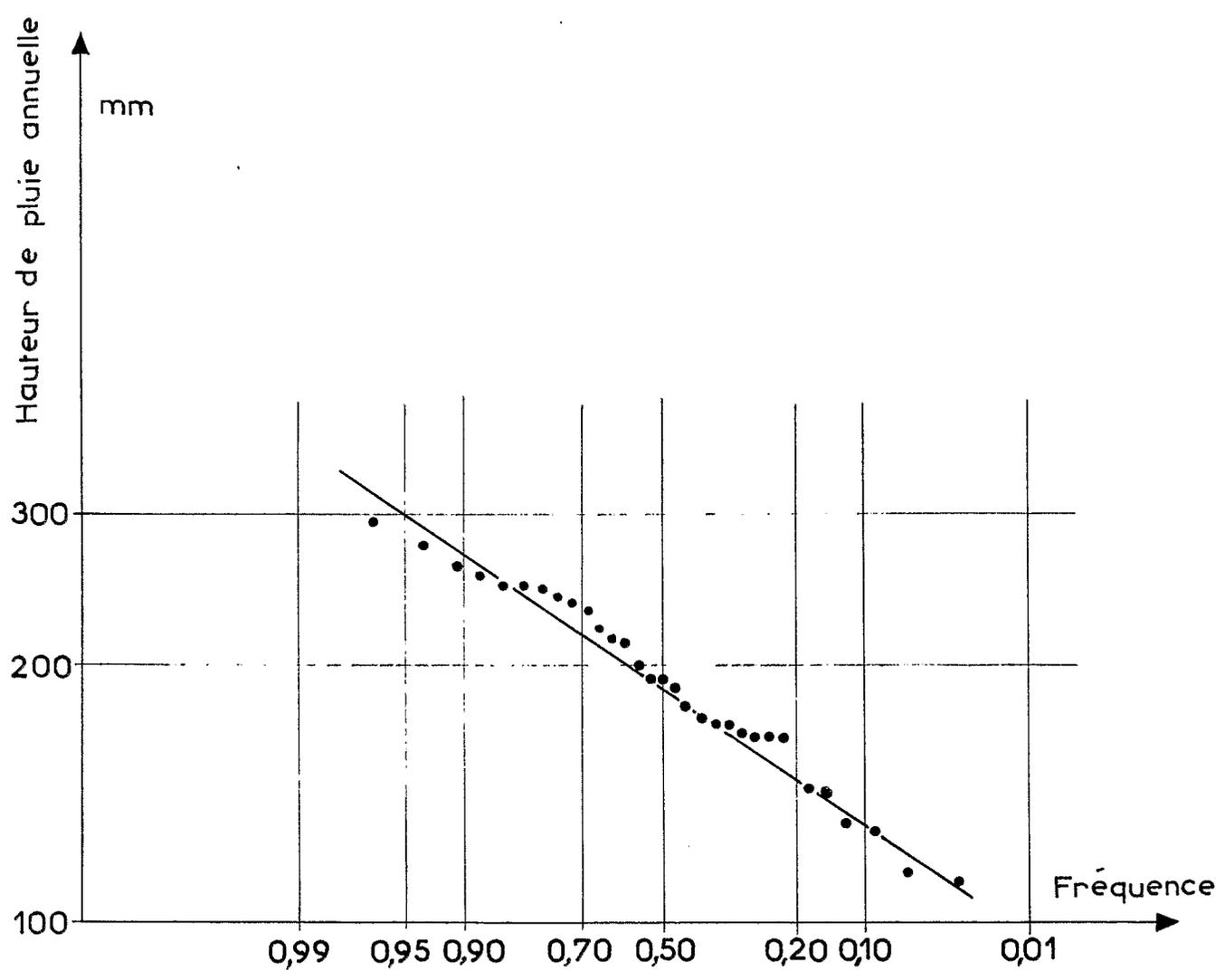
TUBEN:

FADA

REPARTITION STATISTIQUE DES PLUIES ANNUELLES (31 ans)

LOI DE GALTON

$$P' = P + 100$$



Aux stations de GUEREDA, IRIBA et ARADA le nombre d'années d'observation est trop faible pour pouvoir étudier la répartition statistique des pluies annuelles.

A GUEREDA, sur 10 années d'observations, la pluviométrie la plus forte est 684 mm et la plus faible 254 mm.

A IRIBA, sur 6 années, la plus forte est 491 mm, la plus faible 232 mm.

A ARADA, sur 7 années, la plus forte est 361 mm, la plus faible 21 mm.

On peut ainsi estimer pour KADJEMEUR à 300 mm l'année décennale humide et à 50 mm l'année décennale sèche. Pour SOFOYA ces valeurs sont évaluées à 200 et 30 à 40 mm.

- Irrégularité interannuelle

On peut la définir par le coefficient K₃ qui est le rapport entre le premier décile et le dernier décile des hauteurs annuelles classées par ordre décroissant.

Les valeurs de K₃ pour ABECHE, BILTINE et FADA sont indiquées dans le tableau ci-dessus. On note une augmentation importante du coefficient au fur et à mesure que l'on se rapproche de la zone désertique.

2.7.4.- Précipitations mensuelles

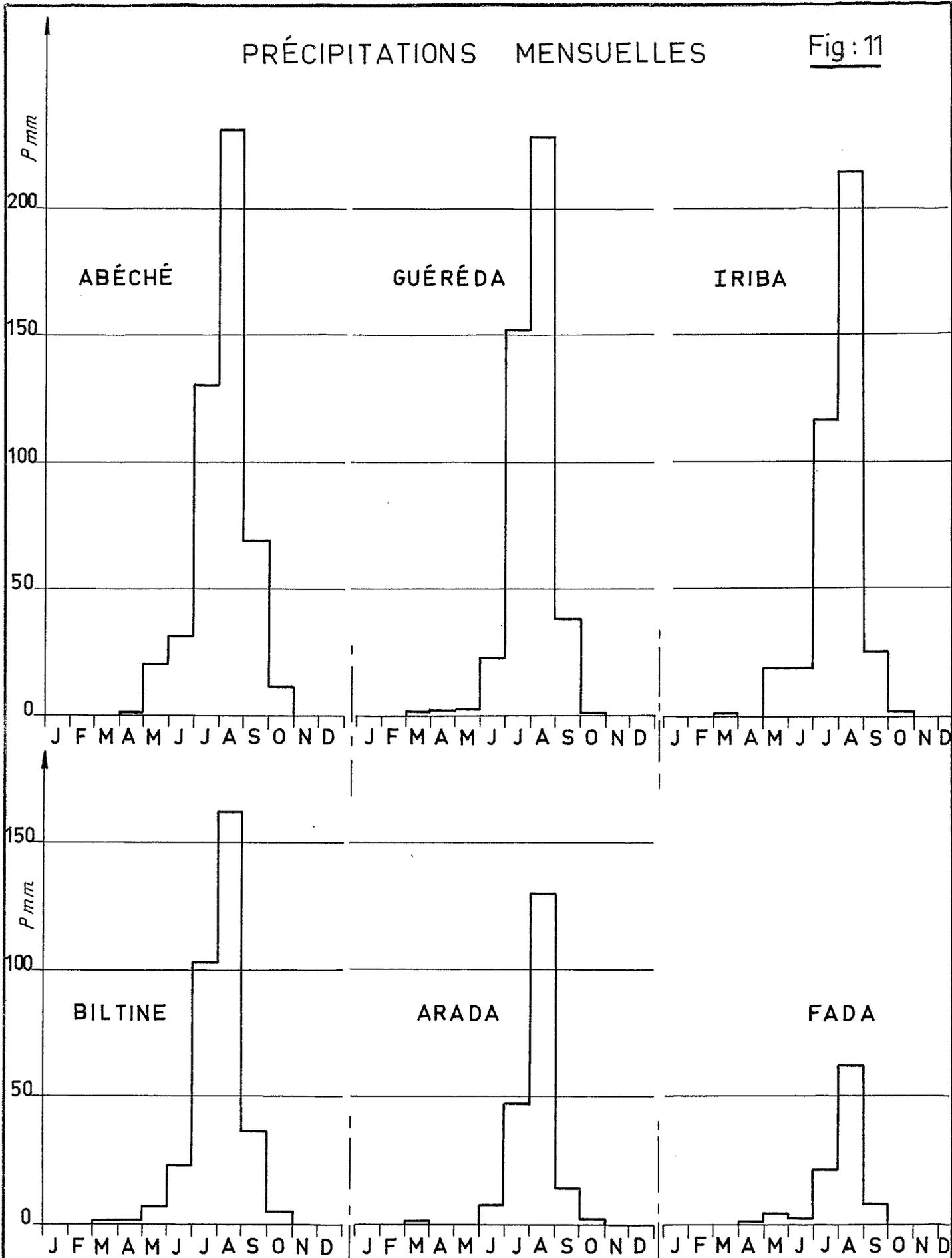
Les moyennes mensuelles des précipitations aux différentes stations sont présentées dans le tableau ci-dessous. Les périodes d'observation sont les mêmes que celles des pluviométries annuelles.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
ABECHE	0	0	0,1	1,1	20,6	31,7	130,0	230,8	69,0	11,5	0	0	494,9
GUEREDA	0	0	1,7	2,0	2,2	23,0	152,4	227,7	38,4	1,1	0	0	448,5
IRIBA	0	0	0,3	0	18,9	18,2	116,3	214,2	25,1	1,4	0	0	394,4
BILTINE	0	0	0,7	0,9	6,5	22,8	103,3	162,2	36,5	4,5	0	0	334,4
ARADA	0	0	1,1	0	0	7,4	47,2	129,9	13,6	1,9	0	0	201,1
FADA	0	0	0	0,3	3,7	1,5	20,9	62,0	7,5	0	0	0	95,9

../...

PRÉCIPITATIONS MENSUELLES

Fig : 11



Il ne pleut pas du tout, en aucune station, de Novembre à Février : il existe donc une période de 4 mois pendant laquelle il ne pleut jamais.

Les pluviométries demeurent faibles ou nulles de Mars à Mai.

La saison des pluies proprement dite est de Juin à Octobre, cependant l'essentiel des précipitations tombe en Juillet, Août et Septembre (en fait début Septembre). La pluviométrie de ces 3 mois, au Nord du parallèle de BILTINE, représente de 90 à 95% de la hauteur annuelle. La saison sèche dure donc près de 10 mois.

Le maximum se situe toujours en Août et correspond au maximum de la saison des pluies tropicales.

Cependant, on note à FADA quelques précipitations en Mai, qui sont de type sahariennes, sans rapport avec la mousson.

2.7.5.- Pluies journalières

a)- Nombre de jours de pluie

Le tableau ci-dessous indique le nombre de jours de pluie moyen mensuel et annuel à différentes stations.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
ABECHE (23 ans)	0	0	0,2	0,4	2,7	5,6	12,6	18,1	7,5	1,6	0	0	48,7
GUEREDA (9 ans)	0	0	0,2	0,2	0,6	2,8	12,3	16,2	3,5	0,1	0	0	35,9
IRIBA (5 ans)	0	0	0,2	0	0,8	2,4	9,4	16,6	4,0	1,4	0	0	34,8
BILTINE (13 ans)	0	0	0,1	0,2	1,1	2,3	6,8	8,6	2,9	0,4	0	0	22,4
ARADA (6 ans)	0	0	0,2	0	0	0,5	5,5	7,0	2,0	0,3	0	0	15,5
FADA (29 ans)	0	0	0	0,1	0,4	0,6	2,7	6,8	1,2	0	0	0	11,8

Le nombre de jours de pluie est le plus élevé en Août puis Juillet, Septembre et Juin. En Mai il pleut généralement plus souvent qu'en Octobre. Aucune pluie ne tombe de Novembre à Février.

D'après ces résultats on peut estimer le nombre de jours de pluie moyen annuel à 20 à AM NABAK, 15 à KADJEMEUR et 13 à SOFOYA.

b)- Répartition statistique des pluies journalières maximales.

Deux méthodes statistiques ont été appliquées pour la détermination des fortes pluies journalières de fréquences rares.

- Loi de GUMBEL

On constitue un échantillon des N plus fortes pluies journalières observées sur N années. L'étude de la répartition statistique de cet échantillon montre qu'on peut lui ajuster une loi de GUMBEL.

Cette méthode a été appliquée aux stations d' ABEICHE, BILTINE et FADA (fig. 12, 14 et 16).

- Loi Gausso-logarithmique tronquée

On s'intéresse à l'ensemble des précipitations. L'échantillon comprend 365 N hauteurs de pluie journalière pour N années d'observation. Les valeurs sont réparties en classes de 0 à 10 mm.

Soit $F_1(0)$ la fréquence de dépassement d'une pluie supérieure à 0 mm et $F_1(x)$ la fréquence de dépassement d'une pluie de x millimètres.

L'étude analytique de la loi n'est possible que si on élimine au préalable la fréquence $F_1(0)$, c'est-à-dire si l'on utilise une loi tronquée.

On introduit une nouvelle fonction de répartition $\psi_1(x) = \frac{F_1(x)}{F_1(0)}$ et on lui ajuste une loi Gausso-logarithmique. L'ajustement se fait par estimation d'un $F_1(0)$ fictif en admettant à l'origine la valeur expérimentale pour $F_1(0)$.

Cette méthode a été appliquée aux stations d' ABEICHE et BILTINE (fig. 13 et 15).

Le tableau suivant indique les résultats (en mm) obtenus par ces deux méthodes.

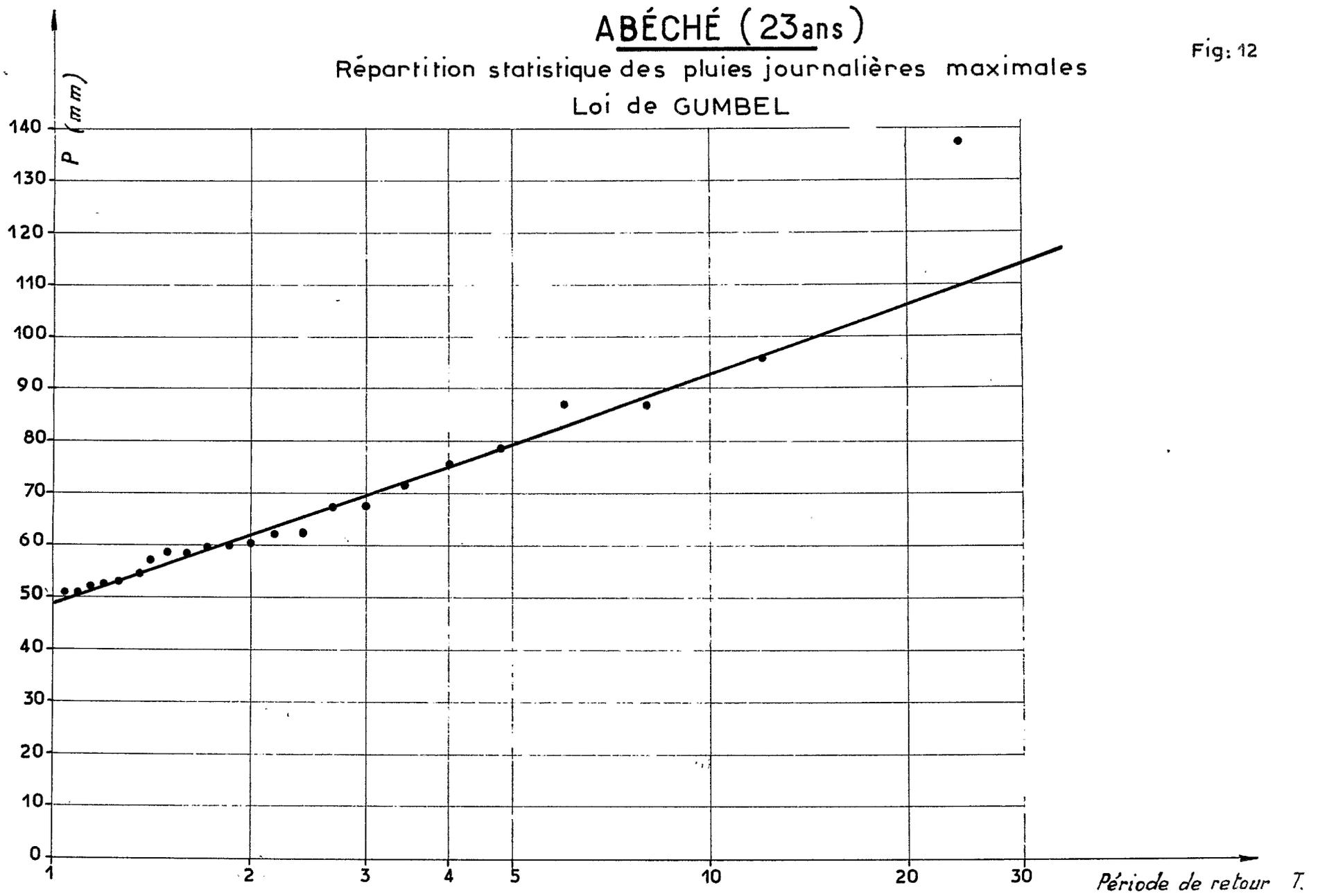
Période de retour	ABEICHE (23 ans)		BILTINE (13 ans)		FADA (28 ans) Gumbel
	gausso-log.	Gumbel	gausso-log.	Gumbel	
P. jour. moyen	16	-	11	-	-
1	51	49	43	41	24
2	63	62	56	56	33
5	81	80	75	76	42
10	97	93	93	93	53

Les résultats obtenus à une même station par les deux méthodes sont peu différents.

ABÉCHÉ (23ans)

Répartition statistique des pluies journalières maximales
Loi de GUMBEL

Fig: 12



CRT 7589

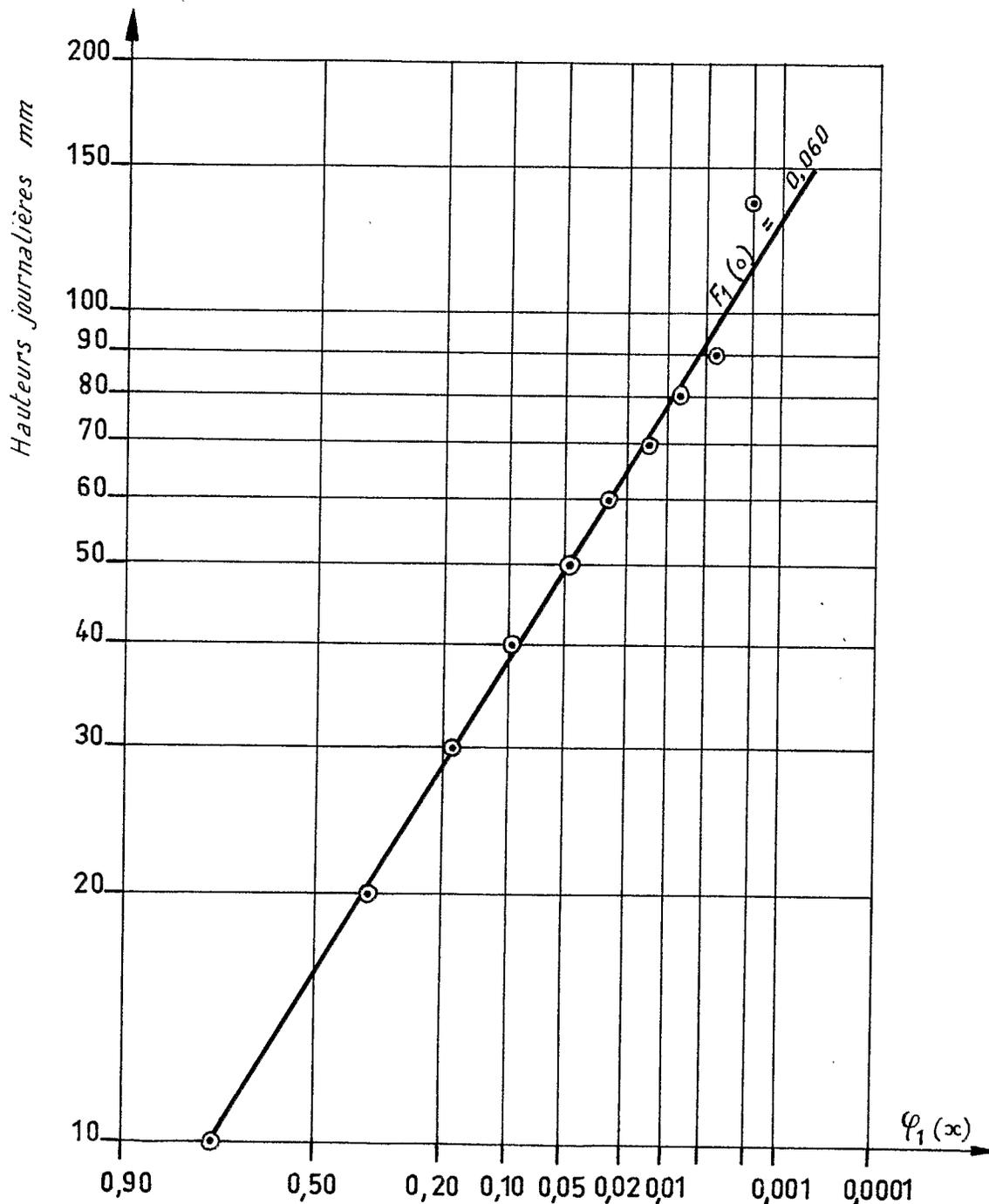
ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:	LE: 14-12-65	DES: S. NICOE	VISA:	TUBE N°
-----	--------------	---------------	-------	---------

RÉPARTITION STATISTIQUE DES PLUIES JOURNALIÈRES

LOI GAUSSO-LOGARITHMIQUE TRONQUÉE

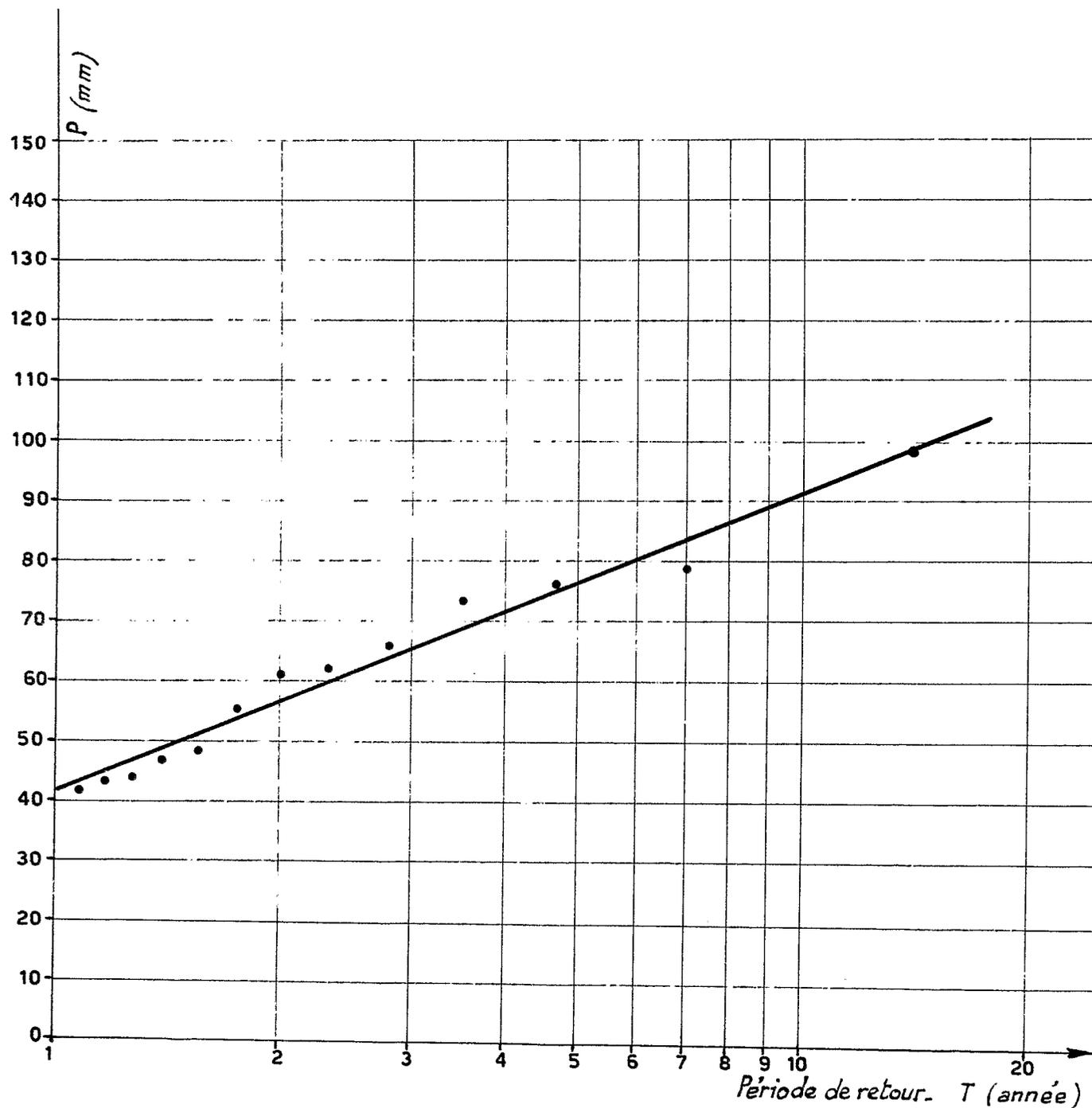
$F_1(o)$ expérimentale = 0,133



BILTINE (13 ans)

Répartition statistique des pluies journalières maximales

Loi de GUMBEL



CRT 7587

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 14-12-65

DES: S. NICOE

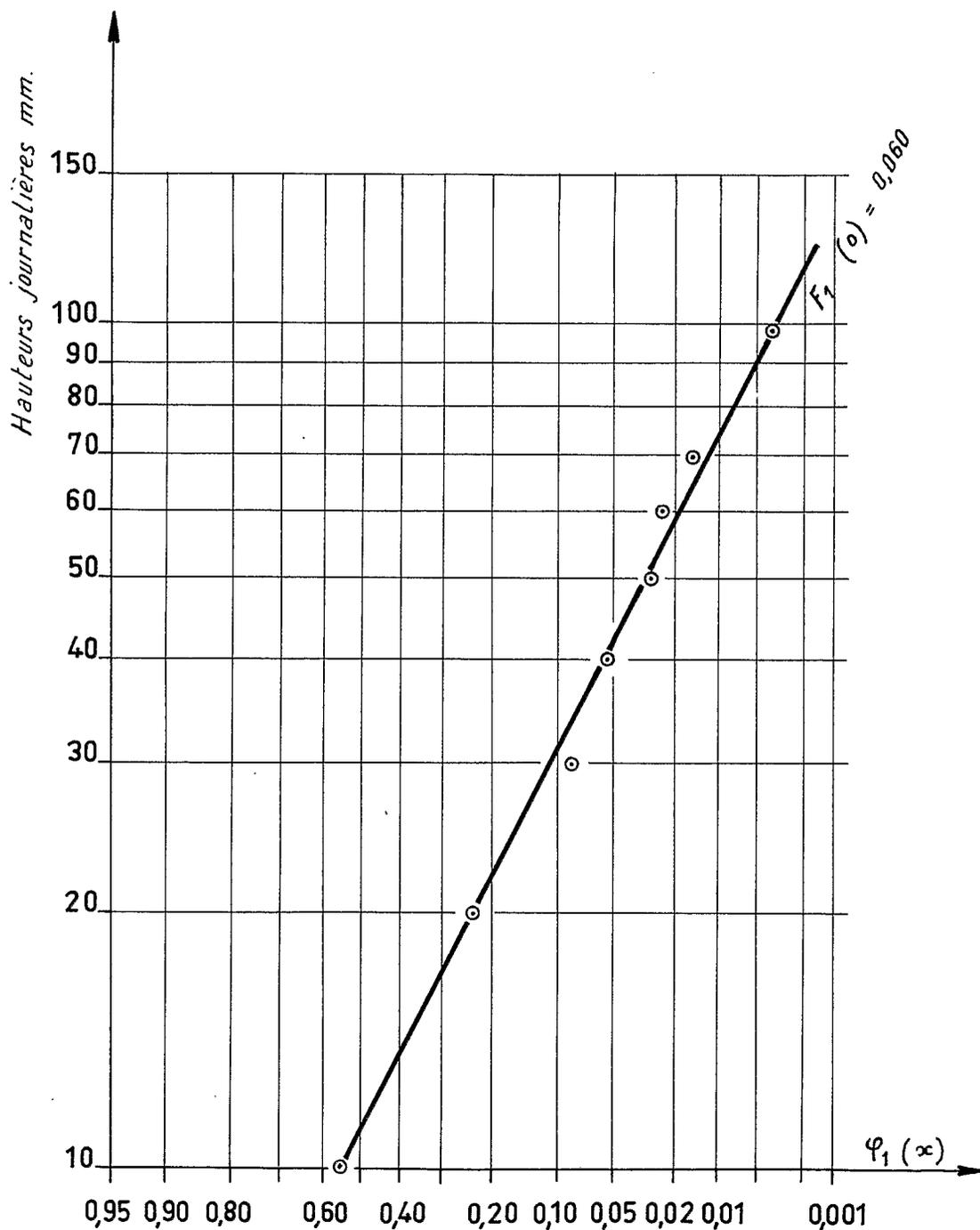
VISA

TUBEN°

RÉPARTITION STATISTIQUE DES PLUIES JOURNALIÈRES

LOI GAUSSO-LOGARITHMIQUE TRONQUÉE

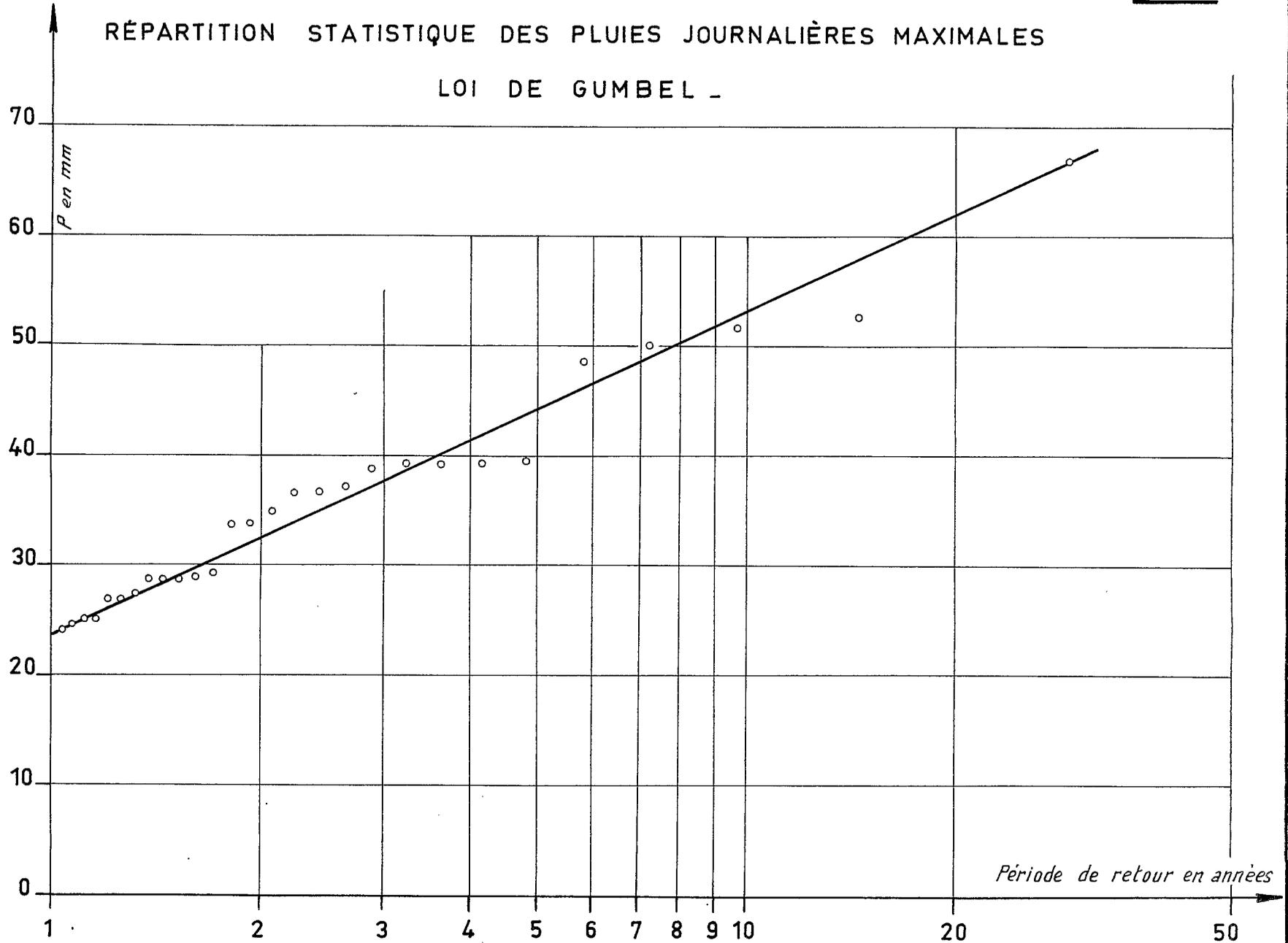
$F_1(\phi)$ expérimentale = 0,070



FADA (28 ans)

Fig:16

RÉPARTITION STATISTIQUE DES PLUIES JOURNALIÈRES MAXIMALES
LOI DE GUMBEL -



Nous pouvons ainsi adopter comme valeur de la hauteur de pluie journalière de fréquence médiane et décennale, 50 et 95 mm à ABEICHE, 42 et 93 mm à BILTINE et 24 et 53 mm à FADA.

Etant donné le faible nombre d'années d'observation aux stations de GUEREDA, IRIBA et ARADA, nous nous bornerons à examiner les 10 plus fortes pluies journalières observées.

Rang	GUEREDA (10 ans)	IRIBA (7 ans)	ARADA (7 ans)
10	90,0	90,0	63,0
9	63,0	65,0	60,0
8	60,0	64,0	59,0
7	55,6	53,8	49,0
6	50,6	49,5	48,5
5	45,9	48,2	34,0
4	45,6	45,0	32
3	45,4	40,4	31,8
2	45,3	39,4	30,9
1	43,0	38,6	30

Les pluies les plus fortes observées aux différentes stations sont :

ABECHE	138,0	le 15 Août	1959
GUEREDA	90,0	le 27 Juin	1963
IRIBA	90,0	le 8 Août	1963
BILTINE	98,7	le 29 Juillet	1961
ARADA	63,0	le 31 Août	1952
FADA	66,9	le 8 Août	1936

En conclusion on peut estimer, d'après ces résultats, les hauteurs de pluie journalière de fréquence médiane et décennale à AM NABAK = 40 et 90 mm, KADJEMEUR = 30 et 65 mm, SOFOYA = 27 et 60 mm. La pluie journalière moyenne au Nord de BILTINE est inférieure à 11 mm.

3.- RESULTATS ET CARACTERISTIQUES PLUVIOMETRIQUES DE L'ANNEE 1965

- OBSERVATIONS CLIMATOLOGIQUES A SOFOYA

L'étude de la pluviométrie de 1965 aux différentes stations permet de dégager les caractéristiques de l'année sur les bassins versants.

3.1.- PRECIPITATIONS ANNUELLES

3.1.1.- Précipitation annuelle sur l'ensemble de la région

Station		P 1965	P médiane	P
ABECHE		354	451	- 97
GUEREDA	*	448	439	+ 9
IRIBA		232	409	-177
BILTINE		267	285	- 18
AM NABAK	**	(330)	(320)	+ 10
ARADA		(246)	184	+ 62
KADJEMEUR	**	146	(180)	- 34
OUM CHALOUBA		47	-	-
SOFOYA	**	114	(110)	+ 4
FADA		64	92	- 28

* Résultats 1965 au totalisateur ORSTOM.

** Pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin I.

L'année 1965 montre des écarts positifs ou négatifs par rapport à la médiane interannuelle.

Il est cependant à remarquer que la pluviométrie à ARADA est bénéficiaire alors que celles à OUM CHALOUBA et IRIBA sont fortement déficitaires. Il semblerait que la pluviométrie annuelle à AM NABAK et SOFOYA (fig. 17 et 18) soit voisine de la normale tandis que celle à KADJEMEUR serait déficitaire.

.. / ...

3.1.2.- Pluviométrie annuelle sur le bassin de l' O. FERA à AM NABAK

Les totalisateurs à la périphérie et sur le bassin de l'O. FERA à AM NABAK sont placés les 19 et 20 Juillet 1965, exception faite de ceux d' AM ZOER, GUEREDA et IRIBA qui font partie du réseau général ORSTOM. A cette date il est déjà tombé 124 mm à AM ZOER, 46,2 mm à BILTINE, 66,5 mm à IRIBA. Afin d'estimer la pluviométrie totale annuelle sur le bassin nous avons ajouté, selon la répartition de Thiessen, ces valeurs aux hauteurs d'eau tombées depuis les 19 et 20 Juillet.

Le tableau 3 indique la hauteur d'eau depuis les 19 et 20 Juillet, la valeur ajoutée à cette pluviométrie et la hauteur d'eau annuelle ainsi estimée. Ces valeurs sont reportées sur la carte 17. Il n'est guère possible de tracer des courbes isohyètes précises.

Dans l'ensemble, les valeurs s'étalent de 300 à 450 mm, la moyenne arithmétique étant de 345 mm. Ces résultats paraissent normaux ou légèrement inférieurs aux moyennes pluviométriques interannuelles estimées sur le bassin.

3.2.- PRECIPITATIONS MENSUELLES

Le tableau 4 présente les pluviométries mensuelles de l'année 1965 et le rapport de ces valeurs aux moyennes mensuelles interannuelles. Nous ne prenons en ligne de compte que les mois de Juin à Septembre car les comparaisons quantitatives avec la hauteur moyenne de pluie des autres mois ne présentent pas une grande signification.

La répartition mensuelle des pluies à ABEICHE diffère quelque peu de celle aux stations plus septentrionales.

Après la saison des pluies 1964, nettement excédentaire sur toute la région la saison sèche est assez sévère. Il ne pleut pas avant Juin en plusieurs stations. C'est là cependant un phénomène fréquent comme le montre l'examen des tableaux de pluviométrie mensuelle. A KADJEMEUR et OUM CHALOUBA des pluies ont lieu en Mars et doivent être assez importantes puisqu'elles produisent une crue à KADJEMEUR.

Dans la région des bassins versants, il ne pleut pas en Mai ; ce qui n'a rien d'anormal.

En Juin la pluviométrie est nettement excédentaire. Il tombe 1,8 à 7,9 fois plus que la moyenne.

Juillet et Août sont par contre nettement déficitaires, de 0,9 à 0,2 fois la moyenne. Ceci explique éventuellement le déficit annuel. A ARADA par contre, il tombe en Août 1,2 fois la hauteur moyenne d'où un total annuel excédentaire.

Septembre est excédentaire, 1,5 à 2,5 fois la moyenne, à BILTINE, IRIBA et ARADA.

.. / ...

Tableau 3 : Pluviométries sur le bassin de l' O. FERA.

Totalisateurs	Pluviométrie depuis le 20.7.65	Pluviométrie avant le 20.7.65	Pluviométrie annuelle (mm)
BILTINE	221	46	267
DOUDOUN	205	(85)	(290)
GOURGOUMA	249	(124)	(373)
AM ZOER	271	124	395
KASINE	241	(124)	(365)
20 km de KASINE	165	(124)	(289)
FAGUIRE	290	(124)	(414)
12 km de FAGUIRE	303	(124)	(427)
GUEREDA	(324)	(124)	448
12 km de GUEREDA	256	(124)	(380)
NATIKA	212	(124)	(336)
10 km de NATIKA	242	(124)	(366)
TROA KEBIR	(230)	(124)	354
AM NABAK (IRIBA)	(237)	(67)	304
IRIBA	162	67	229
KORNIELA	119	(124)	(243)
	(posé le 16.8.1965)		
KOUBA	219	(46)	(265)
SOUNTA	(264)	(40)	304
AM NABAK (station)	284	(46)	(330)
A R A D A	(223)	23	(246)

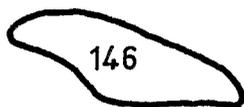
FADA 64



B.V Ouadi Sofoya

● OUM CHALOUBA
47

PLUVIOMÉTRIE 1965 SUR LE
OUADDAÏ ET LE MORTCHA.



B.V Ouadi Kadjmeur

IRIBA (229)

● ARADA
246

TROA KEBIR 354

SOUNTA 304

AM NABAK 304

AM NABAK (330)

(336)

KABA (265)

● KORNELIA (243)

NATIKA (336)

BILTINE 267

B.V Ouadi Fera

(380)

GUÉRÉDA 448

FAGUIRE (414) (427)

DOUDOUN (290)

(289)

GOURGOUMA (373)

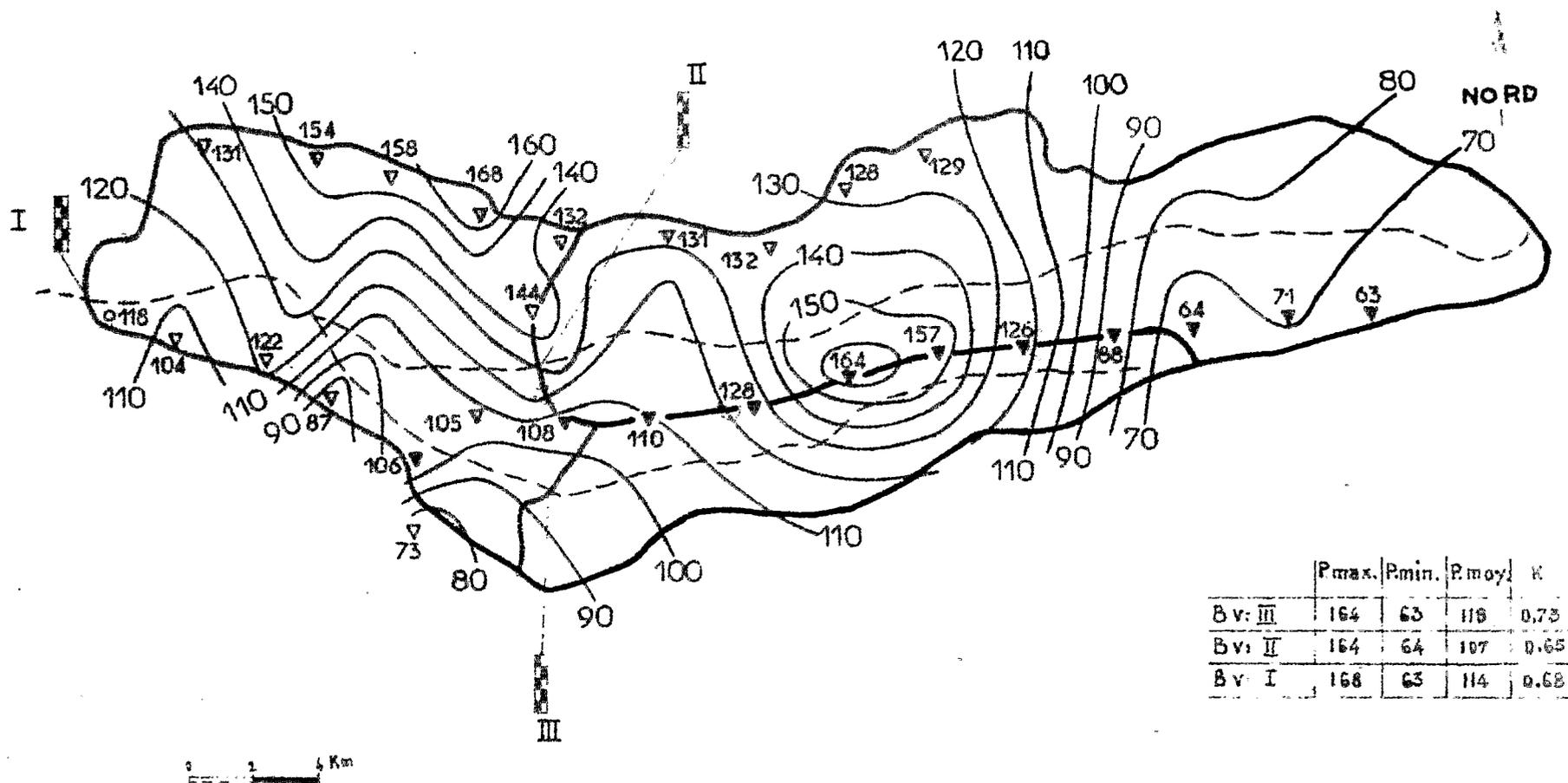
● KASINE (365)

AM ZOER 395

↓ ABÉCHÉ 354

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI SOFOYA

Isohyètes de la pluviométrie annuelle 1965



	Pmax.	Pmin.	P.moy	K
Bv: III	164	63	118	0,75
Bv: II	164	64	107	0,65
Bv: I	168	63	114	0,68

CRT 7594

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 18-12-65

DES: S. NICOLÉ

VISA:

TUBE N°

Tableau 4 : Précipitations mensuelles de 1965. Pluviométrie moyenne interannuelle. Rapport de ces deux valeurs.

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ABECHE	1965	0	0	0	1,5	2,1	52,4	114,0	120,2	58,0	6,2	0	0
	moy	0	0	0,1	1,1	20,6	31,7	130,0	230,8	69,0	11,5	0	0
	<u>P 1965</u> P moy						0,7	0,9	0,5	0,8	0,5		
IRIBA	1965	0	0	0	0	0	48,5	88,0	42,5	55,0	0	0	0
	moy	0	0	0,3	0	18,9	18,2	116,3	214,2	25,1	1,4	0	0
BILTINE	1965	0	0	0	5,7	0	40,5	50,5	90,6	79,8	0	0	0
	moy	0	0	0,7	0,9	6,5	22,8	103,3	162,2	36,5	4,5	0	0
AM NABAK	1965							19,6	177,9	85,1	0	0	0
ARADA	1965	0	0	0	0	0	23,3		156,5	21,0	0	0	0
	moy	0	0	1,1	0	0	7,4	47,2	129,9	13,6	1,9	0	0
KADJEMEUR	1965	0	0		0	0	0	57,5	53,3	35,6	0	0	0
SOFOYA	1965	0	0	0	0	0	0	34,3	55,7	26,5	0	0	0
FADA	1965	0	0	0	0	0	11,9	14,4	37,4	0	0	0	0
	moy	0	0	0	0,3	3,7	1,5	20,9	62,0	7,5	0	0	0
							7,9	0,7	0,6	0			

Il ne pleut pas du tout en Octobre, ce qui arrive souvent et n'a donc rien de très anormal.

Novembre, Décembre et Janvier sont absolument normaux par leur sécheresse totale.

3.3.- PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

3.3.1.- Nombre de jours de pluie

Le tableau 5 compare le nombre mensuel de jours de pluie de l'année 1965 à la moyenne du nombre de jours de pluie aux différentes stations.

Exception faite de la station d' IRIBA, le nombre de jours de pluie en 1965 sur la région des bassins versants apparaît normal ou légèrement supérieur à la moyenne.

La pluviométrie annuelle déficitaire s'explique en partie par de nombreuses petites pluies.

3.3.2.- Précipitations journalières

Les précipitations journalières de 1965 aux stations de BILTINE, IRIBA, KOUBA, AM NABAK, ARADA, FADA et aux pluviomètres des bassins de KADJEMEUR et SOFOYA sont présentées en annexe.

3.3.3.- Précipitations journalières extrêmes

A ABEICHE il tombe 34,8 mm le 6 Août, ce qui est inférieur à la hauteur de pluie de fréquence annuelle.

A IRIBA la plus forte précipitation est de 18,0 mm les 31 Juillet et 27 Septembre, elle est inférieure à la pluie de fréquence annuelle.

A BILTINE on relève 43,5 mm le 6 Septembre soit une pluie de fréquence annuelle (1,1 ans).

A AM NABAK une pluie de 55,2 mm tombe le 6 Septembre, elle est précédée par une de 47,8 mm le 28 Août. En se basant sur la répartition statistique des pluies journalières à BILTINE on peut attribuer à ces précipitations des périodes de retour de 1,9 ans et 1,4 ans.

A ARADA la hauteur d'eau maximale journalière est 32,0 mm le 5 Août, correspondant sensiblement à la fréquence annuelle.

Tableau 5 . Nombre de jours de pluie en 1965

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
ABECHE 1965	0	0	0	1	1	14	12	13	6	3	0	0	50
moyenne	0	0	0,2	0,4	2,7	5,6	12,6	18,1	7,5	1,6	0	0	48,7
IRIBA 1965	0	0	0	0	0	5	7	5	4	0	0	0	21
moyenne	0	0	0,2	0	0,8	2,4	9,4	16,6	4,0	1,4	0	0	34,8
BILTINE 1965	0	0	0	1	0	7	4	10	5	0	0	0	27
moyenne	0	0	0,1	0,2	1,1	2,3	6,8	8,6	2,9	0,4	0	0	22,4
KOUBA 1965								11	3	0	0	0	14
moyenne													
AM NABAK 1965							4	12	4	0	0	0	20
moyenne													
ARADA 1965	0	0	0	0	0	4		8	1	0	0	0	13
moyenne	0	0	0,2	0	0	0,5	5,5	7,0	2,0	0,3	0	0	15,5
KADJEMEUR 1965	0	0	1	0	0	0	2	9	3	0	0	0	15
moyenne													(15)
SOFOYA 1965	0	0	0	0	0	0	2	6	4	0	0	0	12
moyenne													(13)
FADA 1965	0	0	0	0	0	3	2	5	0	0	0	0	10
moyenne	0	0	0	0,1	0,4	0,6	2,7	6,8	1,2	0	0	0	11,8

A KADJEMEUR deux averses tombent le 28 Juillet sur le bassin. La deuxième avec des précipitations maximales ponctuelles de 77,2 et 65,7 mm, a une période de retour supérieure à 10 ans. A fortiori il en est de même de la pluviométrie journalière totale pour laquelle on note une valeur maximale ponctuelle de 96,9 mm et 7 autres supérieures à 65 mm. Rappelons que, nous avons évalué à 65 mm la précipitation journalière décennale.

A SOFOYA la précipitation maximale ponctuelle relevée sur le bassin est de 59,3 mm, ce qui correspond à une valeur proche de la décennale.

A FADA la plus forte hauteur de pluie est 28,8 mm le 25 Août. Sa période de retour est de 1,6 ans.

3.4.- REPARTITION DES PRECIPITATIONS DANS LE TEMPS

La saison des pluies semble débuter favorablement en Juin mais le mois de Juillet s'annonce par contre très sec puisque c'est seulement le 26 ou 27 Juillet qu'il recommence à pleuvoir. Cette perturbation est généralisée d' ABECHE à FADA et intéresse les 3 bassins où elle est responsable des premières crues. Cette deuxième phase se prolonge en Août qui semble commencer normalement les 8 premiers jours. C'est alors qu'intervient une période de sécheresse de 2 à 3 semaines, interrompue localement par de faibles averses locales d'aucun intérêt hydrologique.

Les pluies reprennent le 20 Août, cependant les averses à SOFOYA et KADJEMEUR restent faibles et peu nombreuses jusqu'à la fin du mois. Cette troisième phase pluvieuse dure jusqu'au 7 Septembre, date de la fin de la saison des pluies sur la région des bassins versants. Les dernières précipitations sont relativement importantes. A IRIBA on note encore quelques averses jusqu'à la fin de Septembre.

En résumé, on peut limiter la saison des pluies sur les bassins du 26 Juillet au 7 Septembre entrecoupée d'une période sèche de 15 jours à trois semaines, ce qui n'est pas très favorable au ruissellement pour les bassins à pouvoir de rétention élevé.

3.5.- OBSERVATIONS CLIMATOLOGIQUES A SOFOYA AU COURS DE 1965

Les observations sont effectuées à la station I du 5 Juillet au 24 Septembre 1965. Cette période couvre largement la saison des pluies.

3.5.1.- Températures (tableau 6)

La température est lue sur le thermomètre à minima à 6h, et sur le thermomètre à maxima à 18h.

La température moyenne de Juillet est voisine de 31,6, celle d'Août est de 29,9, celle de Septembre doit être légèrement supérieure à 30,2.

3.5.2.- Humidité relative (tableau 7)

Les lectures des thermomètres sec et humide sont effectuées à 6h, 12h et 18h.

Du 26 Juillet au 7 Septembre (saison des pluies) l'humidité relative maximale absolue observée est de 95%, la valeur minimale est de 17%. Ces valeurs sont les mêmes pour l'ensemble de la période d'observation. Etant donné les lacunes d'observation il apparaît difficile de mentionner des moyennes.

3.5.3.- Evaporation (tableau 8)

L'évaporation est mesurée chaque jour à 6h sur bac Colorado de 1 m². t est la température de l'eau. E l'épaisseur (en mm) de la lame d'eau évaporée.

La température moyenne de l'eau à 6h est voisine de 26,3 en Juillet, elle est de 26,4 en Août et légèrement supérieure à 26,7 en Septembre.

L'évaporation moyenne est supérieure à 13,4 mm en Juillet, elle est de 10,7 en Août et un peu supérieure à 10,2 en Septembre.

Tableau 6 : Station de SOFOYA. 1965. Températures sous abri.

	Juillet		Août		Septembre	
	Mini	Maxi	Mini	Maxi	Mini	Maxi
1			26,1	37,9	25,1	37,1
2			23,1	38,6	23,2	35,2
3			23,1	36,2	21,5	35,0
4			20,0	36,2	23,1	-
5	24,5	40,5	23,0	35,2	-	-
6	25,4	39,8	24,6	29,0	21,9	36,0
7	26,3	41,2	20,5	32,5	19,1	34,0
8	26,0	38,4	19,9	32,8	24,9	38,1
9	26,2	40,1	21,7	33,0	21,5	38,5
10	26,9	42,4	23,8	33,2	22,0	36,0
11	24,9	38,2	22,1	35,5	23,1	37,0
12	26,7	38,0	24,5	35,5	23,9	39,2
13	27,9	39,9	23,8	36,2	23,9	37,8
14	23,6	37,0	22,5	37,1	23,9	-
15	25,2	40,9	24,9	37,2	-	-
16	25,9	39,3	24,2	39,0	-	-
17	24,1	39,5	23,4	39,2	-	-
18	22,4	39,4	23,2	37,0	-	-
19	22,9	40,0	25,2	37,8	-	-
20	24,6	38,2	27,6	39,0	-	-
21	27,5	39,1	26,0	38,0	24,8	40,7
22	25,5	38,1	21,5	34,8	23,3	40,2
23	23,2	40,5	20,2	32,3	23,1	40,0
24	23,9	37,3	23,8	35,8	22,2	-
25	26,9	38,2	23,2	39,9	-	-
26	26,5	35,8	22,8	40,0	-	-
27	20,2	36,2	26,8	37,7	-	-
28	18,0	35,4	24,8	36,1	-	-
29	22,3	33,0	24,0	36,2	-	-
30	22,1	35,6	27,1	37,0	-	-
31	26,1	38,5	24,9	37,0	-	-
Moyenne	24,7	38,5	23,6	36,2	22,9	37,5
Moyen. jour.	31,6		29,9		30,2	

Tableau 7 : Station I de SOFOYA. 1965. Humidité relative.

	Juillet			Août			Septembre		
	6h	12h	18h	6h	12h	18h	6h	12h	18h
1				62	35	37	63	39	67
2				55	30	27	65	37	
3				67	36	63	94		35
4				86		33	80		
5	26	17	23	77	42	31			76
6	48	24		74		74	93	45	75
7	31			91			91		64
8	52	27	23	89		49	83	37	60
9	38	28	30	93		48	61	45	47
10	54	26	21	83	57		76	45	50
11	71	28	25	95	39	34	82	40	44
12	52	30	31	68	41		57	23	44
13	54	30	24	74	35	29	78	50	44
14	66	28	24	61		28	73		
15	44	21	15	76		33			
16	54	22	15	60		25			
17	44	30	11	68	27				
18	27	19	11	64	22	37			
19	25		9	71					
20	54	32	22	62		26			
21	51	30	15	64	30	85	27	22	29
22	62	32	25	88			45		23
23	44	14	9	89		44	32	17	30
24	66	28	24	75			32		
25	60		26	80	23	20			
26	71	40	71	67	17	23			
27	74		32	66	31	28			
28	85	45		69	37	56			
29	88			74	42	38			
30	79	44	36	70					
31	64	37	29	60	42	35			

Tableau 8 : Station I de SOFOYA. 1965. Evaporation sur bac Colorado
(1 m²) en mm.

	Juillet		Août		Septembre	
	t	E	t	E	t	E
1			27,2	12,5	26,6	12,5
2			25,8	14,5	27,8	9,5
3			25,0	16,0	25,8	7,8
4			26,0	13,1	26,8	8,5
5	23,6	-	26,0	11,0	-	-
6	24,9	18,5	26,3	10,0	-	8,0
7	24,3	15,5	24,2	6,8	24,6	-
8	25,1	16,0	24,6	7,6	27,2	3,5
9	25,9	14,0	25,8	6,8	26,8	7,5
10	25,8	16,0	26,8	8,5	25,9	11,5
11	26,1	16,0	25,8	8,0	26,7	8,5
12	25,5	17,0	26,1	9,0	27,3	8,0
13	26,1	13,0	26,4	11,0	27,3	12,0
14	24,7	17,0	26,8	9,0	27,4	11,0
15	25,7	13,0	27,5	10,5	-	(10,2)
16	25,6	15,0	27,8	10,5	-	(10,2)
17	25,6	13,5	27,4	11,0	-	(10,2)
18	24,4	14,0	25,4	15,5	-	(10,2)
19	22,5	17,5	25,9	11,0	-	(10,2)
20	24,5	13,5	27,2	12,0	-	(10,2)
21	26,9	11,5	26,6	13,0	-	(10,2)
22	25,7	13,5	27,2	14,8	-	14,0
23	26,7	13,5	25,7	7,5	-	14,0
24	24,1	13,5	25,7	8,0	-	15,5
25	25,8	13,5	26,6	10,0		
26	26,1	13,5	27,1	11,5		
27	25,2	13,5	27,2	12,5		
28	25,5	11,0	26,8	11,0		
29	25,4	7,3	26,4	10,0		
30	26,3	9,0	27,6	9,0		
31	27,0	11,5	26,7	11,5		
Moyenne	25,4	13,9	26,4	10,7	> 26,7	> 10,2

4 - BASSIN VERSANT DE L'OUADI FERA A AM NABAK

4.1.- EQUIPEMENT HYDROMETRIQUE

4.1.1.- Situation et description de la station.

Latitude : 14°43'40" N
Longitude : 20°58'00" E
Cote approximative 500 m

Un limnigraphe OTT, type XX, longue durée a été installé le 19 Juillet 1965, au droit du puits d'AM NABAK. L'élément 0 - 1 mètre de l'échelle limnimétrique se situe au pied de l'enregistreur et celui 1 - 2 mètres au voisinage du puits.

Une digue de 180 m de long a été édifée en rive droite de manière à rabattre les eaux de ruissellement vers la section de jaugeage.

Le lit semble avoir une bonne stabilité.

Le profil en travers montre la position de la plaine d'inondation par rapport au lit mineur de l'ouadi. Pour une hauteur d'eau de 0,65 m (maximum atteint en 1965) la largeur inondée est d'une cinquantaine de mètres. A partir de la cote 0,80 mètre et jusqu'à 1 mètre la largeur inondée croit rapidement, passant de 70 à 400 mètres.

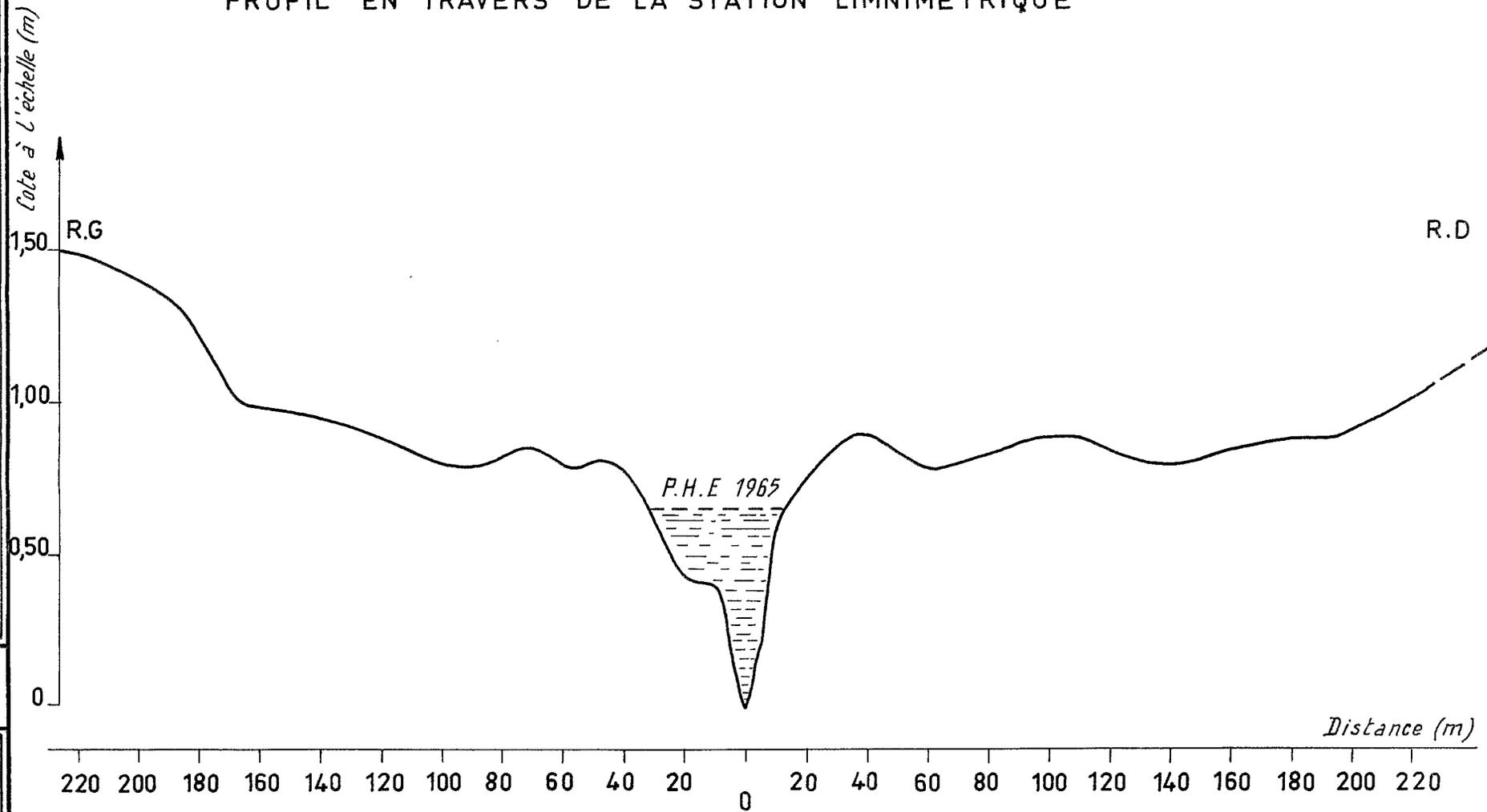
4.1.2.- Etalonnage de la station

7 jaugeages sont effectués en 1965 avec une hauteur d'eau maximale de 0,57 mètre soit un débit maximal de 2,01 m³/s.

Date	H (m)	Q (m ³ /s)
5.8.65	0,16	0,07
6.8.65	0,24	0,32
28.8.65	0,34	0,28
28.8.65	0,40	0,55
28.8.65	0,50	1,16
28.8.65	0,50	1,43
28.8.65	0,57	2,01

OUADI FERA à AM NABAK

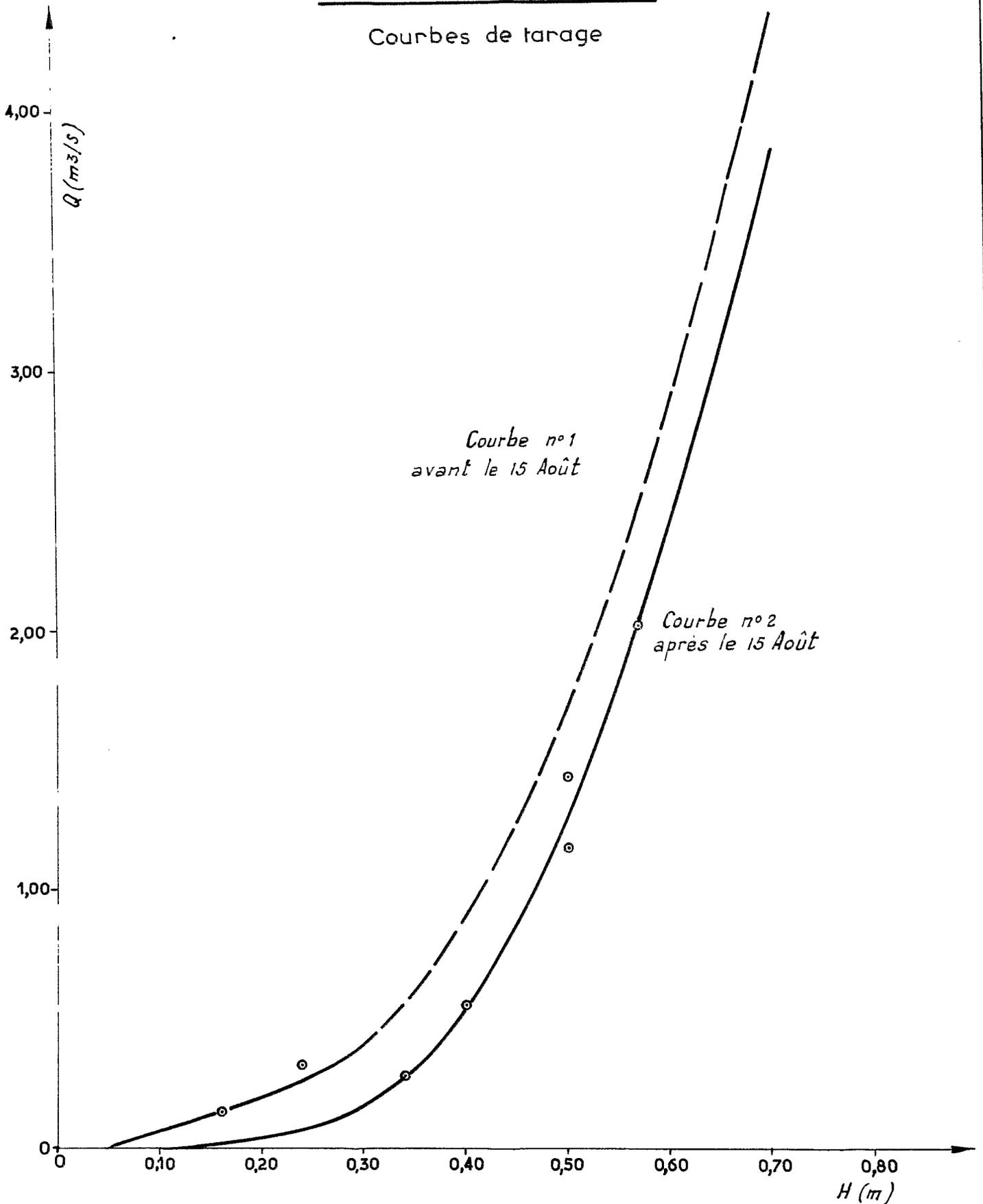
PROFIL EN TRAVERS DE LA STATION LIMNIMÉTRIQUE



OUADI FERA à AM NABAK

Fig: 20

Courbes de tarage



CRT 7570

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED: LE: 6 - 11 - 65 DES: S. NICOE VISA TUBEN°

Les jaugeages du 5 et 6 Août sont effectués au début de la saison des pluies lors des premières crues. Le lit du ouadi est alors dégagé de toute végétation.

La crue suivante a lieu le 28 Août et s'écoule alors dans un lit encombré d'herbes. Malgré l'aménagement de la section et en particulier le desherbage, on aboutit à une deuxième courbe de tarage une quinzaine de jours après le début des pluies. Ceci s'explique, compte tenu de la faible pente du lit, par l'influence de la végétation en aval de la section (fig. 20).

L'écoulement débute pour une hauteur d'eau de 0,06 m sur le lit nu alors qu'il ne se produit qu'à 0,10 m quand les herbes ont poussé.

4.2.- ETUDE DES CRUES

4.2.1.- Présentation de l'étude

La figure 21 montre la répartition des crues au cours de l'année 1965. 6 crues et 4 faibles écoulements de quelques litres par seconde sont parvenus à la section. 4 crues se succèdent les unes aux autres dans les premiers jours d'Août, les 2 autres se trouvent isolées en fin de saison.

En 1965 aucun écoulement ne s'est produit dans l'O. FERA à sa traversée de la piste BILTINE - BAKAORE. La surface du bassin versant susceptible d'alimenter la station se limite donc, pour cette année, aux quelques dizaines de kilomètres carrés immédiatement en amont. La carte 22 précise cette surface maximale et le tracé du réseau hydrographique en amont de la station.

L'interprétation des données obtenues sur l'écoulement est reportée à l'issue de la campagne 1966, le nombre de crues actuellement observées est encore insuffisant.

4.2.2.- Description des crues

Le tableau 9 rassemble quelques caractéristiques des crues observées. Les pluies relevées à AM NABAK sont mentionnées en annexe :

- Une petite crue se produit le 19 Juin. C'est le premier écoulement de l'année. La hauteur d'eau atteint un maximum de 0,18 m correspondant à un débit maximal de 0,18 m³/s.

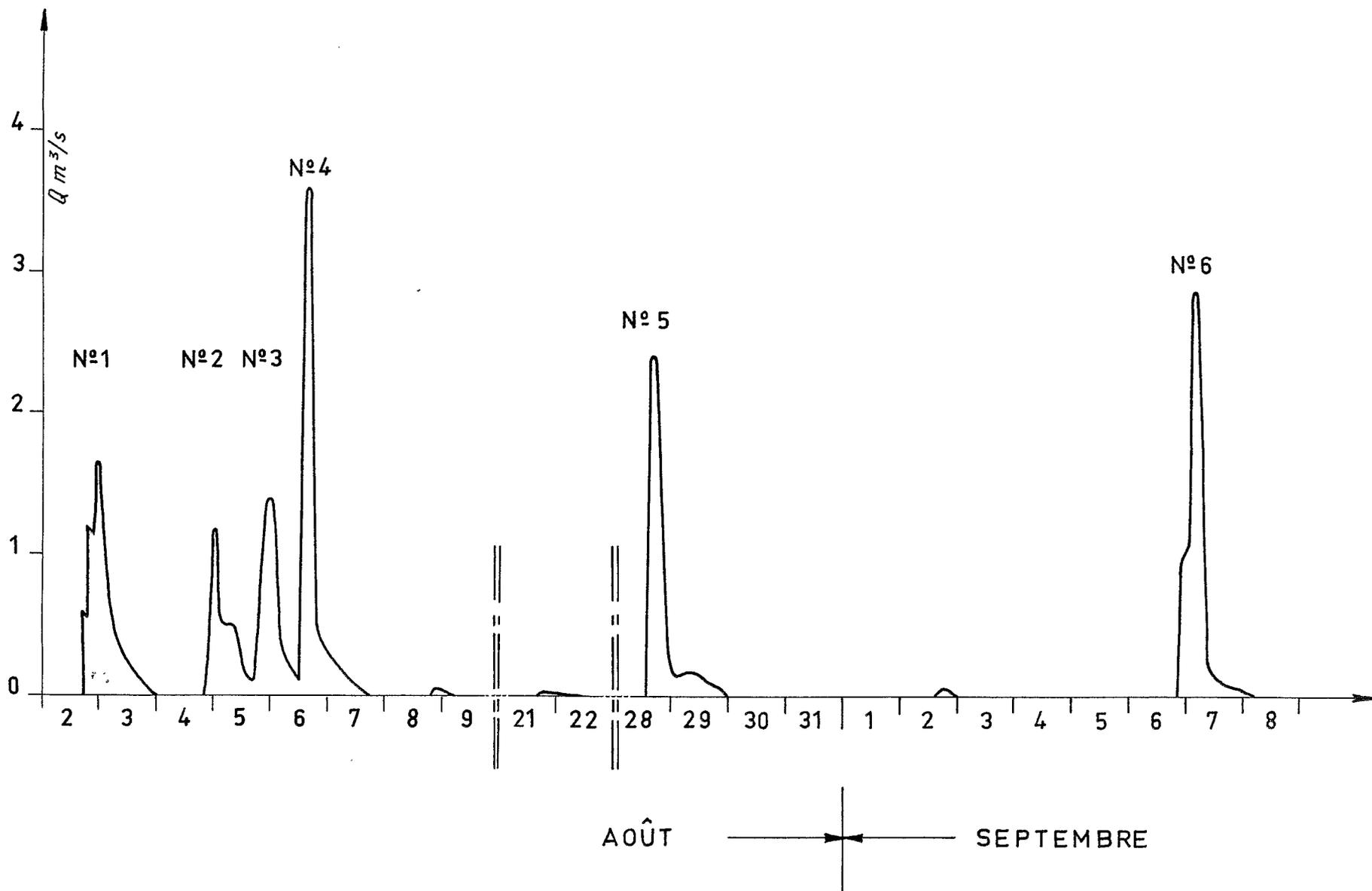
- Crue du 2 et 3 Août (N° 1) (fig. 23).

La hauteur de pluie à AM NABAK le 2 Août est 23,1 mm. Antérieurement 19,6 mm sont tombés du 26 au 29 Juillet.

OUADI FÉRA à AM NABAK

Fig: 21

CRUES DE 1965



RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE EN AMONT DE LA STATION
 Surface maximale du bassin susceptible d'avoir alimenté la station
 au cours de l'année 1965.

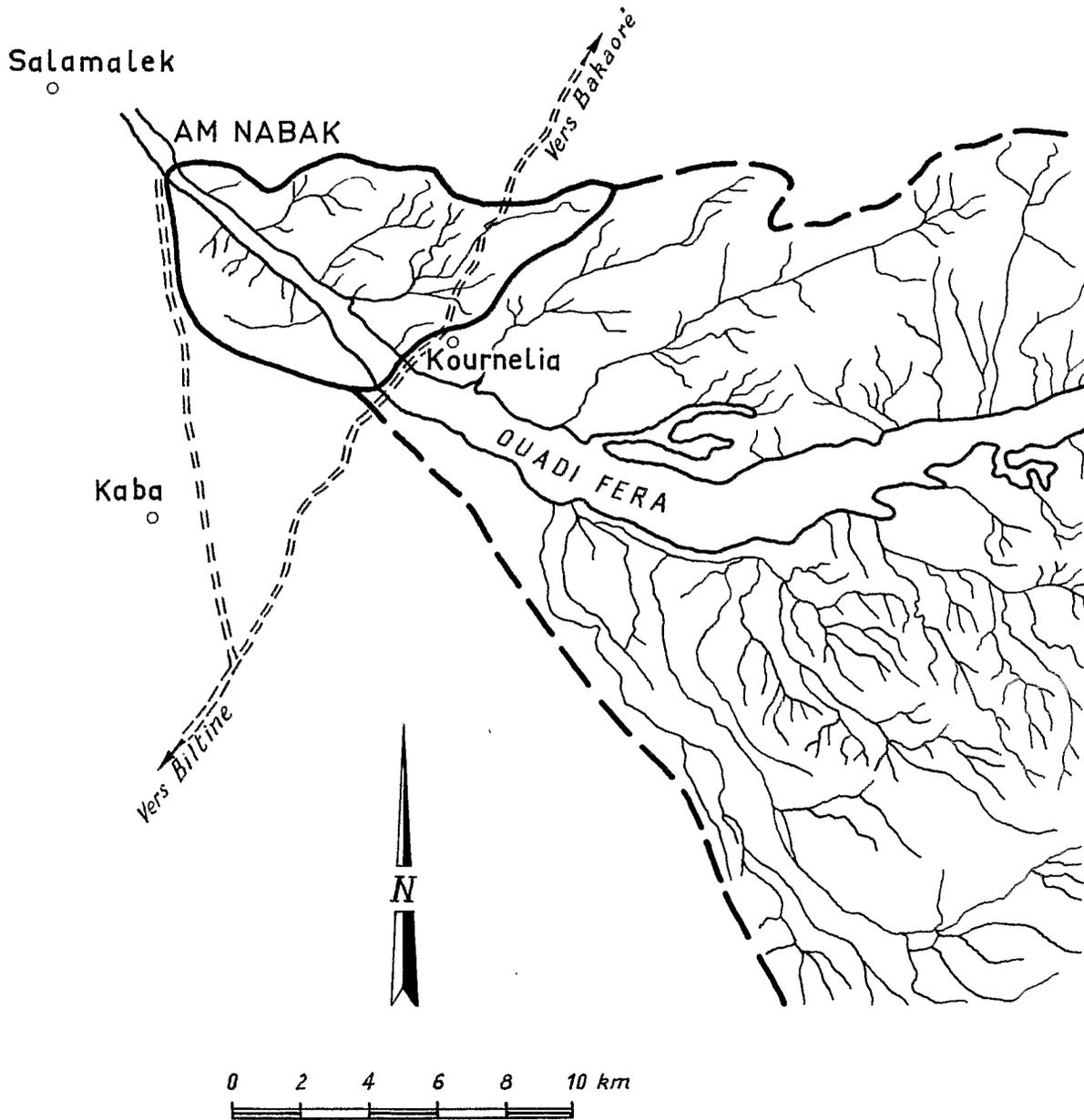


Tableau 9 : O. FERA à AM NABAK. Caractéristiques des crues observées en 1965 (1)

Date et numéro	P AM NABAK	H max (m)	Q max (m ³ /s)	V r (m ³)	t m (h)	T b (h)
2 et 3 Août (N° 1)	23,1	0,50	1,65	47.090	6h00	30 h
5 Août (N° 2)	35,8	0,44	1,18	31.540	2h40	30 h
5 et 6 Août (N° 3)	4,3	0,47	1,40	41.180	3h00	30 h
6 Août (N° 4)	37,4	0,65	3,59	55.730	2h00	29 h
28 Août (N° 5)	47,8	0,60	2,36	54.430	2h20	33 h
7 Septembre (N° 6)	55,2	0,64	2,88	63.940	7h00	30 h
Année 1965	(330)	0,65	3,59	293.910	-	182 h

P AM NABAK : Pluviométrie journalière à la station d' AM NABAK

H max : Hauteur d'eau maximale à l'échelle

Q max : Débit maximal

V r : Volume total écoulé

t m : Temps de montée

T b : Temps de base

../...

(1) - Les écoulements insignifiants tels que ceux du 19 Juin ou du 8 Août n'ont pas été reportés dans ce tableau.

La hauteur d'eau maximale est de 0,50 m, le débit maximal de 1,65 m³/s. Le volume total écoulé est de 46.600 m³.

Le temps de montée de 6 heures est long comparativement à celui des autres crues. Les deux petites pointes pendant la montée semblent indiquer l'arrivée d'apports d'affluents.

- Crue du 5 Août (N° 2) (fig. 24)

Cette nouvelle crue débute à la station alors que la hauteur d'eau atteint juste le zéro après la précédente.

La pluviométrie à AM NABAK est 35,8 mm le 5 Août.

La hauteur d'eau maximale est 0,44 soit un débit maximal de 1,18 m³/s.

Le volume total écoulé est 31.580 m³.

Le temps de montée est seulement de 2 h 40.

- Crue du 5 et 6 Août (N° 3) (fig. 24)

Le 5 Août, il pleut de nouveau sur le bassin, 4,3 mm sont relevés à AM NABAK.

Alors que le débit est encore de 0,10 m³/s. une nouvelle crue commence à la station.

Après un temps de montée de 3 heures, la hauteur maximale atteinte est de 0,47 m correspondant à un débit de 1,40 m³/s. Le volume écoulé total est de 41.000 m³.

La forme de l'hydrogramme est régulière.

- Crue du 6 Août (N° 4) (fig. 24)

Une précipitation de 37,4 mm tombe à la station le 6 Août.

Le débit n'est plus que de 0,10 m³/s. quand débute cette quatrième crue.

La hauteur d'eau maximale, de 0,65 m, est la plus élevée de l'année, le débit maximal est de 3,59 m³/s. Le volume total écoulé est de 53.700 m³. Le temps de montée de 2 heures s'avère le plus court observé.

La forme de l'hydrogramme est très régulière.

- Le 8 Août une pluie de 9,6 mm tombe à AM NABAK. On note une hauteur d'eau maximale de 0,10 m soit un débit maximal de 0,04 m³/s.

- Le 20 Août, après 11 jours de sécheresse, se produit une précipitation de 2,5 mm à la station puis le 21 Août une de 12,2 mm. Cette pluie sur le bassin provoque

une concentration de l'eau dans l'ouadi, la hauteur maximale atteint 0,11 m, ce qui est à la limite de l'écoulement à cette date de l'année.

- Crue du 28 Août (N° 5) (fig. 25)

Le 28 Août une pluie de 47,8 mm tombe à AM NABAK pendant 2 heures dont 45,1 mm les 30 premières minutes.

La hauteur d'eau maximale est de 0,60 m, le débit maximal de 2,36 m³/s., et le volume écoulé de 46.600 m³.

Le temps de montée est de 2 h 20, le temps de base de 33 h apparaît légèrement plus long que celui des crues précédentes. Une petite pointe secondaire nettement distincte de la principale semble indiquer un apport lointain du petit bassin.

- Le 2 Septembre, on relève une précipitation de 23,6 mm à la station, 4,1 mm au total sont tombés les deux jours précédents. Cette pluie provoque une montée de l'eau dans le lit de l'ouadi. On note une hauteur d'eau maximale de 0,20 m soit un débit maximal de 0,04 m³/s.

- Crue du 7 Septembre (N° 6) (fig. 26)

A AM NABAK, la pluie la plus importante de l'année, avec 55,2 mm, se produit tard dans la saison, le 6 Septembre.

La hauteur d'eau maximale est de 0,64 m, le débit maximal de 2,88 m³/s., et le volume écoulé de 63.800 m³ soit le plus élevé de la saison.

Le temps de montée de 7 heures et une inflexion de la courbe de montée indiquent une alimentation par un bras éloigné de la station alors que l'apport de la région proche commence à décroître.

4.3.- HAUTEURS D'EAU ET DEBITS CLASSES - MODULES ET DEBITS CLASSES

4.3.1.- Hauteurs d'eau classées

La courbe des hauteurs d'eau classées de toutes les crues de 1965 (fig. 27) permet de déduire les résultats suivants :

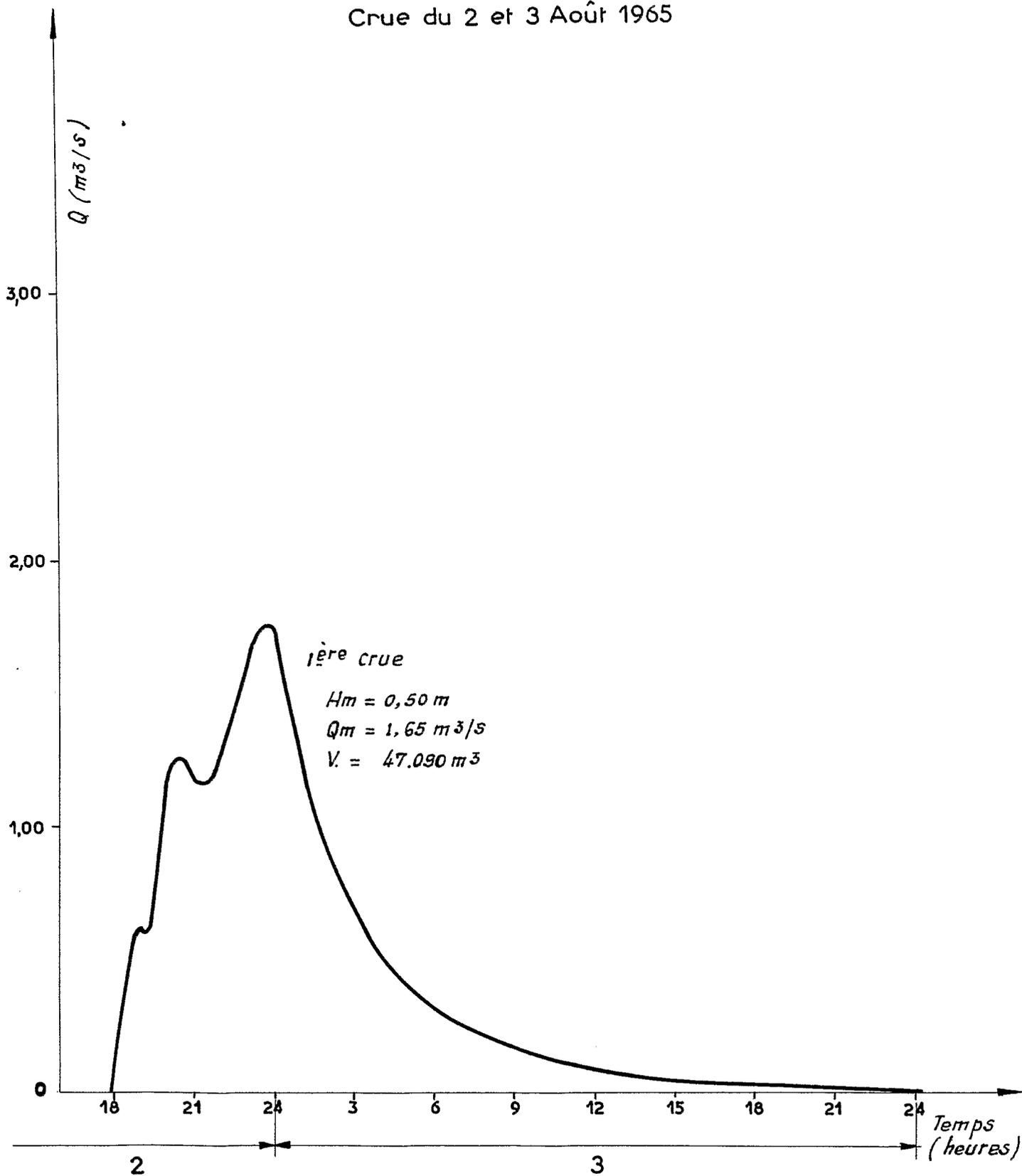
La hauteur d'eau est supérieure au zéro de l'échelle, c'est-à-dire qu'il y a accumulation ou écoulement d'eau dans le lit de l'ouadi, pendant 335 heures soit 14 jours.

La hauteur d'eau maximale est de 0,65 m.

La hauteur dépassée pendant 12 heures est de 0,52 m, pendant 24 heures de 0,45 m, pendant 7 jours soit la moitié de la période d'inondation du lit la hauteur d'eau est supérieure à 0,05 m.

OUADI FERA à AM NABAK

Crue du 2 et 3 Août 1965



CRT 7572

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 6-11-65

DES: S. NICOE

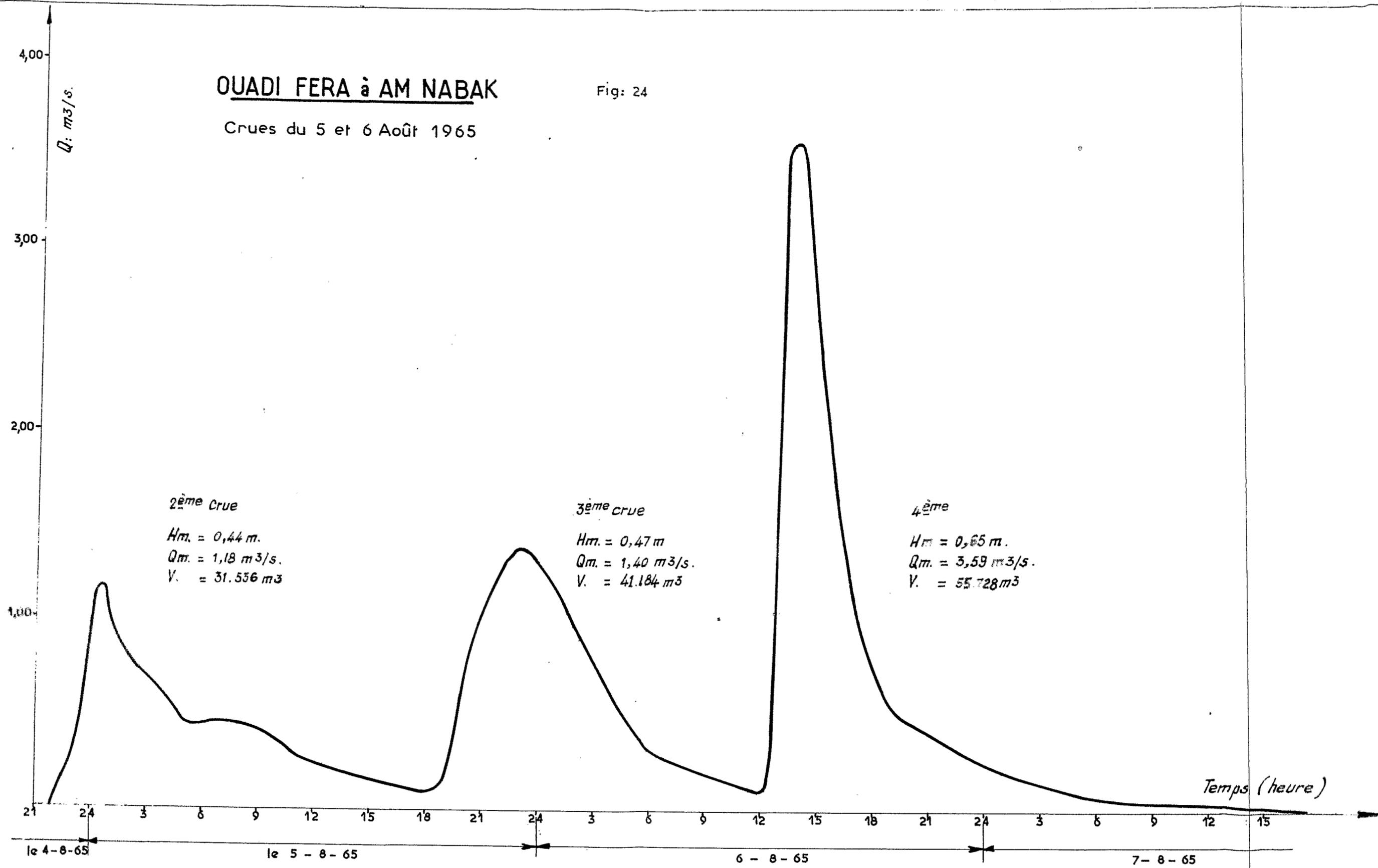
VISA

TUBEN°

OUADI FERA à AM NABAK

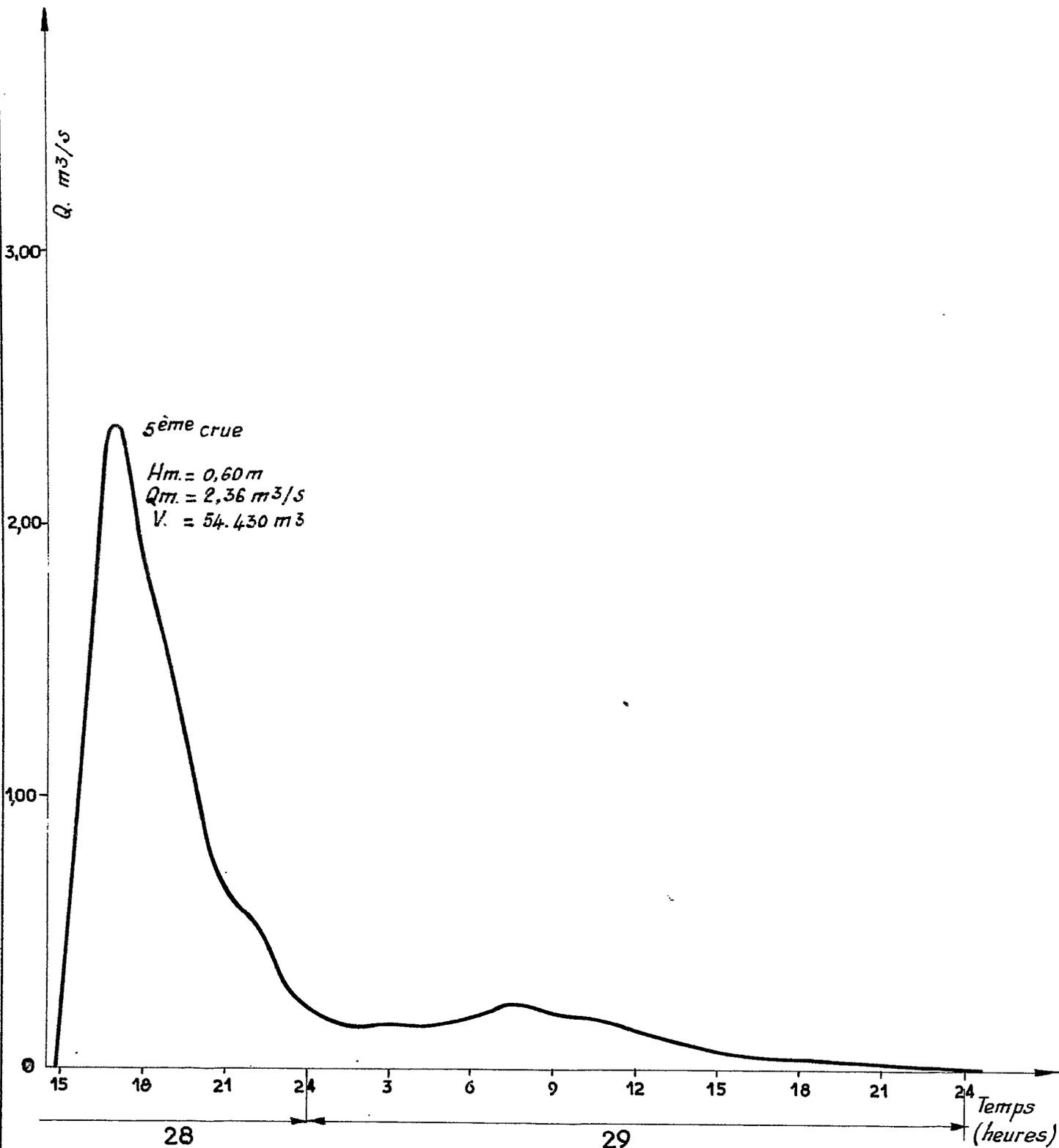
Fig: 24

Crues du 5 et 6 Août 1965



OUADI FERA à AM NABAK

Crue du 28 Août 1965



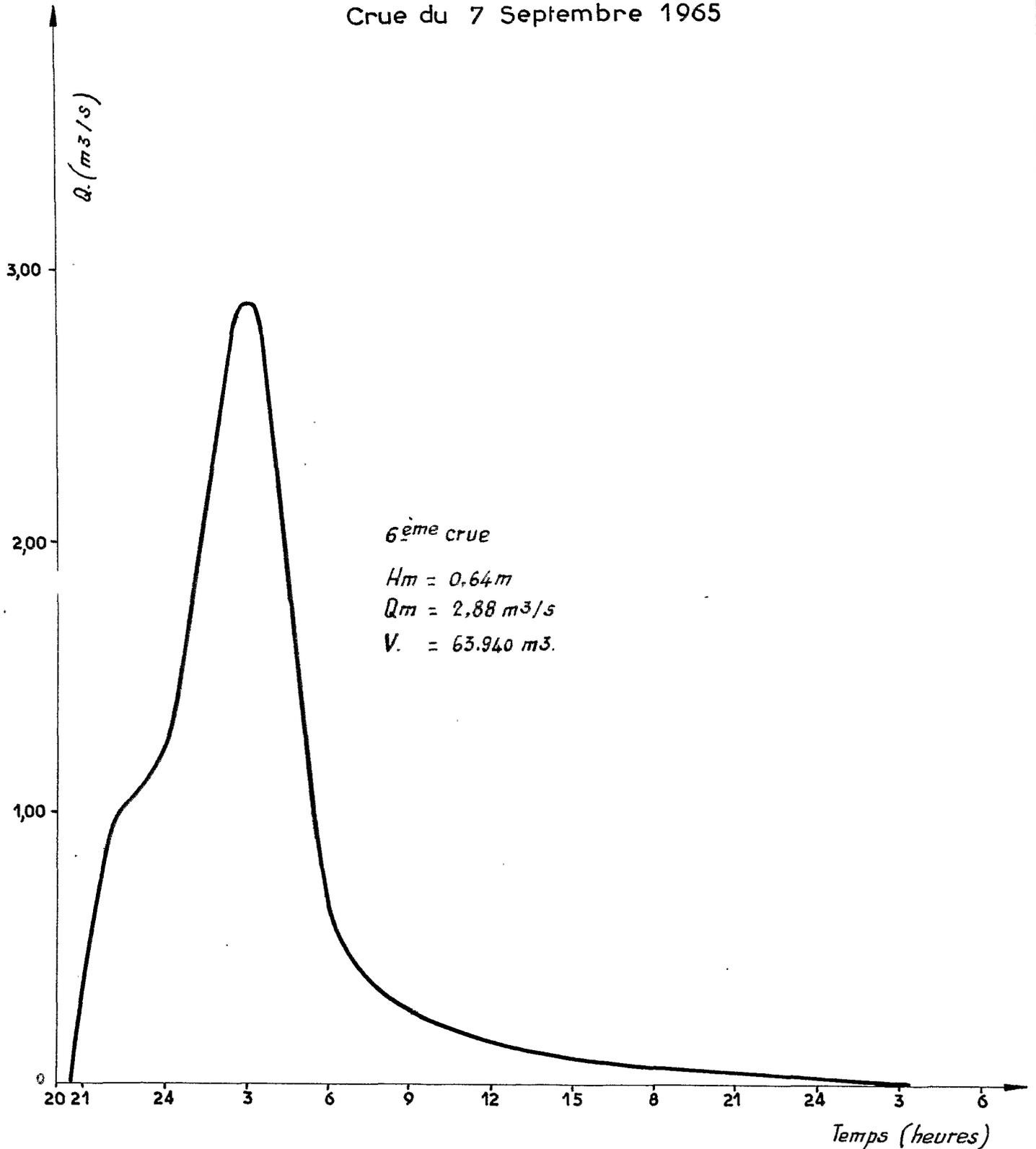
CRT 7571

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:	LE: 6 - 11 - 65	DES: S. NICOE	VISA	TUBEN°
-----	-----------------	---------------	------	--------

OUADI FERA à AM NABAK

Crue du 7 Septembre 1965



CRT 7573

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:	LE: 10 - 11 - 65	DES: S. NICOE	VISA	TUBEN°
-----	------------------	---------------	------	--------

4.3.2.- Débits classés

La courbe des débits classés de toutes les crues de 1965 (fig. 27) montre que le temps pendant lequel se produit un écoulement est nettement plus réduit que celui pendant lequel la hauteur d'eau est supérieure au zéro. Il atteint 188 heures soit près de 8 jours.

Le débit maximal est de 3,59 m³/s.

Le débit dépassé pendant 12 h est de 1,55 m³/s., pendant 24 heures de 1,12 m³/s., pendant 4 jours, soit la moitié du temps pendant lequel se produit l'écoulement, le débit reste supérieur à 0,18 m³/s.

Le débit dépassé pendant 7 jours est de 0,02 m³/s.

Le volume total annuel est de 295.000 m³ correspondant à un module théorique de 9,3 l/s. Les débits moyens mensuels seraient les suivants :

Juin = 0, Juillet = 0, Août = 86 l/s., Septembre = 25 l/s.

Cela n'aurait pas de sens de calculer le déficit d'écoulement.

4.4.- DEBITS SOLIDES

Le transport des matières en suspension conduit au colmatage et au comblement progressif des retenues. Afin d'évaluer l'importance d'un tel danger nous avons effectué l'étude des débits solides.

4.4.1.- Méthode de travail

Pour une cote à l'échelle déterminée, 10 prélèvements d'un litre sont effectués sur l'ensemble de la section, à 0,10 m de la surface et au milieu de plusieurs verticales convenablement réparties. Ceci à l'aide d'une éprouvette d'un litre que l'on retourne à la profondeur voulue.

Les 10 litres sont évaporés, le résidu desséché est pesé. On obtient ainsi la concentration, en gramme par litre, de matière en suspension. Connaissant la hauteur d'eau, on en déduit le débit liquide et par suite le débit solide, en gramme par seconde.

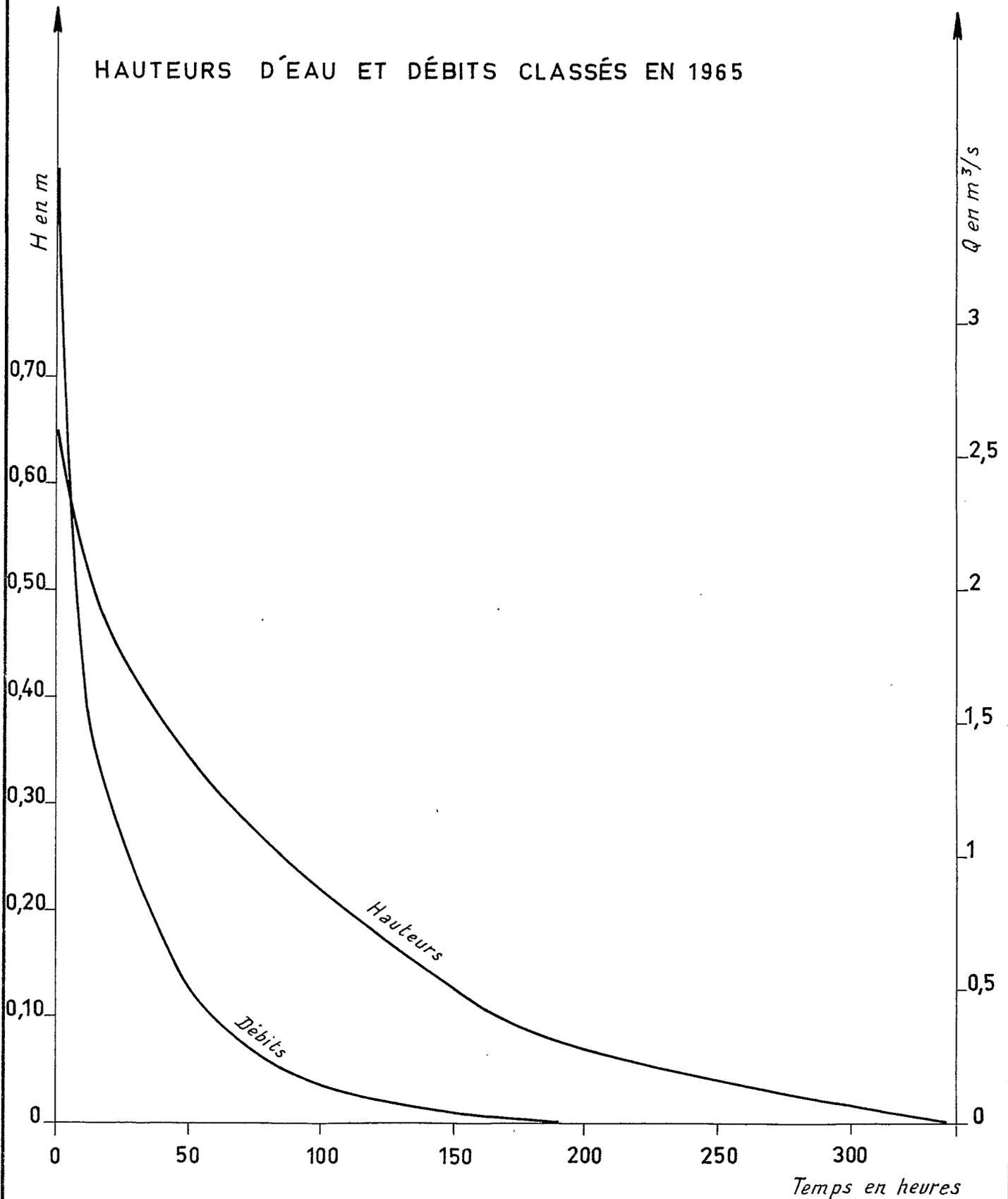
Différentes mesures permettent de tracer une courbe d'étalonnage donnant le débit solide en fonction de la hauteur d'eau.

Les courbes de débit solide en fonction du temps sont tracées à partir des limnigrammes. Leur planimétrage permet d'estimer le poids de matière solide transporté en suspension. En estimant la densité apparente une évaluation du volume de sédiment correspondant peut être tentée.

OUADI FÉRA à AM NABAK

Fig:27

HAUTEURS D'EAU ET DÉBITS CLASSÉS EN 1965



4.4.2.- Débit solide en fonction de la hauteur d'eau

5 mesures de débit solide ont été effectuées. Le tableau ci-dessous mentionne les résultats.

H = Hauteur à l'échelle, en m.

Q = Débit liquide, en m³/s.

Ps = Concentration de matière solide en g/l.

Qs = Débit solide de matière en suspension, en g/s.

Date	H (m)	Q (m ³ /s)	Ps (g/l)	Qs (g/s)
5.8.65	0,16	0,14	0,171	23,9
5.8.65	0,23	0,32	0,185	59,2
28.8.65	0,39	0,44	0,146	64,2
28.8.65	0,48	1,08	0,228	246
28.8.65	0,54	1,68	0,324	544

L'effet saisonnier de la végétation sur l'érosion apparaît dans ces résultats. Au début des premières pluies la végétation herbacée est peu développée, le sol nu est particulièrement sensible à l'érosion et les crues de cette époque charient une quantité plus importante de matériaux. La végétation devient plus dense à mesure que l'on avance dans la saison des pluies, protégeant ainsi le sol de l'érosion, et favorisant la sédimentation par diminution des vitesses, d'où une décroissance des débits solides pour une même hauteur.

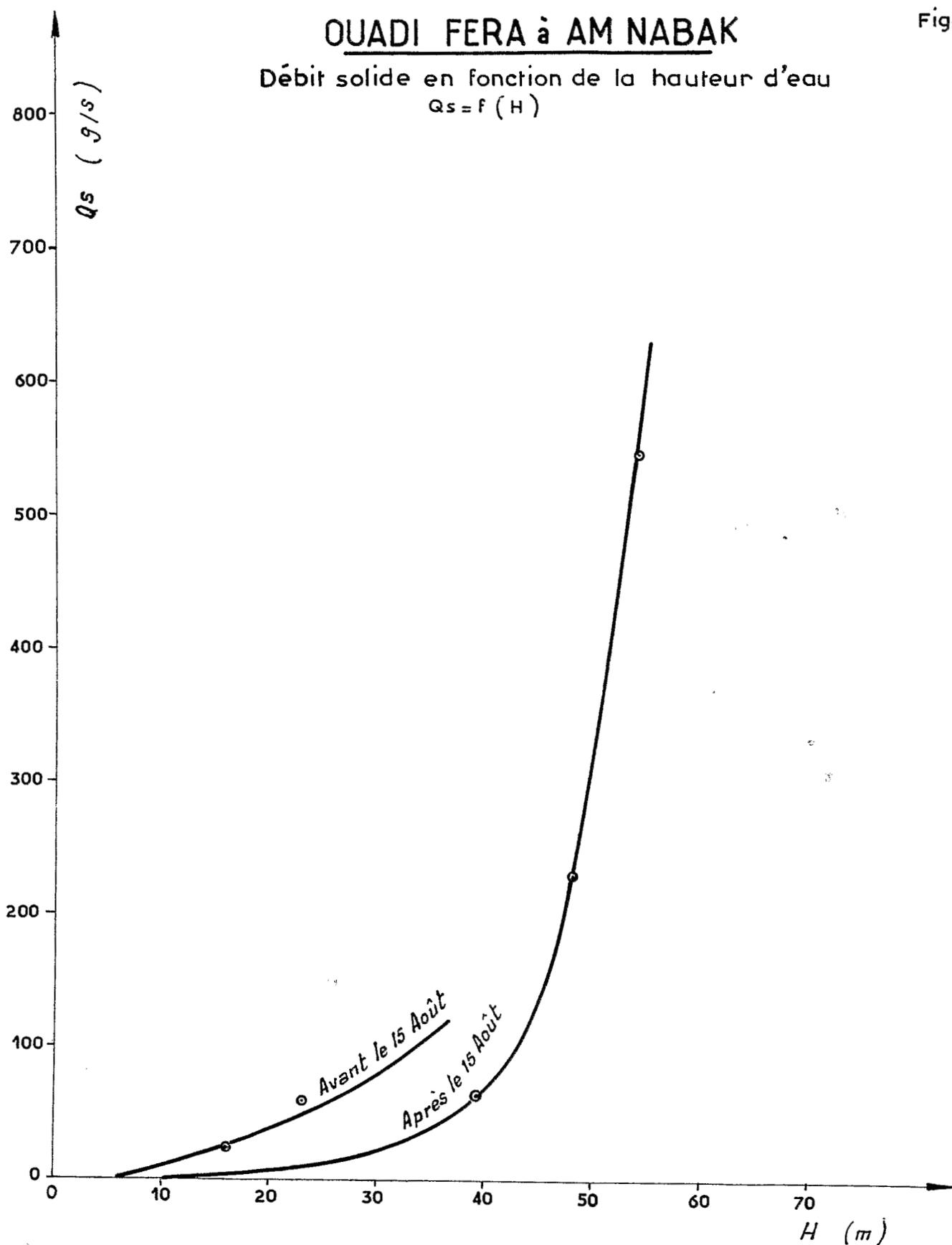
On aboutit ainsi pour 1965 à deux courbes d'étalonnage. Une est valable avant le 15 Août, l'autre après le 15 Août (fig. 28).

4.4.3.- Poids et volume de matière solide transportée en suspension

Les courbes de débit solide en fonction du temps permettent par planimétrie d'évaluer le poids de matière en suspension transporté à chaque crue.

OUADI FERA à AM NABAK

Débit solide en fonction de la hauteur d'eau
 $Q_s = f(H)$



CRT 7569

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:	LE: 5-11-65	DES: S. NICOE	VISA	TUBEN°
-----	-------------	---------------	------	--------

Le tableau ci-dessous indique ces résultats

H max = Hauteur d'eau maximale

Q max = Débit maximal

V r = Volume écoulé

P s = Poids de matière solide en suspension écoulé.

Date et numéro	H max (m)	Q max(m ³ /s)	Vr (m ³)	Ps (tonne)
2 et 3 Août (N° 1)	0,50	1,65	46.600	10,1
5 Août (N° 2)	0,44	1,18	31.580	6,1
5 et 6 Août (N° 3)	0,47	1,40	41.000	7,9
6 Août (N° 4)	0,65	3,59	53.700	16,9
28 Août (N° 5)	0,60	2,36	46.000	12,3
7 Septembre (N° 6)	0,64	2,88	63.800	20,7
Année	0,65	3,59	282.680	74,0

Le poids maximal transporté pendant une crue est de 20,7 tonnes. Le poids total transporté pendant ces 6 crues est de 74 tonnes. Compte tenu des 4 crues insignifiantes supplémentaires, on arrive à un poids total annuel de matière solide transportée en suspension, de 75 tonnes.

Avec une densité réelle des matériaux $d_r = 2,65$ et une porosité $p = 35\%$, on peut estimer la densité apparente du sédiment d_a .

$$d_a = (1 - p)$$

soit $d_a = 1,7$

Ce résultat correspond de manière très satisfaisante aux mesures effectuées sur des sédiments analogues.

75 tonnes représentent ainsi un volume

$$V_s = \frac{P_s}{d_a} = 44 \text{ m}^3$$

..//...

4.5.- ETUDE DE LA NAPPE AQUIFERE

4.5.1.- Résultats géophysiques

La campagne de prospection par sismique réfraction, entreprise par la Compagnie Générale de Géophysique, permet de préciser l'hydrogéologie d' AM NABAK et de choisir éventuellement des emplacements pour de nouveaux piézomètres.*

Nous reproduisons ici la position des coupes géophysiques et des piézomètres (fig. 29).

Les documents sismiques étalonnés par de nombreux forages permettent d'établir les correspondances suivantes :

Terrains	vitesse en m/s
Alluvions sèches	400 - 1200
Alluvions humides	1700 - 2000
Arènes granitiques	1200 - 1800
Granite altéré	1500 - 2300
Granite sain	4000 - 5000

Le granite sain se distingue nettement des terrains de recouvrement, il en est de même des alluvions sèches et des alluvions humides ou arènes ou granite altéré. Cependant les alluvions humides ne peuvent se distinguer des arènes ou du granite altéré.

Les prévisions concernant l'épaisseur des alluvions sont généralement satisfaisantes avec des erreurs inférieures à 10%. Par contre, les estimations de profondeur au toit du granite sont généralement trop fortes. L'écart provient de l'horizon 1800 - 2000 m/s, c'est-à-dire des arènes ou du granite altéré. Sur les coupes, mises à part les zones tectonisées, la puissance de ce niveau est fournie par excès. Pour obtenir son épaisseur réelle, il suffit de diviser l'épaisseur apparente par le coefficient d'anisotropie choisi en première approximation égal à 1,5.

L'étude sismique permet de mettre en évidence au toit du granite sain un sillon rempli d'arènes et d'alluvions où se localise la nappe aquifère. L'extension de celle-ci est limitée par la morphologie du toit granitique.

Dans le rapport de la CGG on trouvera les coupes géologiques détaillées relevées lors du forage des piézomètres.

.../...

* Etudes hydrologiques dans l' Ouaddaï par prospection géophysique et sondages de reconnaissance. 1965.

4.5.2.- Variations du niveau piézométrique de la nappe.

3 piézomètres permettent l'observation des variations du niveau piézométrique de la nappe. Des mesures sont également effectuées dans le puits cimenté.

Les mesures journalières du niveau dynamique de la nappe sont présentées en annexe.

Les cotes absolues du sommet des piézomètres sont déterminées par un cheminement fermé en choisissant la cote arbitraire 500,00 m au sommet du PZ 1.

Le 20 Août par exemple, les cotes piézométriques, relativement stables depuis plusieurs jours, sont les suivantes :

Piézomètre	Cote du sommet	Niveau dynamique	Niveau piézométrique
PZ 1	500,00	4,20	495,80
PZ 2	500,85	12,20	488,65
PZ 3	501,55	13,25	488,30
Puits	500,55	12,95	487,60

Les niveaux piézométriques dans les piézomètres PZ 2 et PZ 1 et dans le puits apparaissent voisins tandis que celui du PZ 1 est nettement plus élevé. Ceci peut tenir au fait que PZ 1 se situe à faible distance de l'ouadi ou dans des conditions hydrogéologiques plus favorables. D'autre part l'étude sismique montre qu'il est implanté dans un système aquifère isolé du grand sillon au moins vers l'Est et le Sud par un seuil granitique.

Les courbes de variation des niveaux piézométriques (fig. 30) permettent de suivre l'évolution de la nappe.

Le régime annuel de la nappe aquifère paraît étroitement lié à celui de l'ouadi. Les mouvements de la nappe sont partout synchronisés.

- Recharge : La mesure faite en Mai 1965 par le BRGM et celles effectuées par nous-mêmes à partir d'Août confirment que le niveau piézométrique continue à descendre jusqu'aux premières pluies, lesquelles semblent le stabiliser.

Les quatre premières crues n'ont qu'un effet atténué et les petites pointes du mois d'Août pourraient aussi bien être attribuées à l'infiltration des eaux dans les anciens puits malheureusement situés aux alentours des piézomètres. Exception

faite du PZ 1, la recharge est lente et ces premières pluies et crues sont souvent insuffisantes pour que les niveaux atteignent les valeurs de Mai. Il faut attendre la crue du 28 Août et surtout celle du 7 Septembre pour dépasser nettement ces niveaux.

Le PZ 1 semble cependant répondre beaucoup plus vite. Alors que profond de 7 m, il est à sec au début de Juillet, le niveau piézométrique remonte brusquement de plus de 3 m, dès les premières crues.

La recharge maximale est atteinte dans tous les piézomètres entre le 10 et le 30 Septembre. La durée de recharge peut ainsi être estimée à 2 mois.

L'amplitude maximale de cette recharge peut être évaluée à :

PZ 1	:	>	5 m
PZ 2	:		2,10 m
PZ 3	:		0,75 m
Puits	:		1,00 m

En admettant pour ce type de sédiment un coefficient d'emmagasinement de 5 à 10%, on aboutirait aux modules de recharge suivants.

PZ 1	:	2500 m ³ /hectare	< V	<	5000 m ³ /hectare (par défaut)
PZ 2	:	1050 m ³ /hectare	< V	<	2100 m ³ /hectare
PZ 3	:	375 m ³ /hectare	< V	<	700 m ³ /hectare
Puits	:	500 m ³ /hectare	< V	<	1000 m ³ /hectare

- Décharge : Dans les trois piézomètres la décharge est très régulière. Les vitesses de décharges sont les suivantes :

PZ 1	:	0,30 m/mois jusqu'en Décembre puis 0,45 m/mois
PZ 2	:	0,33 m/mois
PZ 3	:	0,83 m/mois

Avec les coefficients d'emmagasinement choisis on aboutirait aux modules de décharges suivants :

PZ 1	:	de 150 à 300 m ³ /mois/hectare puis de 225 à 450 m ³ /mois/hectare.
PZ 2	:	de 165 à 330 m ³ /mois/hectare
PZ 3	:	de 415 à 830 m ³ /mois/hectare.

.. / ...

Les cotes piézométriques du début de Juillet sont à nouveau atteintes vers le 1er Décembre 1965 au PZ 3, le 10 Janvier 1966 au PZ 2. Le PZ 3 sera probablement à sec dès le mois de Mars 1966.

En 1965 la nappe semble donc avoir été moins réalimentée que l'année précédente.

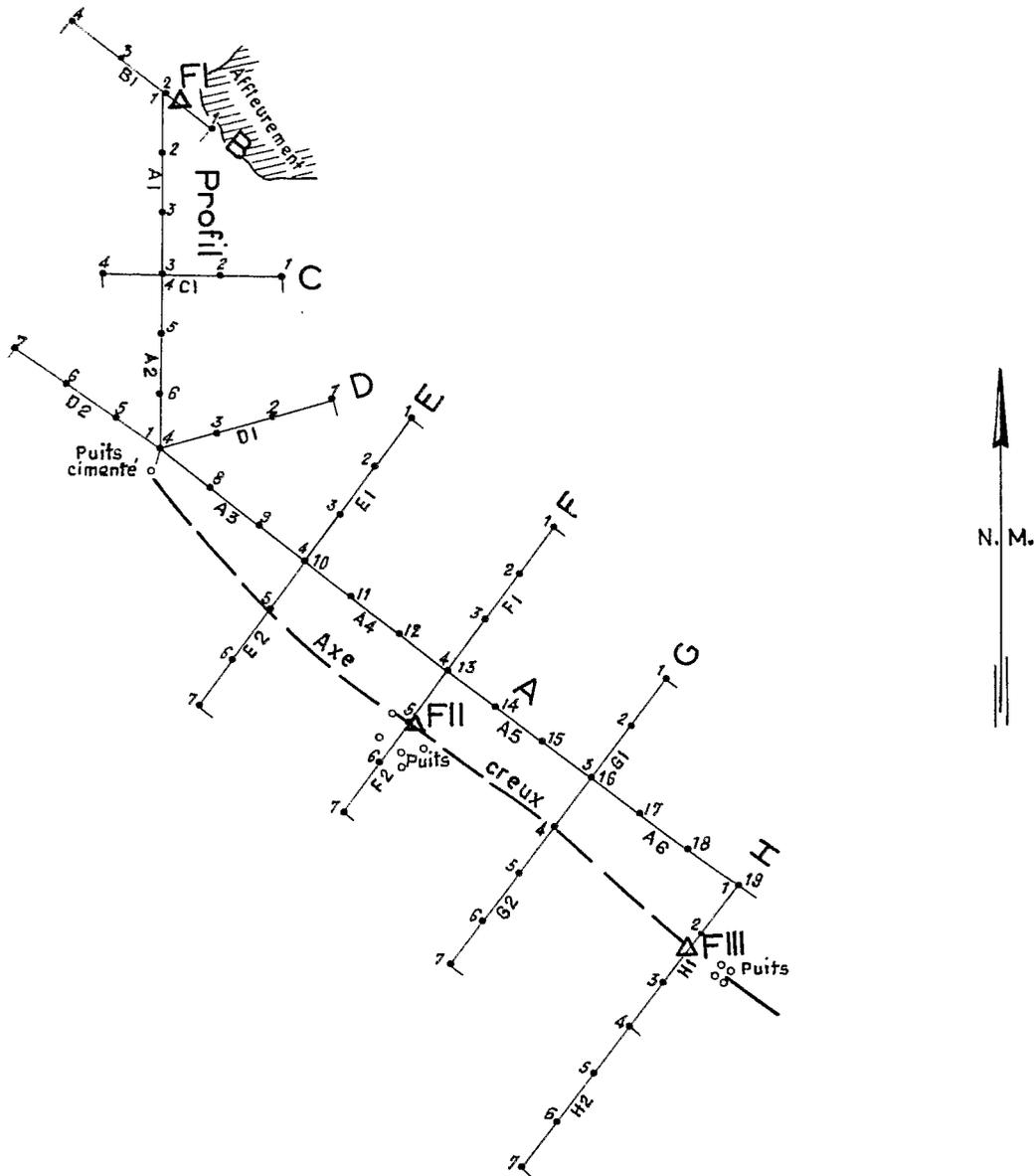
PLAN DE POSITION

AM NABAK

Fig: 29

(Reproduction de l'étude effectuée par la
Compagnie Générale de Géophysique)

Echelle: 1/10.000^e



CRT 7674

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

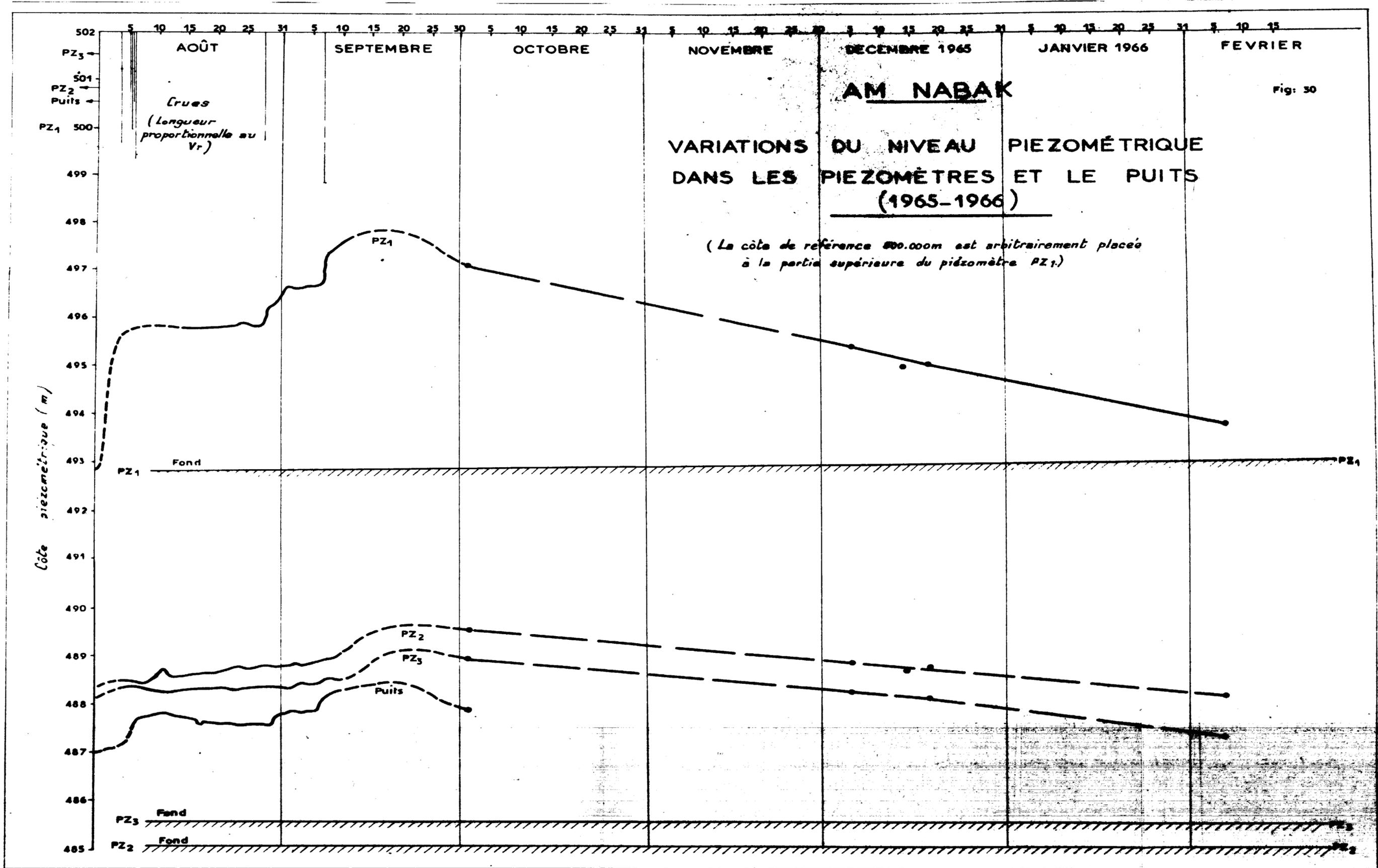
ED:

LE: 30-9-66

DES: S: NICOE

VISA

TUBEN°



140 E20 09, N
GAM-T-12

Cette mire doit être lisible dans son intégralité
Pour A0 et A1: ABERPFTHLJDOCGUUVWNSZXY
zsaecmuvnwvixrfkhdpggyjt 7142385690
Pour A2: 3A4: ABERPFTHLJDOCGUUVWNSZXY
zsaecmuvnwvixrfkhdpggyjt 7142385690



5 - BASSINS VERSANTS SUR L'OUADI KADJEMEUR

5.1.- EQUIPEMENT HYDROMETRIQUE

5.1.1.- Station I

- Situation et description

Elle se situe sur l' O. KADJEMEUR à proximité du puits bétonné.

Latitude 15° 23' 30" N.

Longitude 19° 50' 00" E.

Cote approximative 450 m.

La section présente un lit sableux large d'une vingtaine de mètres et une plaine d'inondation d'une centaine de mètres. Le profil en travers (fig. 32 bis) montre qu'à partir d'une hauteur d'eau d'un mètre la largeur inondée ne croit que faiblement.

Un limnigraphe OTT, type X, à rotation journalière y a été installé le 12 Juillet. Une échelle limnimétrique permettait le contrôle des hauteurs. Une digue de 70 mètres de long a été édiflée en rive droite. Elle a été emportée par la grande crue du 29 Juillet.

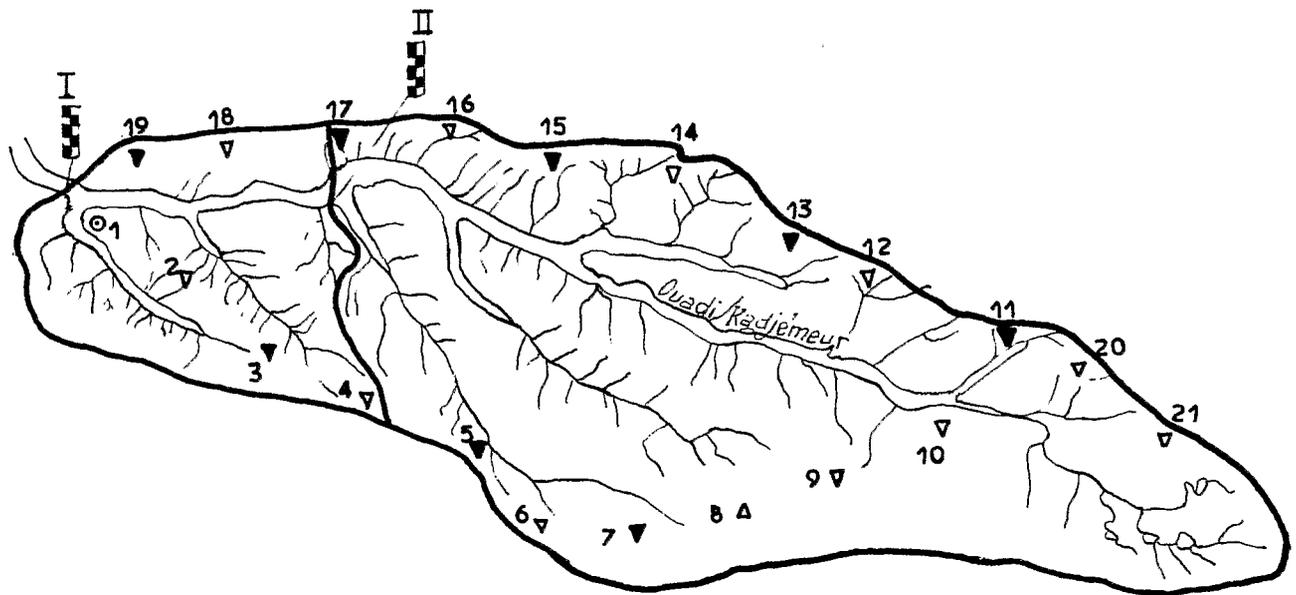
- Etalonnage de la station (fig. 33)

7 jaugeages ont été effectués en 1965. Le tableau ci-dessous rassemble ces résultats.

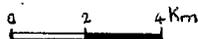
Date	H (m)	Q (m ³ /s)
4.8	0,29	Nul
7.8	0,40	0,230
11.8	0,42	0,240
11.8	0,50	0,480
11.8	0,53	0,700
11.8	0,60	1,250
4.8	0,63	1,706
4.8	0,68	2,020

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI KADJEMEUR

Equipement pluviométrique et hydrométrique



- Station limnimétrique
- △ Pluviographe
- ▼ Pluviomètre Association
- ▽ Pluviomètre totalisateur
- ⊙ Pluviographe, pluviomètres association et totalisateur



CRT 7578

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 17-11-65

DES: S. NICDE

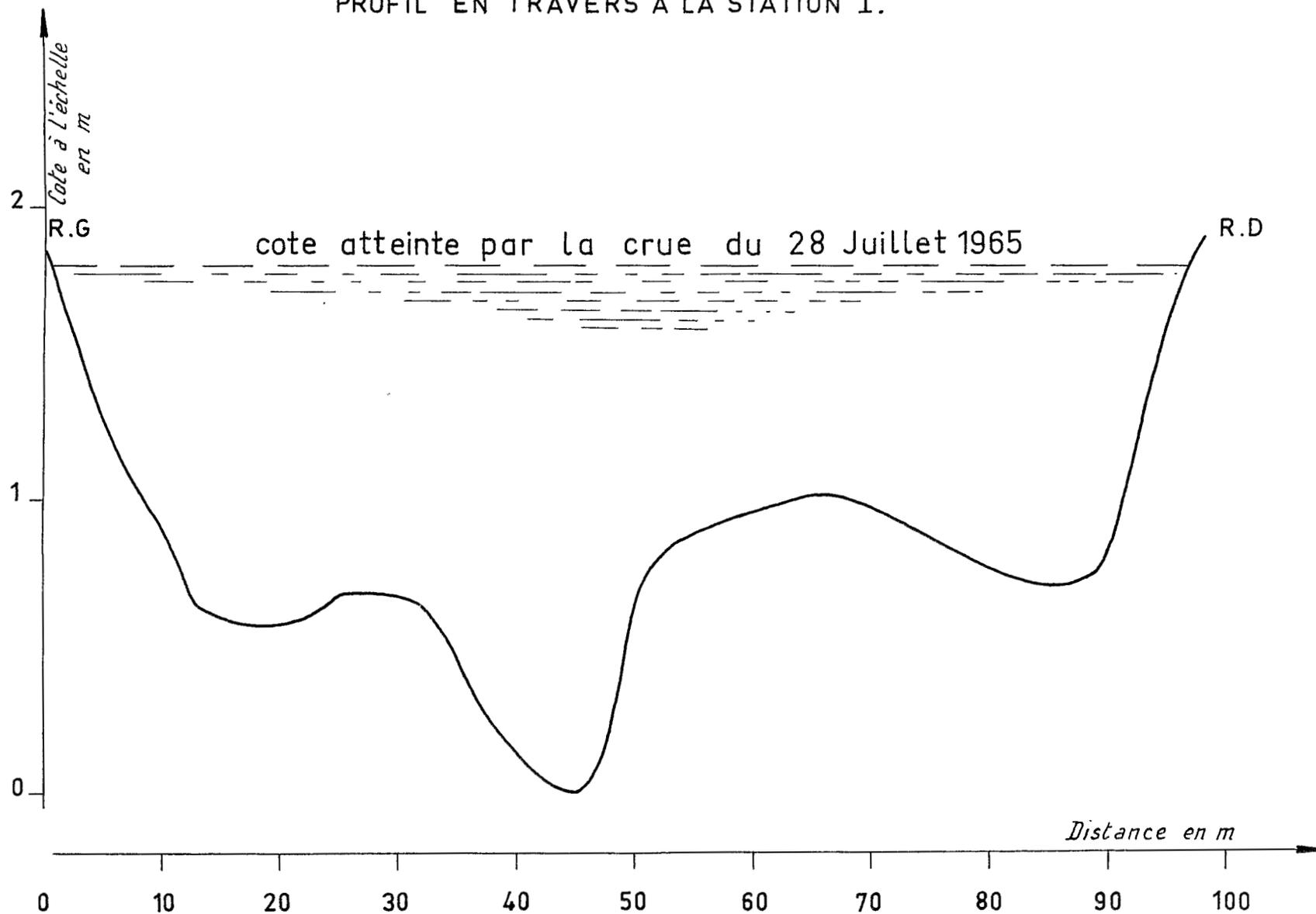
VISA

TUBEN°

OUADI KADJMEUR

Fig : 32

PROFIL EN TRAVERS A LA STATION I.



Réalisés du 4 au 11 Août, ces jaugeages s'échelonnent entre les hauteurs d'eau 0,28 et 0,68 m, qui correspondent respectivement au début de l'écoulement et à un débit de 2,020 m³/s.

Les jaugeages n'ont pu être effectués pour une hauteur d'eau supérieure à 0,68 m, cette cote étant le maximum atteint lors des crues qui succèdent à la première du 29 Juillet. Pendant cette crue la hauteur d'eau maximale a été de 1,78 m. L'agent hydrologue bloqué par les eaux au-delà de l'ouadi WAGAT n'a pas pu malheureusement effectuer les jaugeages. Pour cette hauteur d'eau on peut avancer un débit compris entre 50 et 100 m³/s.

5.1.2.- Station II

Elle se situe sur l' O. KADJEMEUR en amont de la station I.

La section est une large plaine d'inondation boisée, recouverte de limon. Un chenal tortueux, de dimensions variables, s'y encaisse.

L'installation, effectuée le 17 Août 1966, comprenait un limnigraphe OTT, type X, à rotation hebdomadaire, doublé d'une échelle de contrôle.

5.2.- ETUDE ANALYTIQUE DES AVERSES ET DES CRUES

5.2.1.- Présentation de l'étude

En Mars une pluie tombe à OUM CHALOUBA et KADJEMEUR où elle provoque une petite crue.

Le 10 Juillet une hauteur de précipitation de 2,7 mm est relevée à la station I.

Du 27 Juillet au 7 Septembre, 15 précipitations correspondant à 13 jours de pluie provoquent 4 crues à la station I.

Au total on note dans l'année 17 averses réparties sur 15 jours non consécutifs.

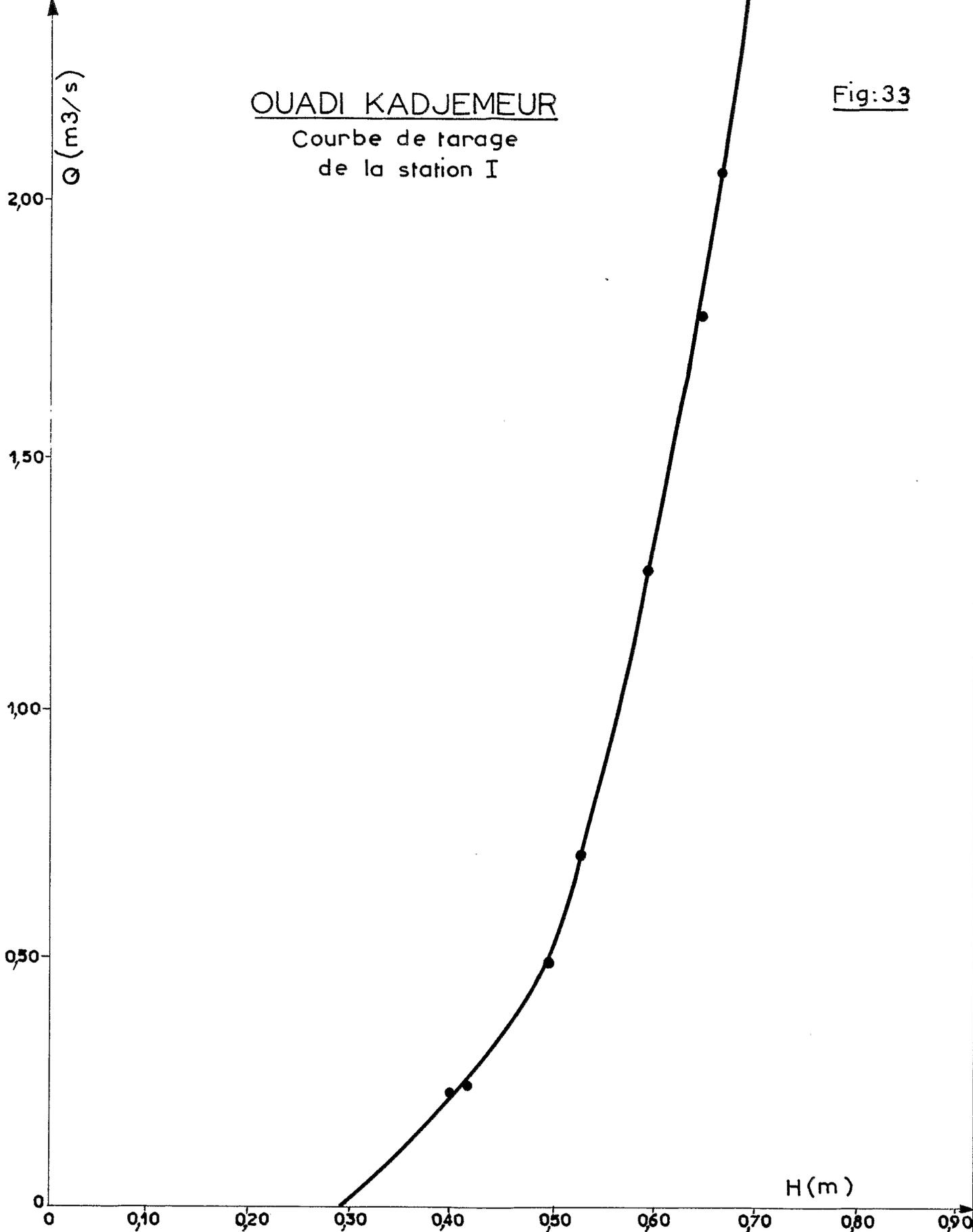
Mise à part celle de Mars, les crues sont groupées du 28 Juillet au 11 Août à la station I.

.../...

OUADI KADJEMEUR

Courbe de tarage
de la station I

Fig:33



CRT 7593

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 18-12-65

DES: S. NICDE

VISA

TUBEN?

Les documents suivants sont à la base de l'étude :

- Une figure montrant la répartition des crues à la station I au cours de l'année 1965 (fig. 34).
- Le tableau de la pluviométrie journalière à chaque pluviomètre du bassin (en annexe).
- Les cartes en courbes isohyètes des averses journalières, accompagnées des hyétogrammes enregistrés à la station I, et au pluviographe n° 8 pour les deux premières pluies.
- Les hydrogrammes de chaque crue à la station I.
- Les diverses caractéristiques des averses et des crues correspondantes sont réunies dans les tableaux 10 et 11 et les symboles utilisés sont :

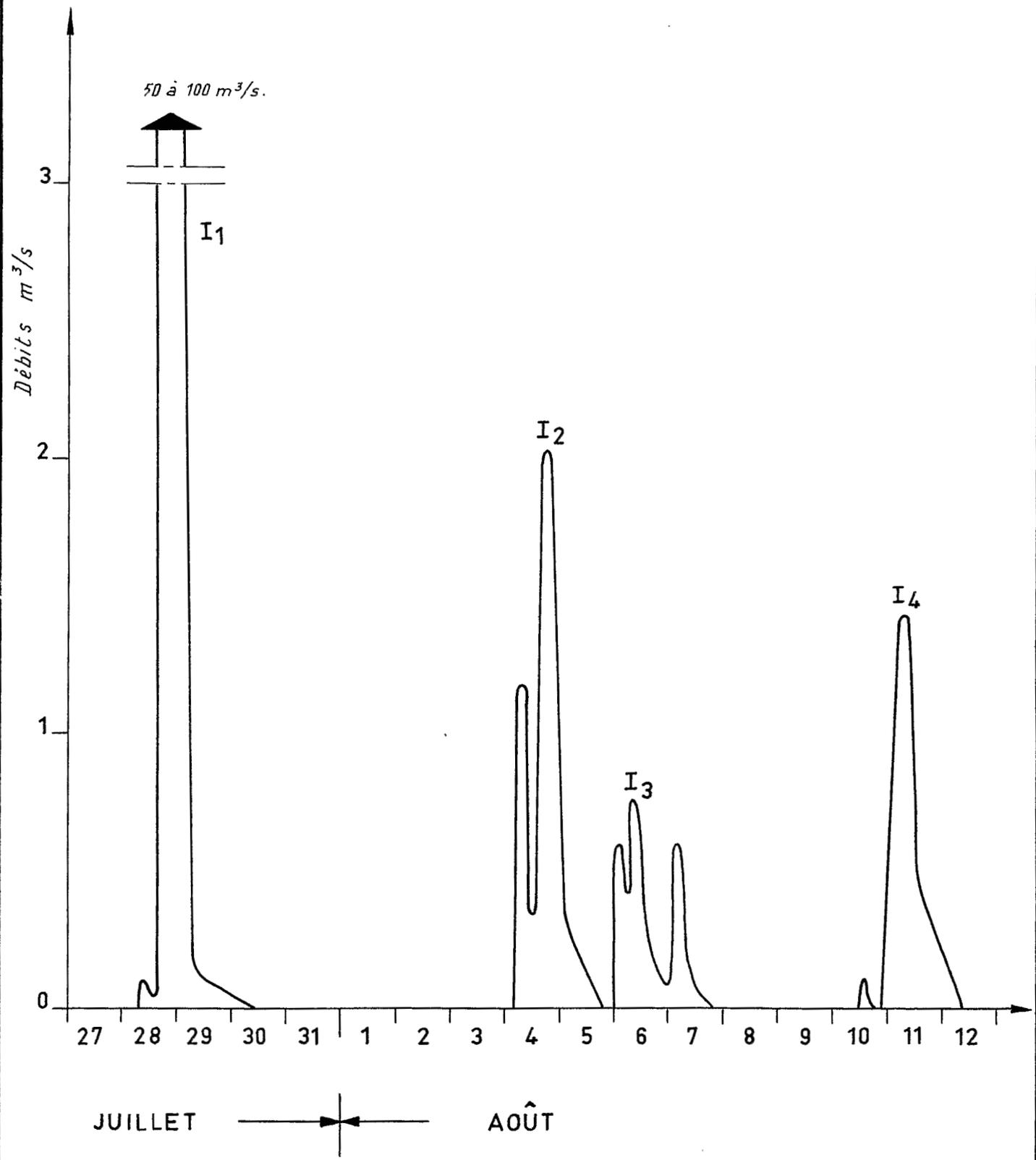
- T_a : Durée qui sépare l'averse de la précipitation antérieure, en jours.
- P_{max} : Hauteur de pluie maximale ponctuelle, en mm.
- P_{min} : Hauteur de pluie minimale ponctuelle, en mm.
- P_{moy} : Hauteur de pluie moyenne sur le bassin, en mm.
- K : Coefficient d'abattement $K = \frac{P_{moy}}{P_{max}}$
- T_{total} : Durée totale de l'averse à la station I, en heure.
- I_{max} : Intensité maximale, en mm/heure.

Les colonnes suivantes sont relatives au ruissellement et comportent les symboles ci-dessous énumérés :

- H_{max} : Hauteur d'eau maximale, en m.
- Q_{max} : Débit maximal, en m³/s.
- V_r : Volume total écoulé, en m³.
- H_r : Epaisseur, en mm, de la lame d'eau ruisselée, répartie sur toute la surface du bassin.
- K_r : Coefficient d'abattement $= \frac{H_r}{P_{moy}} \cdot 100$, en %.
- t_p : Temps de réponse du bassin, c'est le temps qui sépare le milieu du corps de l'averse du débit maximal de la crue.
- t_m : Temps de montée, c'est la durée de la courbe de concentration de l'hydrogramme.
- T_b : Temps de base du ruissellement.

..//...

CRUES DE L'ANNÉE 1965



5.2.2.- Description des averses et des crues

Aucun renseignement n'existe sur la pluie de Mars mais on peut dire qu'elle a certainement été assez importante puisqu'elle a provoqué une crue de l' O. KADJEMEUR.

Le 26 Juillet 0,3 mm tombe à la station I, seul endroit du bassin où l'averse puisse être mesurée.

- Averses du 28 Juillet - N° 1 et N° 2. Crue I 1.

2 averses tombent sur le bassin dans la journée du 28 Juillet.

La première débute à la station I à minuit et se termine à 1 h 32 (fig. 35). Le corps de l'averse est seulement de 17 minutes. L'intensité maximale est de 25 mm/h. Au pluviographe n° 8 la pluie est plus conséquente.

A 15 h 40 (heure approximative) la deuxième pluie se produit. C'est la plus forte de l'année. A la station I sa durée totale est de 2 h 20 (fig. 36). Le corps de l'averse est de 1 h 15. Pendant 15 minutes l'intensité maximale est de 164 mm/h. On relève pour cette précipitation 77,2 mm à l'Association de la station I, 65,7 mm au n° 9 situé à l'extrémité du bassin.

Les totalisateurs de la partie Nord du bassin sont relevés à la suite de la deuxième averse. On a estimé les hauteurs de pluie à ces totalisateurs pour la première averse, qui a été faible sur cette partie du bassin, et par suite pour la seconde averse. En opérant ainsi on ne risque pas de grosses erreurs et cela permet d'estimer la hauteur moyenne de la deuxième précipitation par planimétrage de la carte en courbes isohyètes.

Les deux averses sont cumulées sur la fig. 38. Cette carte permet de mesurer la pluviométrie moyenne du 28 Juillet. Par différence de cette valeur et de celle de la deuxième averse on estime celle de la première averse.

Averse	Bassins versants	P max	P min	P moy	K
N° 1 + 2	II	96,9	27	58,5	0,60
	I	96,9	27	57,5	0,59
N° 2	II	65,7	21	42,5	0,65
	I	77,2	21	45,2	0,59
N° 1	II	36	6	16,0	0,44
	I	36	6	12,3	0,34

.. / ...

Tableau 10 : Caractéristiques des averses de l'année 1965 sur
le bassin versant II de KADJEMEUR

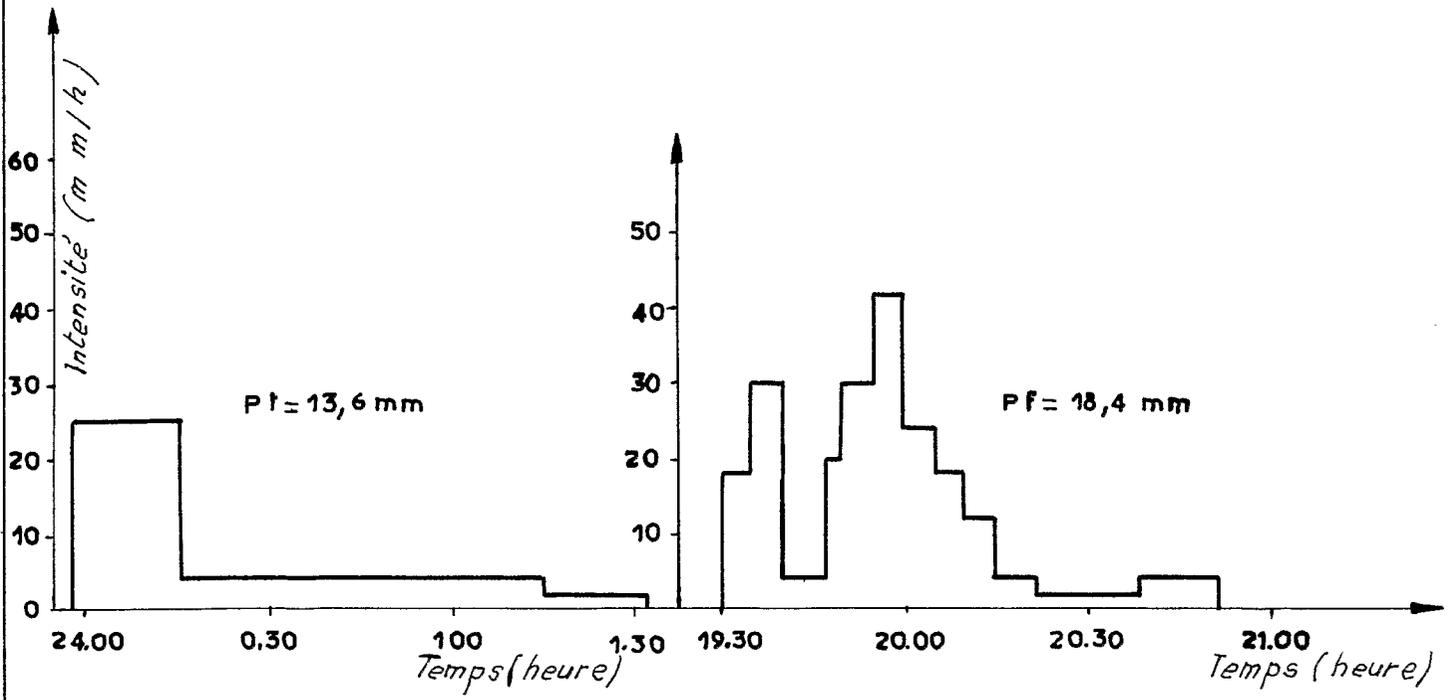
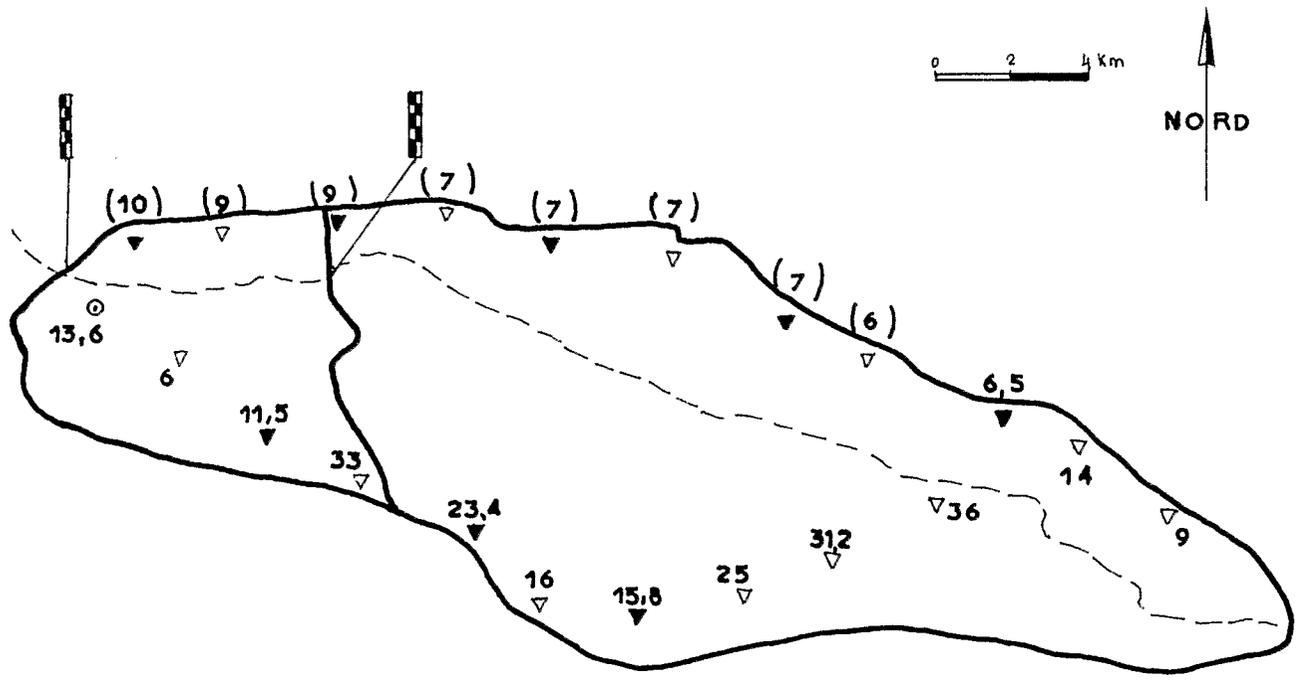
Date	N° de l'averse	T _a (jour)	P max (mm)	P min (mm)	P moy (mm)	K
28.7	1	18	36	6	16,0	0,44
	2	0	65,7	21	42,5	0,65
	1 + 2	18	96,9	27	58,5	0,60
1.8	3	4	3	0	0	-
2.8	4	1	48	4	26,5	0,55
3 + 4 + 5.8	5 + 6 + 7	1	24,8	1	9,9	0,40
8.8	8	3	10	2	4,2	0,42
10.8	9 + 10	2	24	6,9	15,2	0,63
21.8	11	11	2	0	0,6	0,30
23.8	12	3	4,6	0	1,6	0,35
1.9	13	9	22	0	9,5	0,43
2.9	14	1	20,8	4	9,8	0,47
7.9	15	6	48,6	4	20,2	0,42
Année	-		-	-	156,0	-

Tableau 11 : Caractéristiques des averses et des crues de l'année 1965
sur le bassin I de KADJEMEUR (245 km²).

Date	N° de l'averse	T _a (jour)	P max (mm)	P min (mm)	P moy (mm)	K	T total (h)	I max (mm/h)	N° de la crue	H max (m)	Q max (m ³ /s)	Vr (m ³)	Hr (mm)	Kr %	tm (h)	tb (h)
28.7	1	18	36	6	12,3	0,34	1.35	25								
	2	0	77,2	21	45,2	0,59	2.20	164								
	1 + 2	18	96,9	27	57,5	0,59	-	164	I 1	1,78	50 à 100	1850000 à 3610000	7,55 à 14,73	13,1 à 25,6	14.00	50
1.8	3	4	3	0	1	0,33	-	1								
2.8	4	1	48	0	21,0	0,44	0,10	12								
3+4+5.8	5+6+7	1	24,8	0,9	10,0	0,40	1.20	18	I 2	0,68	2,020	90860	0,37	7,0	12.30	37
									I 3	0,54	0,750	55000	0,22		9.30	46
8.8	8	3	10	0,3	4,6	0,46	2.50	12								
10.8	9 + 10	2	24	6,9	13,8	0,58	1.50	78	I 4	0,68	2,020	82370	0,34	2,5	7.00	39
21.8	11	11	3,5	0	1,1	0,31	0.10	30								
23.8	12	3	4,6	0	1,8	0,39	-	-								
1.9	13	9	22	0	9,0	0,41	3.00	30								
2.9	14	1	20,8	0,9	8,6	0,41	-	-								
7.9	15	6	48,6	4	18,0	0,37	2.45	30								
Année	-	330	96,9		146,4	-	-	164	-	1,78	50 à 100	2078000 à 3838000	8,48 à 15,66	5,8 à 10,7	-	172

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI KADJEMEUR

Première pluie du 28 Juillet 1965 N° 1



Hyétoqramme du pluviographe N° 1

Hyétoqramme du pluviographe N° 8

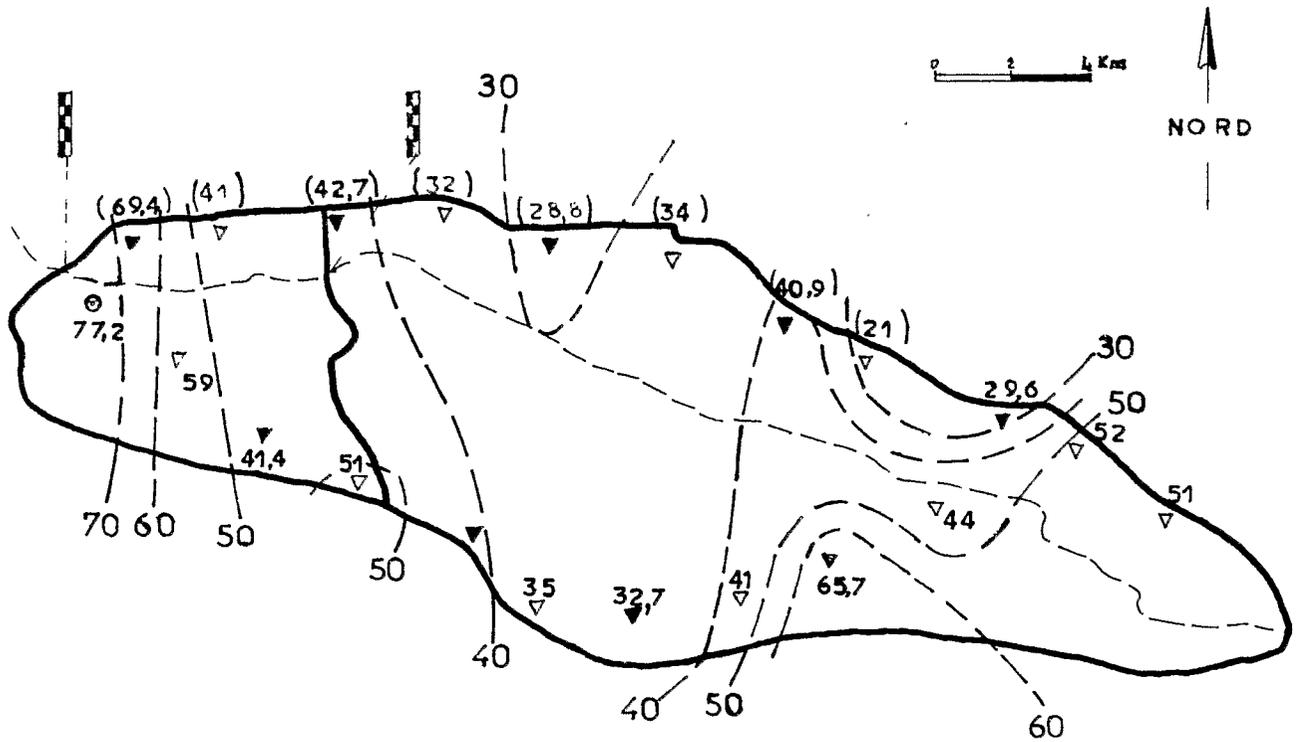
CRT 7578

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED: LE: 21-72-65 DES: S. NICOLÉ VISA TUBEN°

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI KADJEMEUR

Deuxième pluie du 28 Juillet 1965 N° 2

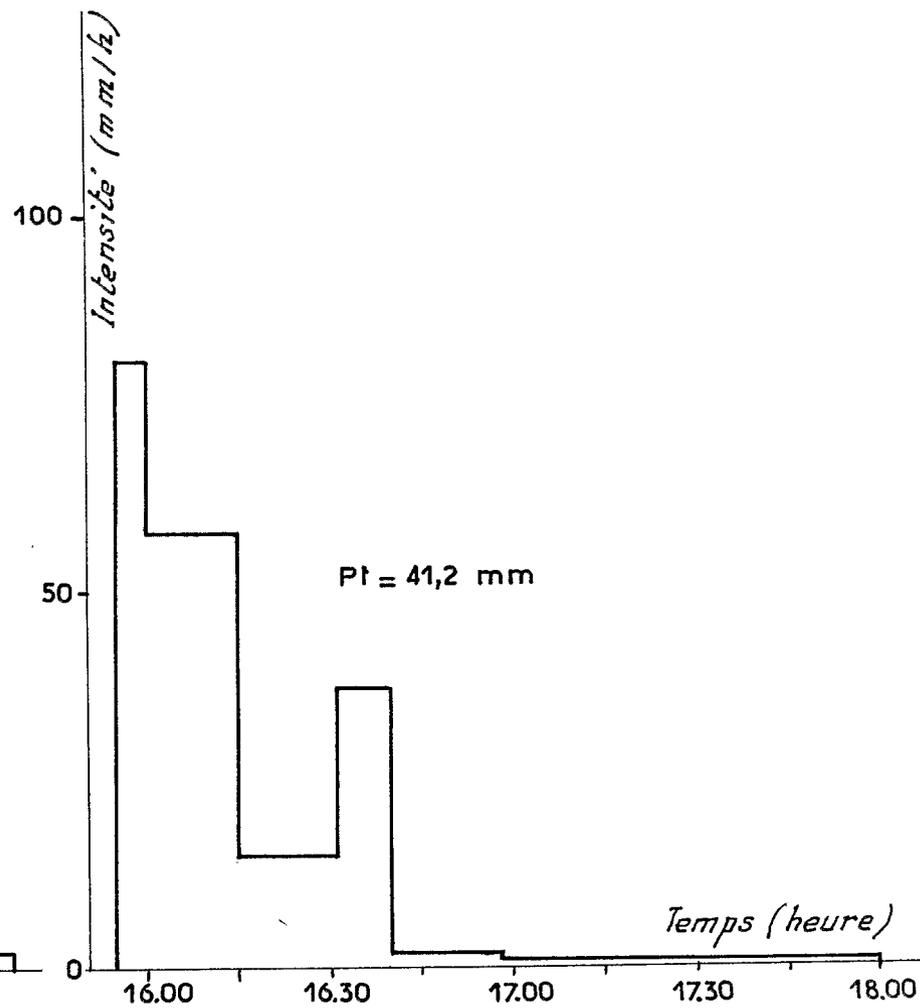
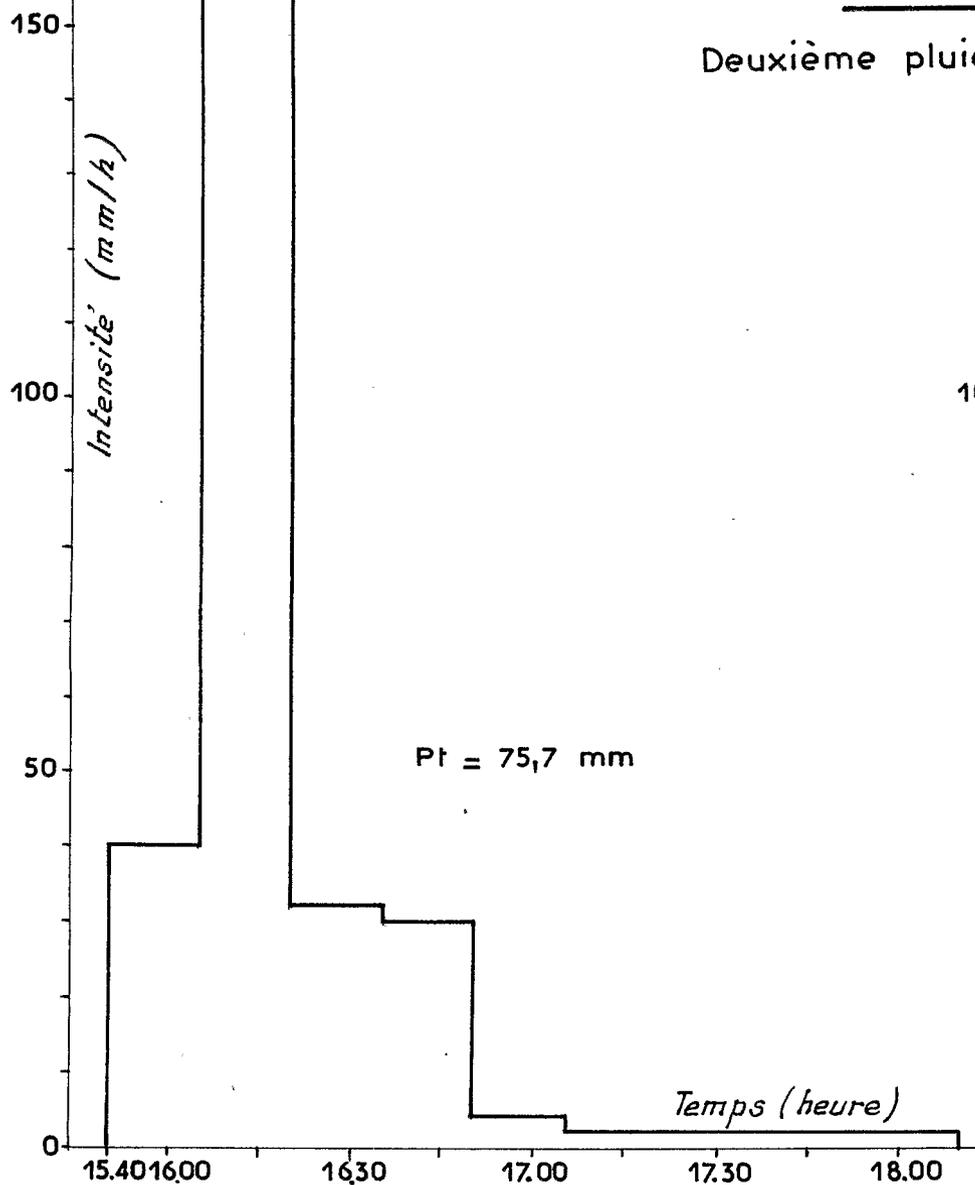


B.V.	P.max.	P.min.	P.moy.	K.
II	65,7	21	42,5	0,65
I	77,2	21	45,2	0,59

OUADI KADJEMEUR

Fig: 37

Deuxième pluie du 28 Juillet 1965-N° 2



Hyetogramme du pluviographe N° 1

Hyetogramme du pluviographe N° 2

CRT 7578

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 13-4-66

DES: S. NICOE

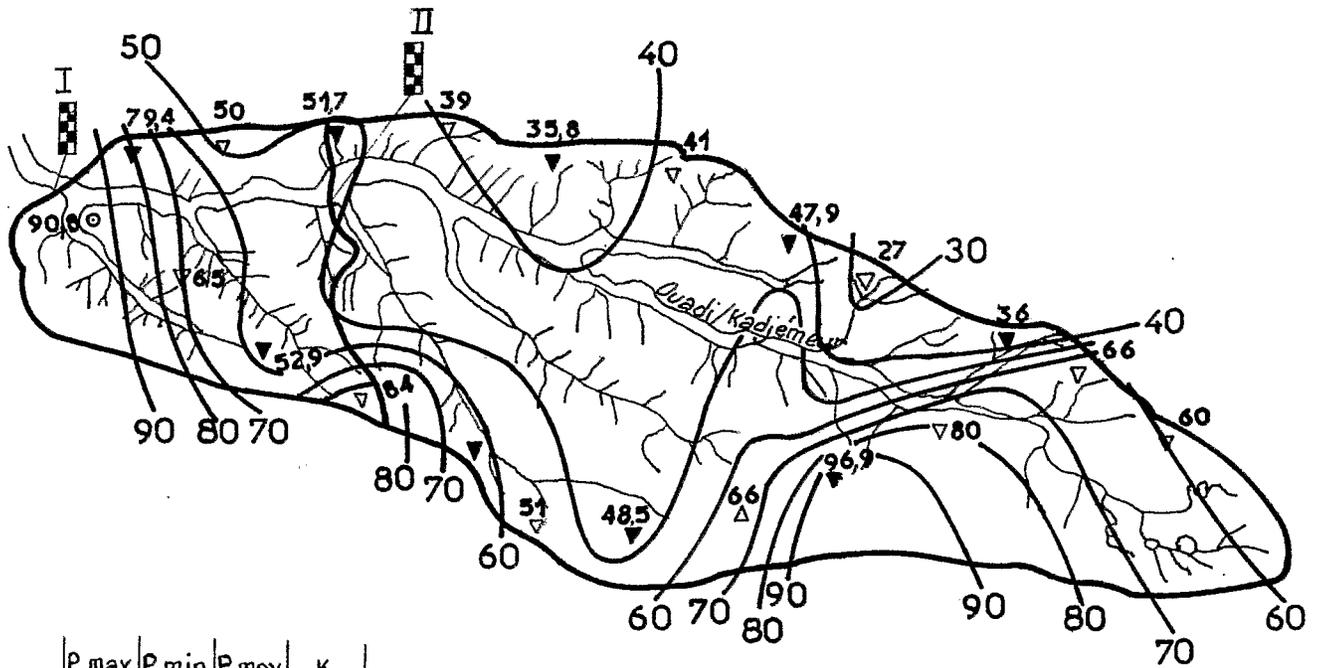
VISA:

TUBE N°

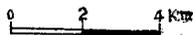
BASSIN VERSANT SUR L'OUADI KADJEMEUR

Isohyètes des 2 pluies cumulées du 28 Juillet 1965

N° 1+2



	P. max.	P. min.	P. moy.	K.
Bv : II	96.9	27	58,5	0,60
Bv : I	96.9	27	57,3	0,59



CRT 7578

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED: LE: 17-11 65 DES: S. NIGOE VISA TUBEN:

La première précipitation provoque une petite crue dont le débit maximal est de 2,02 m³/s. Elle advient sur un bassin desséché par plusieurs mois consécutifs sans pluie.

La seconde averse est responsable d'une très forte crue. La hauteur maximale atteint 1,78 m, le débit maximal est évalué entre 50 et 100 m³/s., ce qui permet d'avancer un volume écoulé approximatif de 1.850.000 à 3.610.000 m³ et un coefficient de ruissellement de 13 à 26 % calculé par rapport à la pluviométrie totale du 28 Juillet. Outre la hauteur exceptionnelle de cette seconde averse, l'importance de cette crue est due à un terrain favorable préparé par la première averse.

- Averse du 1er Août. N° 3.

Cette faible pluie n'intéresse que quelques pluviomètres. La hauteur maximale de précipitation est de 3 mm. Il est probable que la hauteur moyenne sur le bassin est inférieure à 1 mm (fig. 39).

- Averse du 2 Août. N° 4.

Tombée en fin d'après-midi cette averse montre une répartition spatiale particulière (fig. 40). La hauteur de pluie maximale, 48 mm, se situe à l'extrémité Est du bassin. Les hauteurs vont ensuite en décroissant jusqu'à la station I où il ne pleut pas du tout. La moitié Est reçoit plus de 20 mm.

La hauteur de précipitation moyenne est cependant élevée : 26,5 mm sur le bassin II et 21,0 sur le I.

La répartition de l'averse peut expliquer l'absence de crue à la station I.

- Averses du 3, 4 et 5 Août. N° 5, 6 et 7. Crues I₂ et I₃.

Sur une période de 28 heures, 3 pluies sont enregistrées au pluviographe n° 1 (fig. 41).

- 2,5 mm le 3 Août à 20 h 20 (N° 5)
- 6,0 mm le 4 Août à 19 h 45 (N° 6)
- 3,0 mm le 5 Août à 0 h 30 (N° 7)

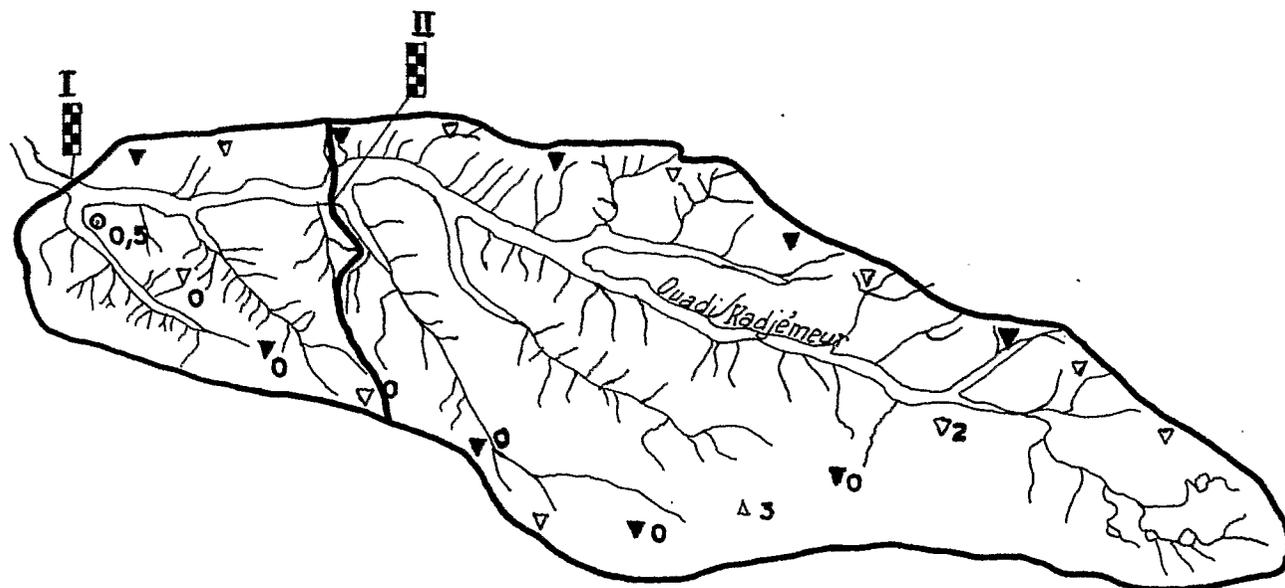
L'intensité maximale a lieu lors de la deuxième averse avec 18 mm/h.

Les hauteurs de ces trois précipitations sont cumulées sur la carte en courbes isohyètes (fig. 41). Les régions les plus arrosées se situent aux alentours de la station II et vers le Sud-Est du bassin.

.../...

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI KADJEMEUR

Pluie du 1^{er} Août 1965 - N° 3



0 2 4 km

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

CRT 7578

ED:

LE: 17-11-65

DES: S. NIGOE

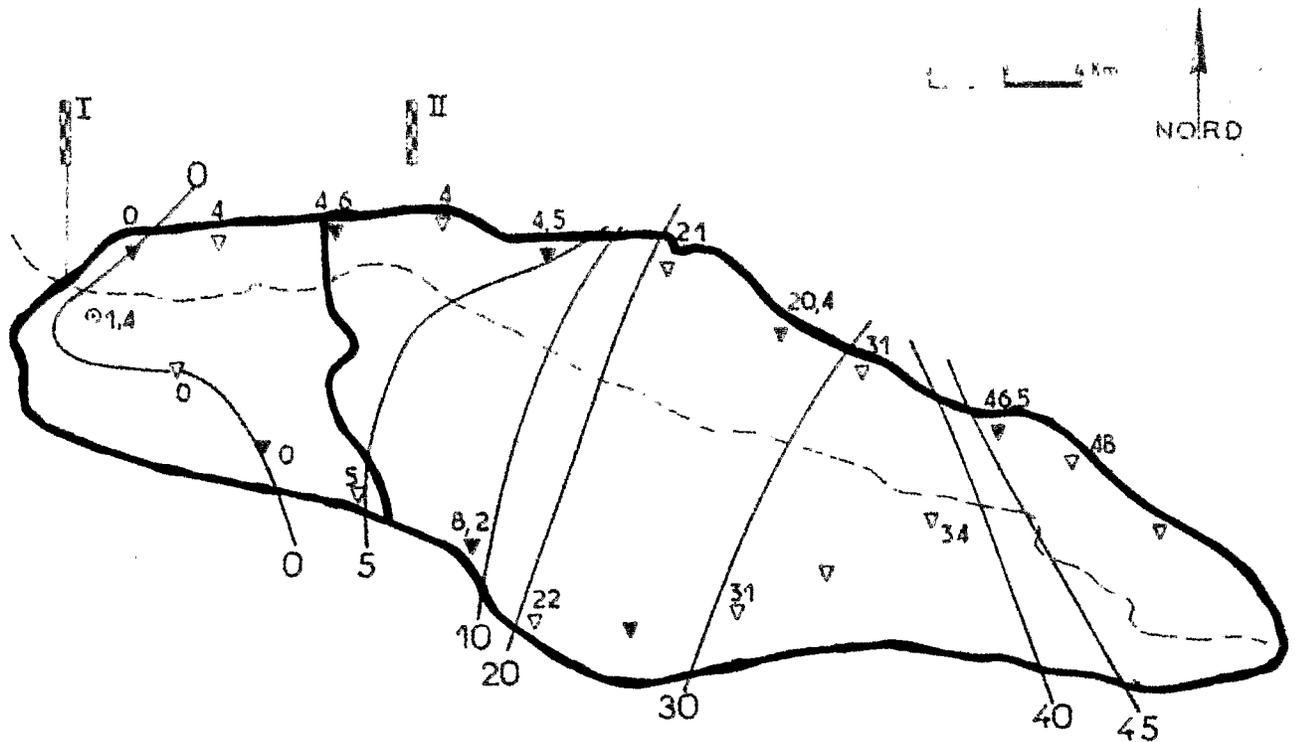
VISA

TUBEN°

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI KADJEMEUR

Fig:40

Isohyètes de la pluie du 2 Aout 1965 - N° 4



	P.max	P.min	P.moy	K
BV: II	48	4	26,5	0,55
BV: I	48	0,9	10,0	0,40

CRT 7578

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED

LE 21-12-65 DES S. NICOE VISA

TUBENT

	P max	P min	P moy	K
B.V II	24,8	1	9,9	0,40
B.V I	24,8	0,9	10,0	0,40

Ces averses sont à l'origine des crues I_2 et I_3 qui s'avèrent difficiles à analyser, car le pluviographe n° 8 a été détruit.

Le 4 Août à 5 heures l'écoulement commence à la station I. L'hydrogramme (I_2) présente deux pointes très distinctes (fig. 42). Cette crue est produite par la pluie du 3 Août mais les eaux doivent provenir d'assez loin étant donné le temps de réponse. On pourrait invoquer une pluie tombée le 4 au matin à l'Est de la station I, cependant un phénomène analogue se produit pour la crue I_3 du 6 au 7 Août (fig. 43). Alors que les dernières pluies n° 6 et 7 remontent à 23 h et 28 h, la crue I_3 parvient à la station I. L'hydrogramme présente deux pointes dues probablement à l'apport de différents affluents.

La crue I_2 atteint une hauteur maximale de 0,68 m soit un débit maximal de 2,02 m³/s. Le volume écoulé est de 90.860 m³.

La hauteur maximale de la crue I_3 est de 0,54 m soit un débit maximal de 0,75 m³/s. Le volume écoulé est de 55.000 m³.

Le coefficient d'écoulement de ces deux crues, calculé d'après la hauteur d'eau moyenne des 3 pluies cumulées est de 7,0%.

- Averse du 8 Août. N° 8.

Avec une hauteur moyenne de 4,6 mm, une intensité faible (fig. 44), cette précipitation n'est pas assez forte pour produire une crue.

- Averses du 10 Août. N° 9 et 10. Crue I 4.

Une première précipitation a lieu à 5 h 40 (fig. 45). Le corps de l'averse dure 20 minutes avec une intensité maximale de 18 mm/h. Elle n'est suivie d'aucune crue.

Une deuxième averse (N° 10) se produit de 12 h 35 à 13 h 55. Elle présente une intensité de 78 mm/h (fig. 45).

Ces deux pluies sont mesurées ensemble sur le bassin. La région la plus arrosée correspond au tiers Est du bassin (fig. 45). La hauteur de pluie moyenne est de 13,8 mm. Le coefficient d'abattement de 0,58 apparaît relativement élevé.

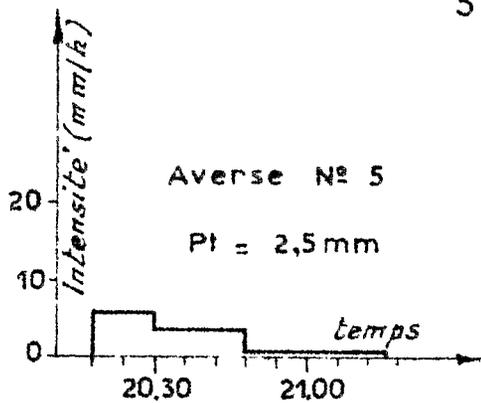
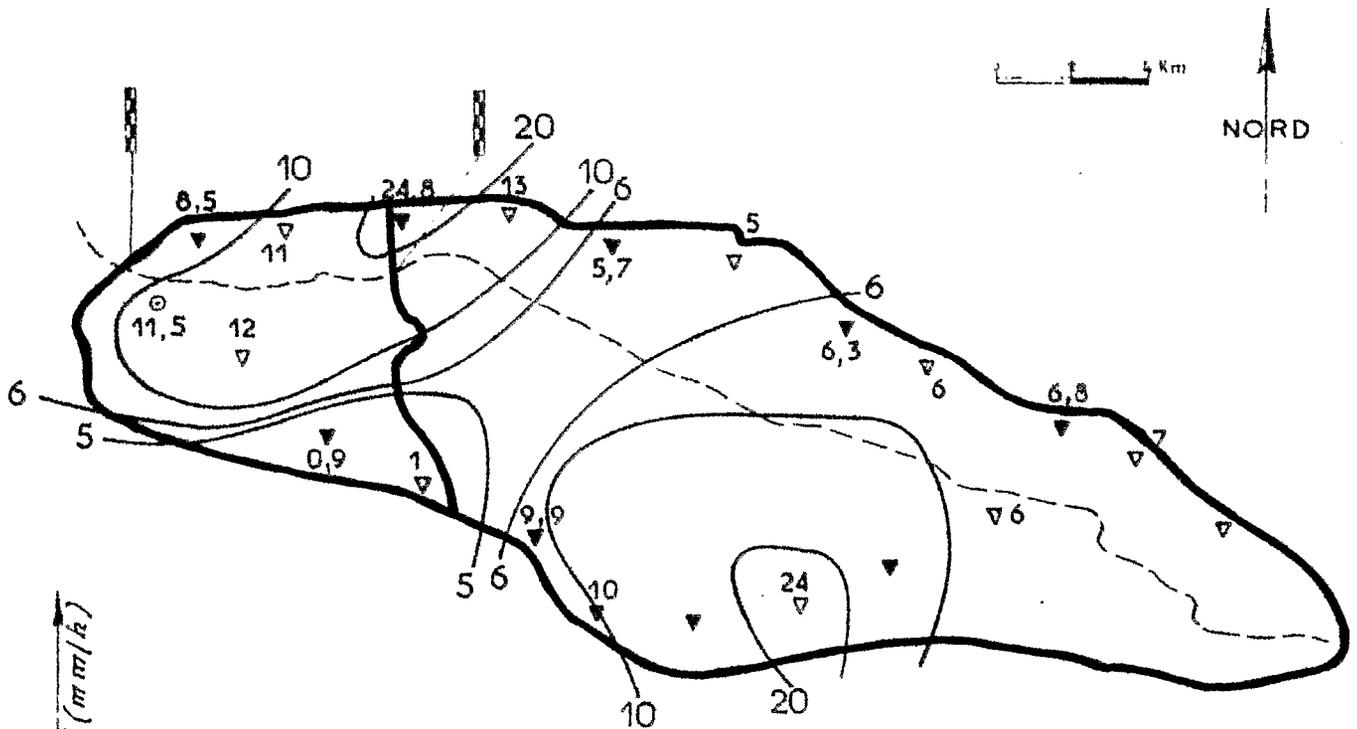
.. / ...

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI KADJEMEUR

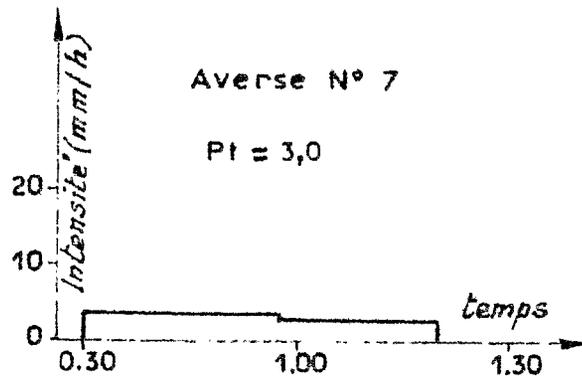
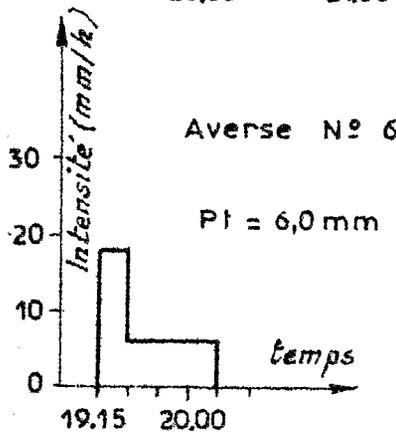
Fig: 41

Isohyètes des pluies cumulées du 3, 4 et 5 Août 1965

N° 5 + 6 + 7



	P. max.	P. min.	P. moy.	K
B v: II	24,8	1	9,9	0,40
B v: I	24,8	0,9	10,0	0,40

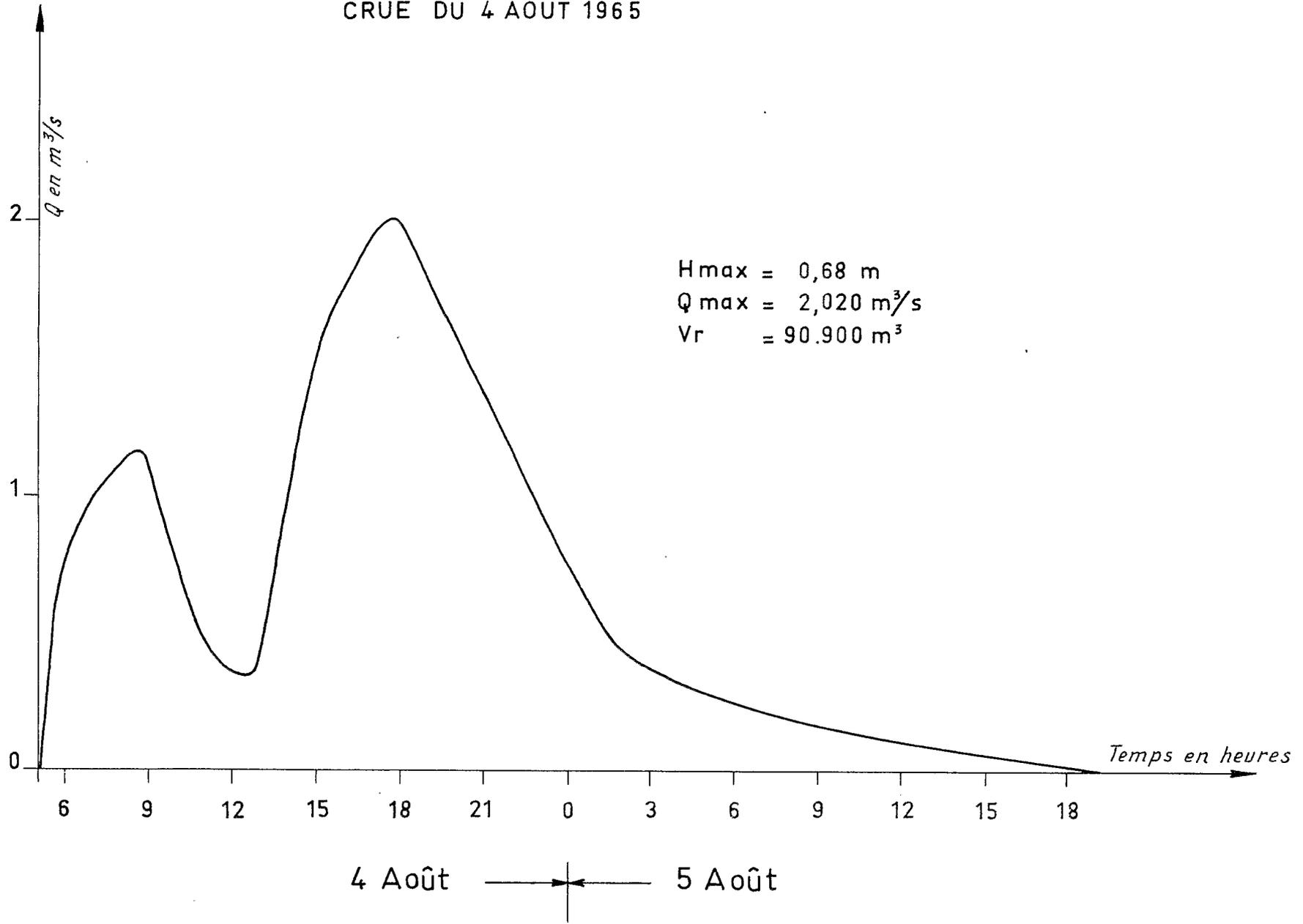


Hyétogramme au pluviographe N° 1

OUADI KADJMEUR à la STATION I

Fig:42

CRUE DU 4 AOÛT 1965

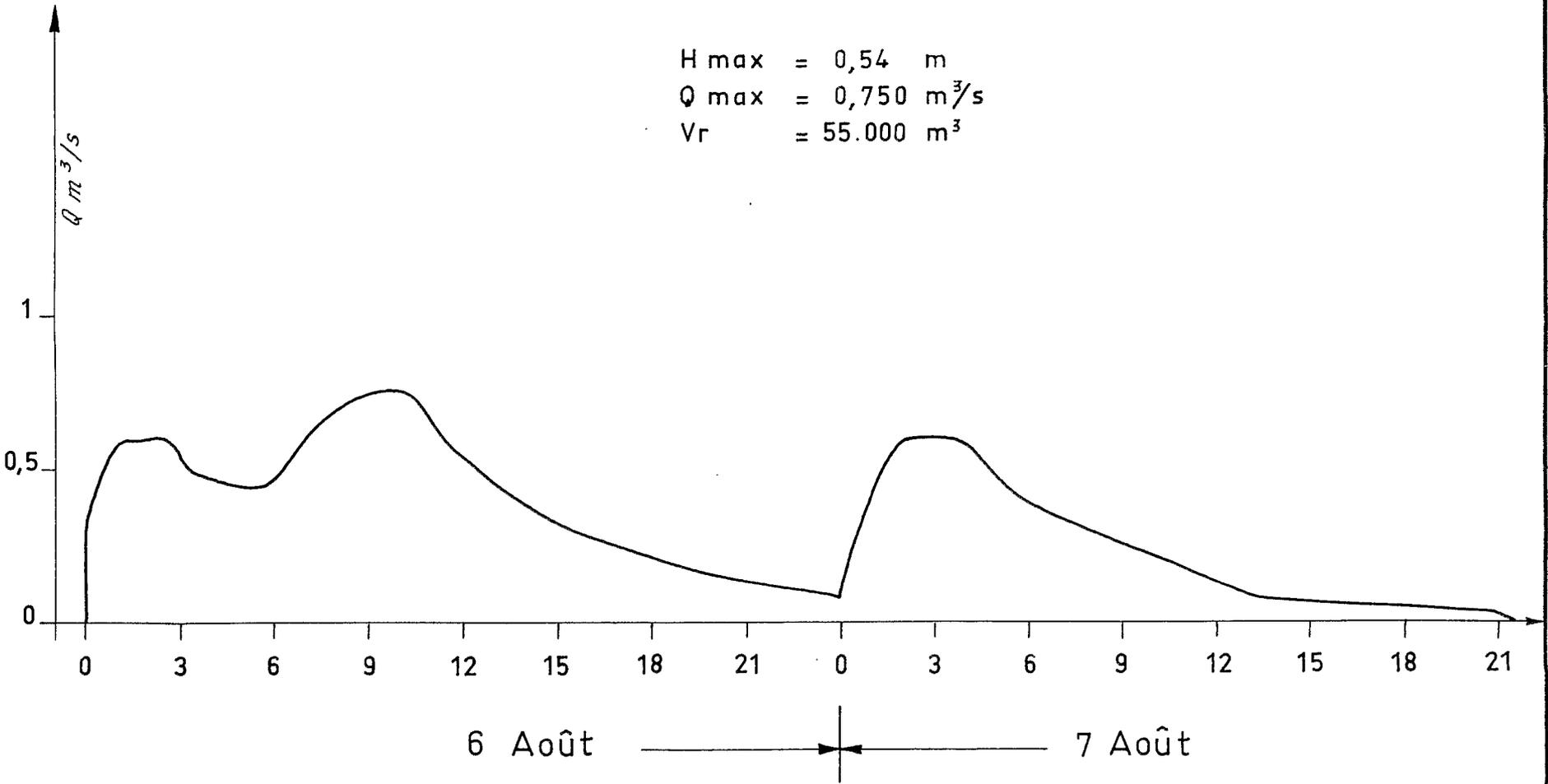


OUADI KADJMEUR à la STATION I

Fig : 43

CRUES DU 6 et 7 AOÛT - N° I 3 -

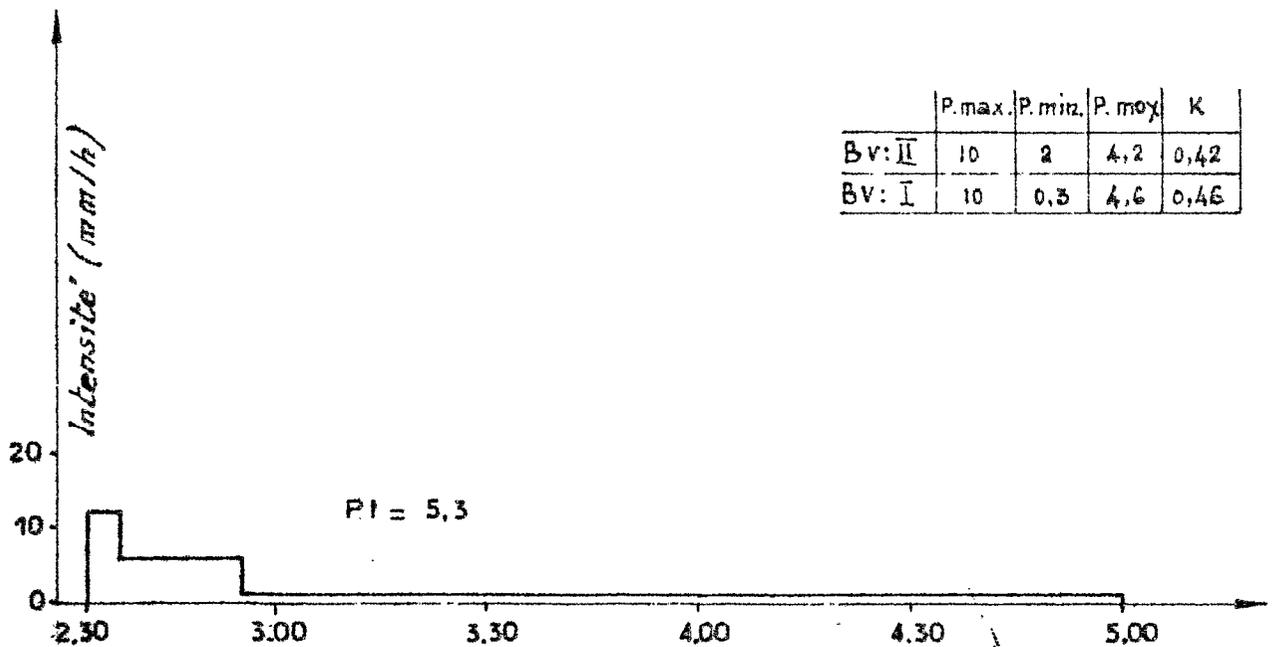
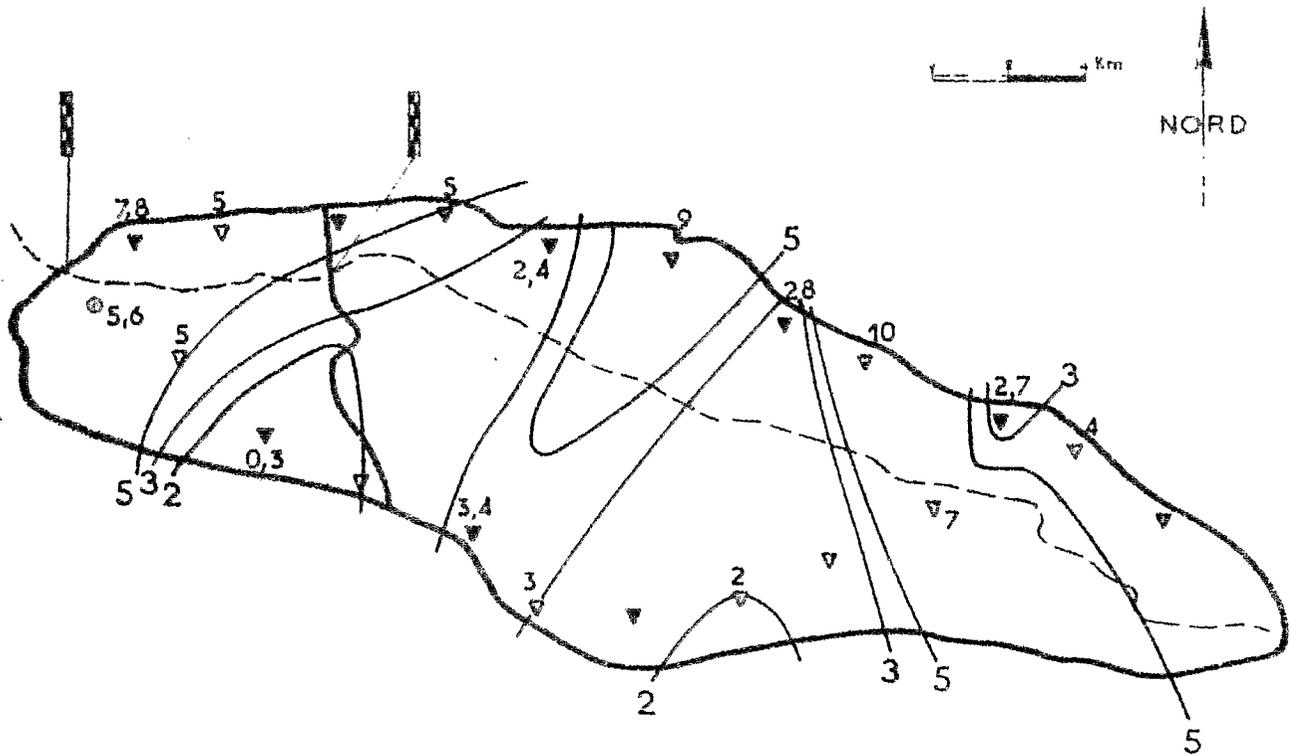
H max = 0,54 m
Q max = 0,750 m³/s
Vr = 55.000 m³



BASSIN VERSANT SUR L'OUADI KADJEMEUR

Fig. 44

Isohyètes de la pluie du 8 Août 1965 - N° 8



	P. max.	P. min.	P. moy.	K
Bv: II	10	2	4,2	0,42
Bv: I	10	0,3	4,6	0,46

Hyetogramme du pluviographe N° 1

CRT 7578

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED.

LE: 21-12-65

DES: S. NICDE

VISA

TUBE N°

La deuxième précipitation est suivie de la crue I 4 (fig. 46). Un faible écoulement dû à un apport local se produit dès la fin de la pluie. L'ouadi ne coule plus depuis 6 heures lorsqu'un apport plus lointain arrive à la station. L'hydrogramme est régulier et légèrement tronqué. La hauteur maximale atteint 0,68 m, ce qui correspond à un débit maximal de 2,02 m³/s. Le volume total écoulé est de 82.370 m³. Le coefficient d'écoulement avec 2,5% apparaît faible, il est cependant calculé en tenant compte des deux pluies, mais il semble bien que seul le tiers Est du bassin ait ruisselé, ce qui est bien en rapport avec le temps de réponse très long.

Cette crue est la dernière de l'année.

- Averses du 21 Août au 7 Septembre. N° 11 à 15

Une période de sécheresse de 11 jours fait suite à la pluie du 10 Août.

Les averses qui lui succèdent sont si faibles qu'elles sont non seulement incapables de produire un écoulement mais aussi insuffisantes pour modifier de façon sensible l'humidité du sol. La pluie n° 11 du 21 Août a une hauteur moyenne de 1,1 mm (fig. 47), celle n° 12 du 23 Août de 1,8 mm. Ces valeurs sont du même ordre sur le bassin II (fig. 48).

L'averse n° 13 du 1er Septembre (fig. 49) malgré une hauteur moyenne de 9,0 mm et un coefficient d'abattement de 0,41, ne produit pas la moindre crue à la station I. L'épicentre de l'averse se situe à l'extrémité du bassin. Cette précipitation vient après trois semaines de sécheresse.

L'averse n° 14 du 2 Septembre (fig. 50) avec une hauteur moyenne de 8,6 mm et un coefficient d'abattement de 0,41 n'est suivie d'aucune crue malgré un terrain déjà plus favorable. Sur le bassin II, les caractéristiques pluviométriques sont légèrement plus favorables.

La pluie du 7 Septembre est plus importante (fig. 51). Elle tombe en deux temps, le premier constituant le corps de l'averse avec une intensité maximale de 30 mm/h. La hauteur de précipitation moyenne est de 18,0 mm sur le bassin I et 20,2 mm sur le II. C'est encore la moitié Ouest la moins arrosée, l'averse étant centrée une fois de plus sur l'extrémité du bassin. Mais après 5 jours de sécheresse, il est normal qu'aucune crue ne se réalise.

5.3.- HAUTEURS ET DEBITS CLASSES - MODULES ET DEBITS MOYENS ANNUELS.

5.3.1.- Hauteurs d'eau classées.

La courbe des hauteurs d'eau classées des 4 crues de 1965 (fig. 52) permet de déduire les résultats suivants :

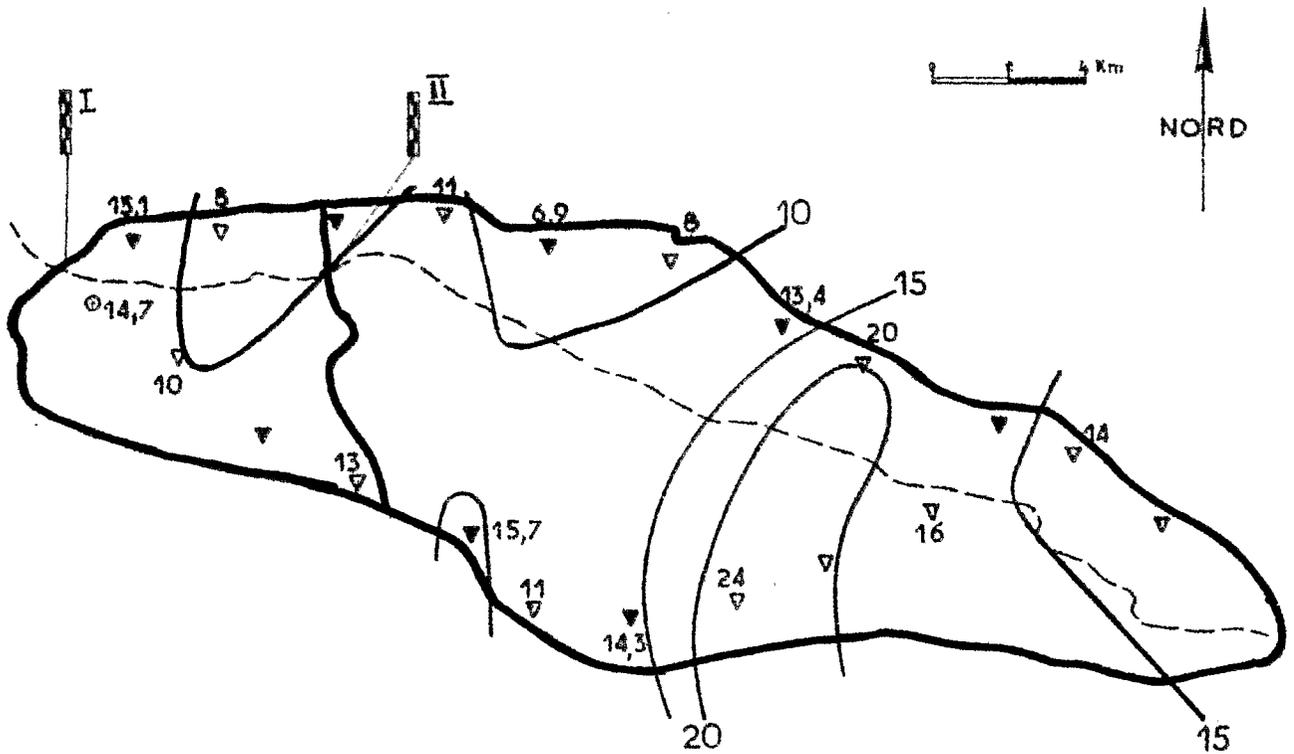
La hauteur d'eau est supérieure au zéro de l'échelle, c'est-à-dire qu'il y a accumulation ou écoulement d'eau dans le lit de l'ouadi pendant 296 heures soit pendant 12 jours. Excepté entre les crues I 2 et I 3 le lit est complètement asséché entre deux écoulements.

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI KADJEMEUR

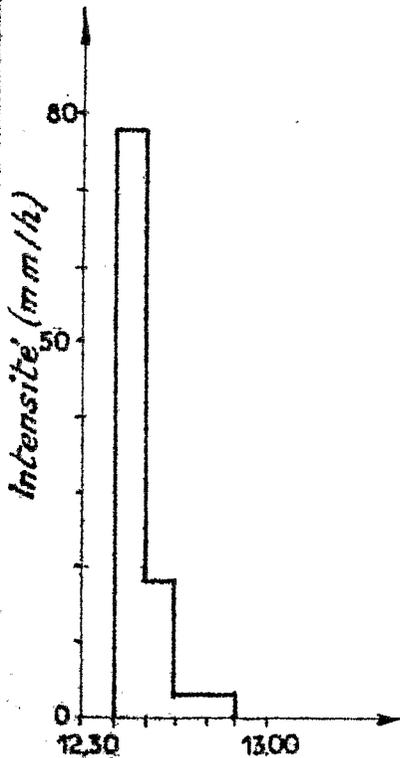
Fig:45

Isohyetes des pluies cumulées du 10 Août 1965

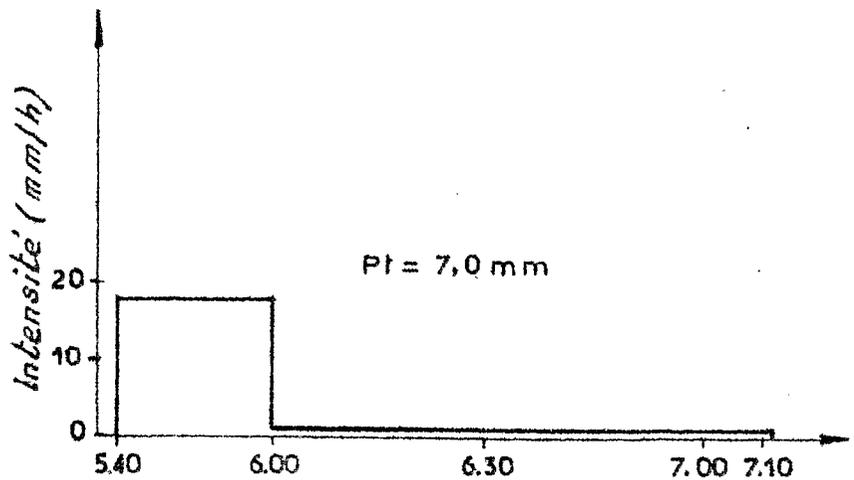
N° 9 + 10



	P. max	P. min	P. moy	K
Bv: II	24	6.9	15.2	0.65
Bv: I	24	6.9	13.8	0.58



Hyetogramme du pluviographe N° 1



Hyetogramme du pluviographe N° 1

CRT 7578

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED

LE 21-12-65

DES S. NICDE

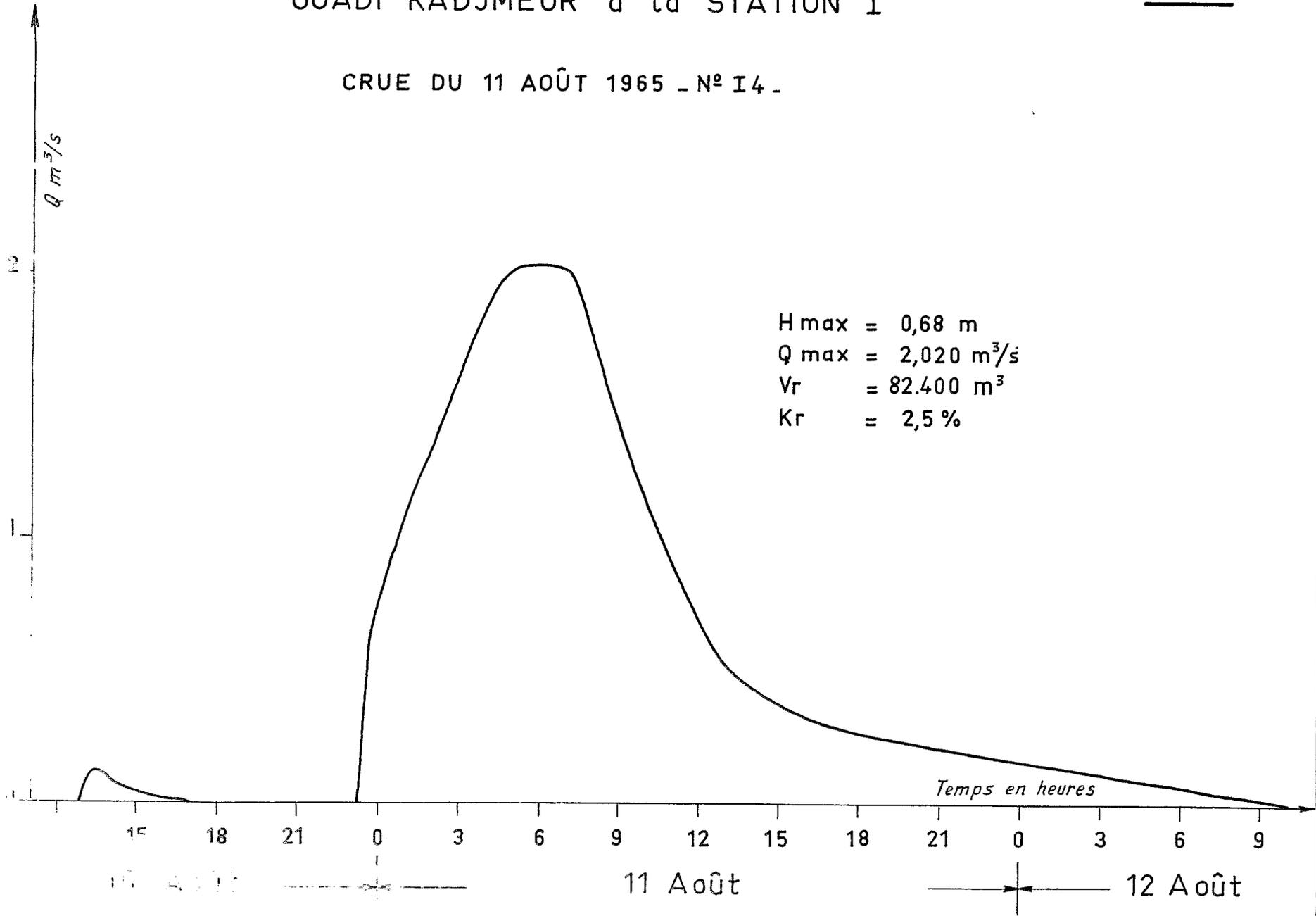
VISA

TUBEN°

OUADI KADJMEUR à la STATION I

Fig:46

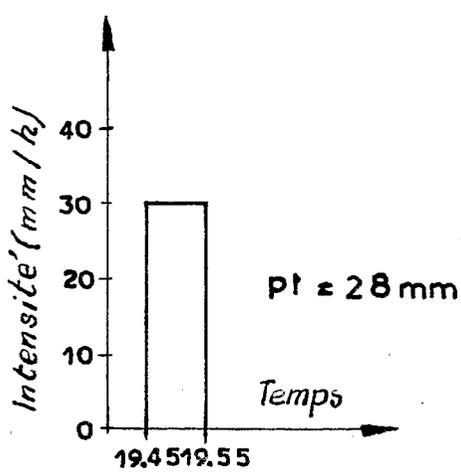
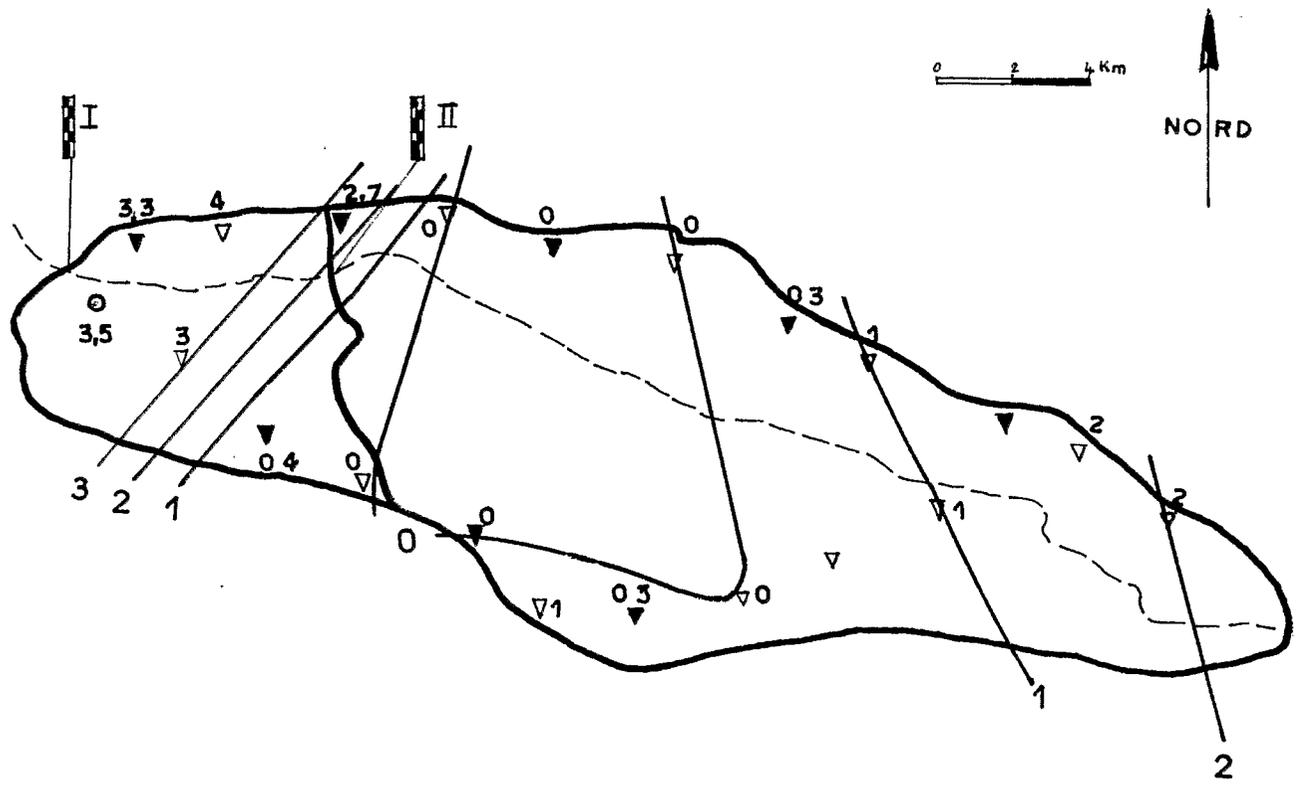
CRUE DU 11 AOÛT 1965 - N° I4 -



BASSIN VERSANT SUR L'OUADI KADJEMEUR

Fig: 47

Isohyètes de la pluie du 21 Août 1965 - N° 11



	P.max	P.min	P.moy	K.
Bv: II	2	0	0,6	0,30
Bv: I	3,5	0	1,1	0,31

Hyétogramme du pluviographe N° 1

CRT 7578

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

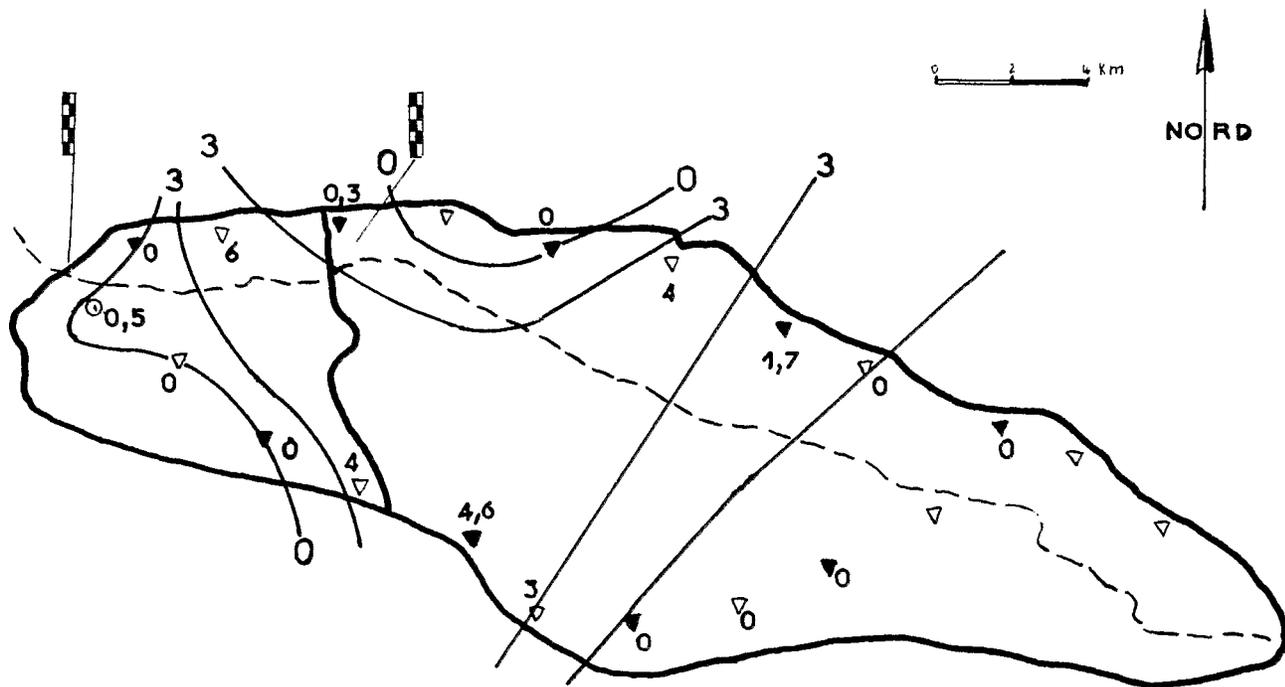
ED: LE: 21-12-65 DES: S: NICOE VISA TUBEN°

BASSIN VERSANT SUR LOUADI KADJEMEUR

Isohyètes de la pluie du 23 Août 1965

N° 12

Fig:48



	P.max	P.min	P.moy	k
Bv: II	4,6	0	1,6	0,35
Bv: I	4,6	0	1,8	0,39

CRT 7578

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 21-12-65

DES: S. NICOE

VISA

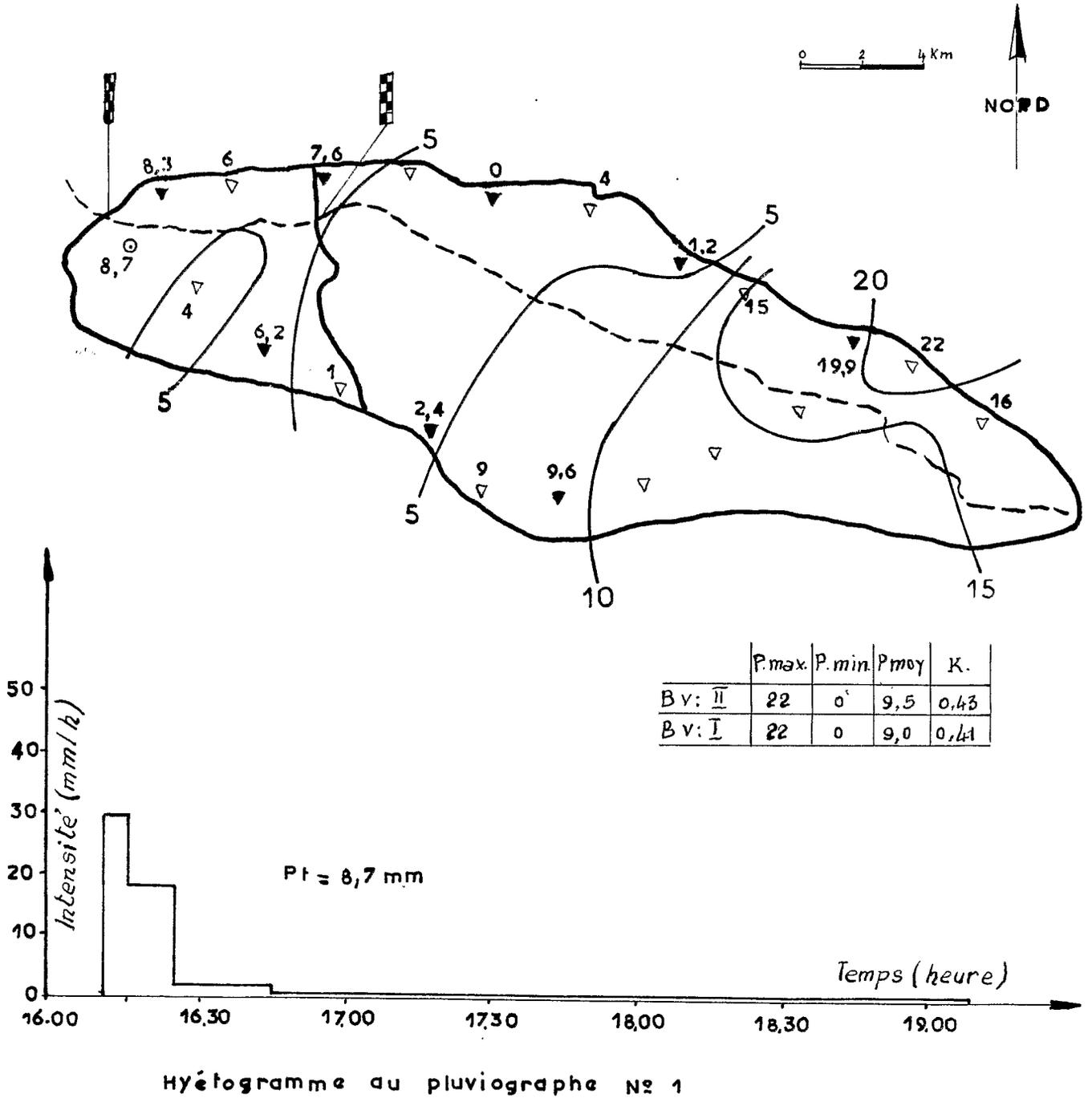
TUBEN°

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI KADJEMEUR

Fig: 49

Isohyètes de la pluie du 1^{er} Septembre 1965

N° 13



CRT 75 78

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 21-12-65

DES: S. NICOLÉ

VISA

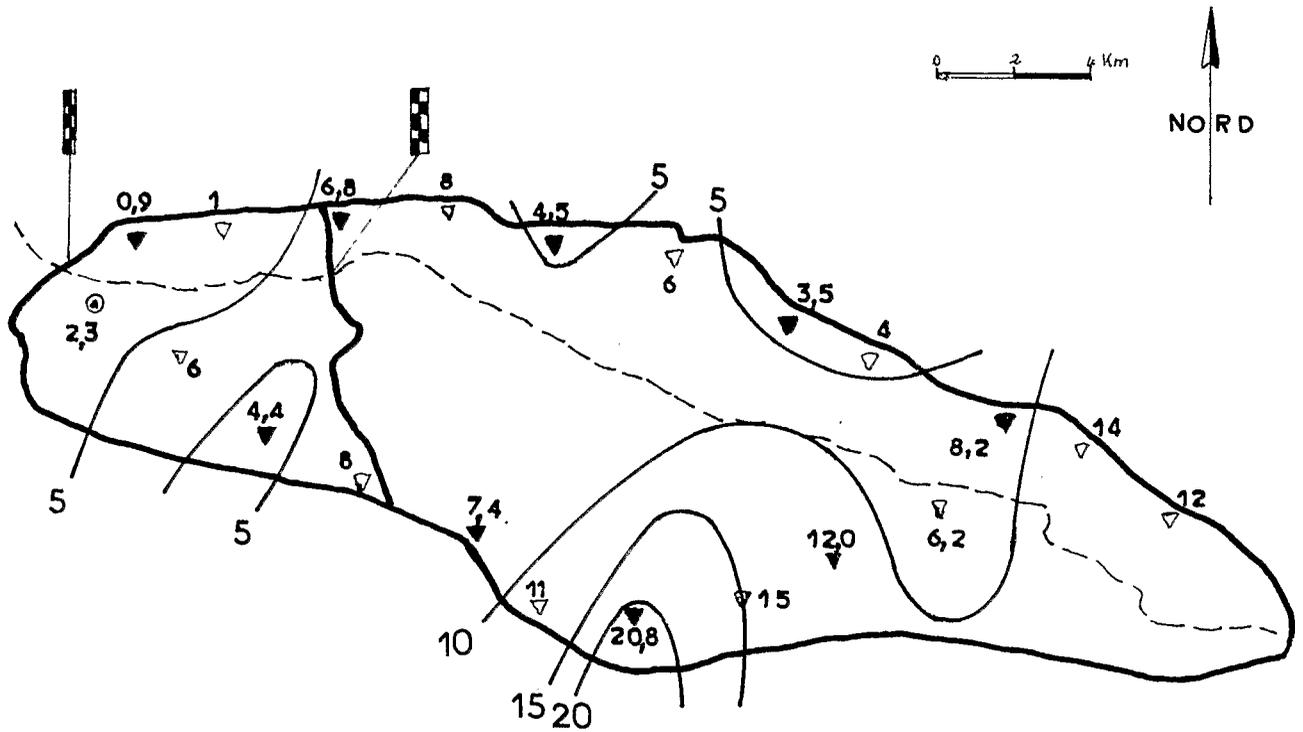
TUBEN°

BASSIN VERSANT SUR LOUADI KADJEMEUR

Fig:50

Isohyètes de la pluie du 2 Septembre 1965

N° 14



	P.max	P.min	P.moy.	K
Bv: II	20,8	4	9,8	0,47
Bv: I	20,8	0,9	8,6	0,41

CRT 7578

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 21-12-65

DES: S. NICOLE

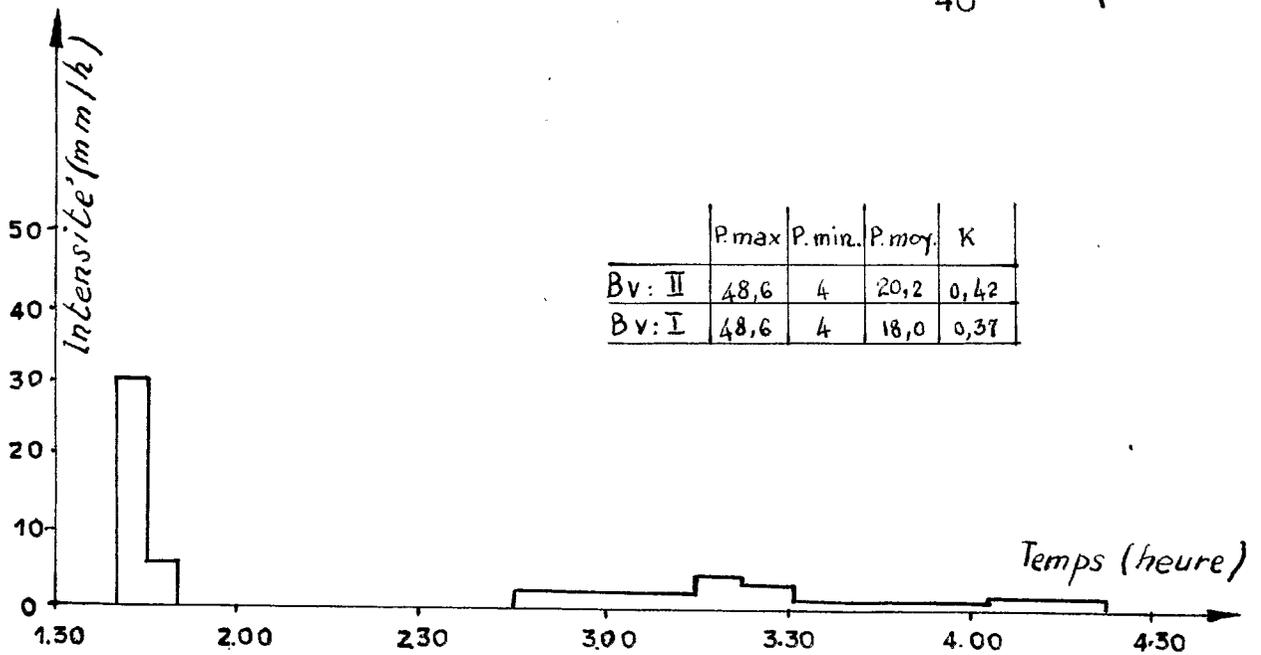
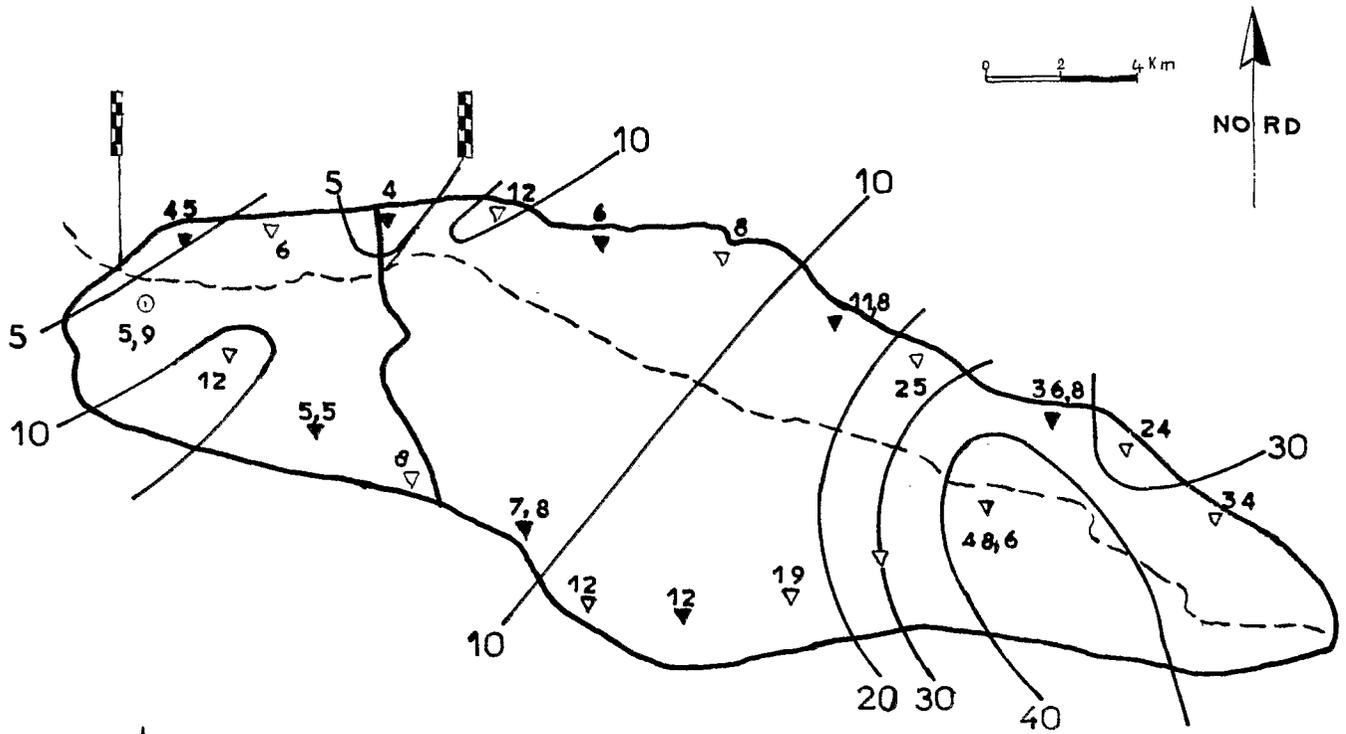
VISA

TUBEN°

BASSIN VERSANT SUR LOUADI KADJEMEUR

Fig: 51

Isohyètes de la pluie du 7 Septembre 1965
N° 15



Hyetogramme du pluviographe N° 1

CRT 7578

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED: LE: 21-12-65 DES: S. NICOLÉ VISA TUBEN°

La hauteur maximale atteinte est de 1,78 m.

La hauteur dépassée pendant 12 h est de 1,20 m et pendant 24 h de 0,68 m.

Pendant 148 heures (moitié de la période pendant laquelle la cote de l'eau est supérieure au zéro de l'échelle) la hauteur d'eau est supérieure à 0,34 m.

5.3.2.- Débits classés

La courbe des débits classés de toutes les crues de 1965 (fig. 52) tient compte du fait que nous estimons entre 50 et 100 m³/s. le débit maximal de la crue du 29 Juillet. On obtient ainsi deux courbes enveloppes pour les forts débits.

Le débit dépassé pendant 12 heures est ainsi évalué entre 15 et 30 m³/s., pendant 24 heures, il est voisin de 2,02 m³/s.

Pendant 86 heures, soit la moitié du temps de l'écoulement, le débit reste supérieur à 0,50 m³/s.

Le temps pendant lequel s'effectue l'écoulement est nettement inférieur à celui pendant lequel la hauteur d'eau est supérieure au zéro. Débutant seulement à partir de la cote 0,30, il s'effectue pendant 172 heures soit 7 jours.

Le volume annuel varie entre 2.080.000 m³ et 3.840.000 m³ suivant les estimations.

Le module annuel qui lui correspondrait serait compris entre 66 l/s et 122 l/s.

Les débits moyens mensuels seraient les suivants : Mars = 0, Avril = 0, Mai = 0; Juin = 0, Juillet = 690 l/s à 1.350 l/s, Août = 85 l/s. Le coefficient d'écoulement est compris entre 6 % et 11 %.

5.4.- DEBIT SOLIDE

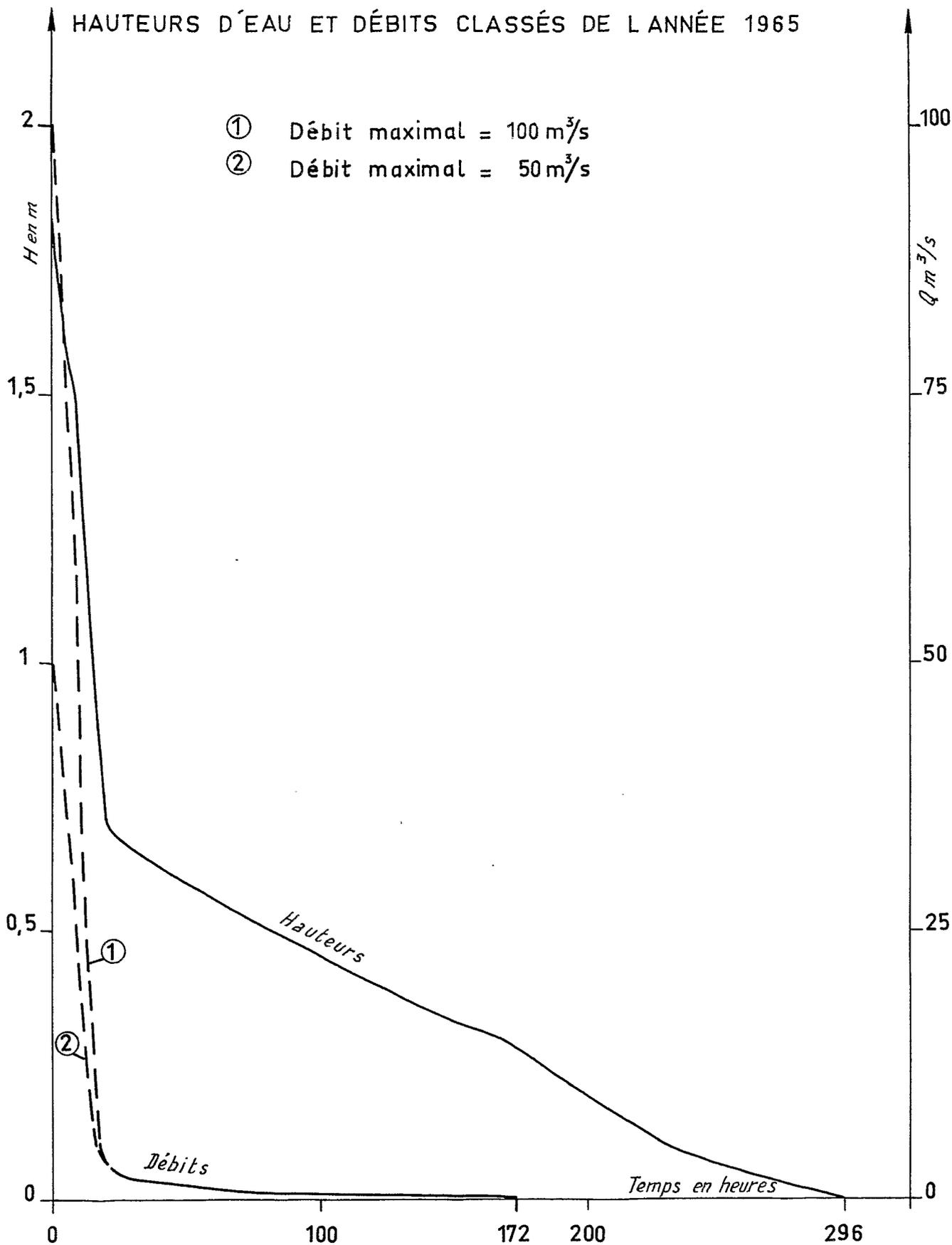
Les méthodes de prélèvements et de mesures de débit solide sont les mêmes que celles exposées dans l'étude du O. FERA.

5.4.1.- Débit solide en fonction de la hauteur d'eau.

8 mesures du débit solide sont effectuées du 29 Juillet au 11 Août 1965.

Les résultats rassemblés dans le tableau ci-dessous permettent de tracer la courbe de débit solide en fonction de la hauteur d'eau (fig. 53).

../...



Date	H (m)	Q (m ³ /s)	Qs (g/s)
11.8	0,42	0,26	43
11.8	0,45	0,33	71
11.8	0,50	0,50	115
11.8	0,60	1,01	268
11.8	0,60	1,01	273
11.8	0,65	1,80	810
29.7	0,68	2,02	960
4.8	0,68	2,02	960

5.4.2.- Poids et volume de matière transportée en suspension

Les courbes de débit solide en fonction du temps permettent par planimétrage d'évaluer le poids de matière solide transportée en suspension lors des petites crues

I 2 : 28,1 tonnes

I 3 : 11,4 tonnes

I 4 : 27,7 tonnes

Soit un total de 67 tonnes. Il est très délicat d'évaluer le poids transporté par la grande crue I 1, disons qu'il est de l'ordre de 500 à 1.100 tonnes.

En conclusion, en adoptant une densité apparente de 1,7, nous estimons le poids total annuel de sédiments entre 500 et 1.200 tonnes soit un volume de sédiments de l'ordre de 290 à 710 m³ pour l'année 1965.

5.5.- ETUDE DE LA NAPPE AQUIFERE

5.5.1.- Résultats géophysiques

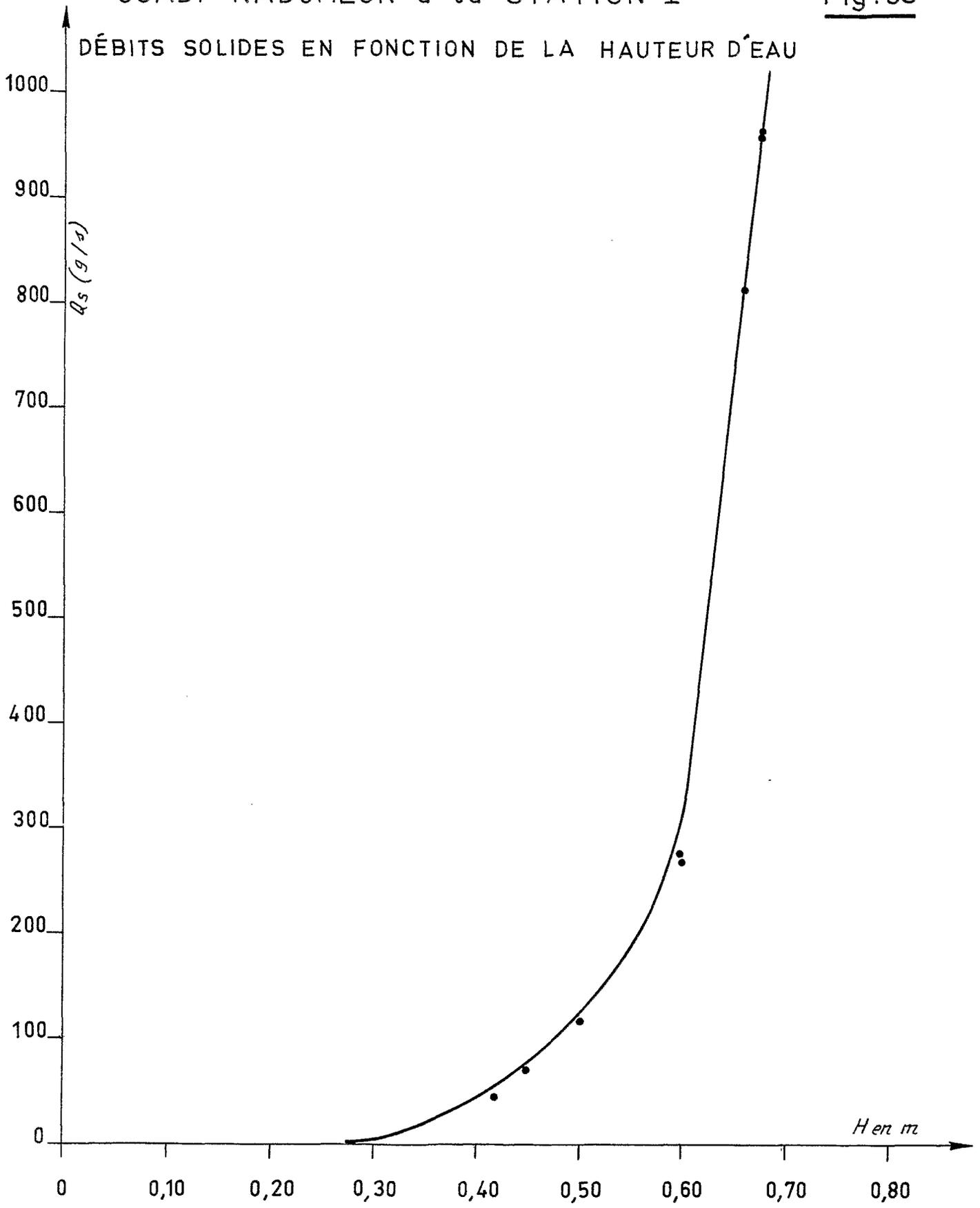
Une campagne de prospection par sismique réfraction a été effectuée par la C.G.G. à la station I de KADJEMEUR.

Les coupes géophysiques et géologiques * permettent de préciser l'hydrogéologie du site de barrage et de choisir éventuellement l'emplacement de nouveaux piézomètres. La position des coupes et des piézomètres est mentionnée sur la fig. 54.

..//...

* Etudes hydrologiques dans l' Ouaddaï par prospection géophysique et sondages de reconnaissance 1965.

DÉBITS SOLIDES EN FONCTION DE LA HAUTEUR D'EAU



La nappe aquifère se situe dans les alluvions quaternaires qui remblaient le lit ancien de l'Ouadi. Ces alluvions sont principalement des sables argileux, des sables plus ou moins grossiers souvent riches en feldspaths, graviers et galets. Au PZ 1, 18 m de telles alluvions reposent sur les granites sains. Au PZ 2 leur épaisseur atteint 11,85 m.

La particularité du site de KADJEMEUR est l'existence d'une brèche de faille qui crée un dyke dans le paysage. L'Ouadi a entaillé ce relief qui se retrouve cependant sous les sables actuels où il constitue un barrage naturel à la nappe d'inféoflux. Les réserves aquifères se trouvent ainsi favorisées, ce d'autant plus qu'il existe un surcreusement du socle au pied du filon.

Cette disposition géologique se rencontre en d'autres points du bassin sur lequel les brèches de failles ou filons sont nombreux.

A KADJEMEUR, les PZ 1, PZ 2 et le puits cimenté sont situés en amont du dyke alors que le PZ 3 est placé en aval, dans un système aquifère distinct. Ils sont tous implantés au voisinage de l'axe creux du substratum mis en évidence par l'étude géophysique, c'est-à-dire là où l'épaisseur de la nappe est la plus grande.

5.5.2.- Variations du niveau piézométrique de la nappe.

Les mesures du niveau dynamique dans les piézomètres et le puits cimenté sont présentées en annexe.

Les variations du niveau dynamique de la nappe dans les piézomètres apparaissent bien synchronisées et en relation directe avec les écoulements de surface (fig.55) La crue I 1 provoque, dès son passage, une remontée générale et rapide qui se continue après les suivantes I 2 et I 3. Le dernier écoulement I 4 provoque le maximum de remontée.

L'influence de la distance du piézomètre au lit du Ouadi se fait sentir, d'une part sur le temps de réponse, d'autre part sur l'amplitude de la remontée. Dans le PZ 3 et PZ 2, proche de l'Ouadi, le niveau piézométrique s'élève immédiatement lors du passage des crues. On observe une descente notable au PZ 3 après la crue I 2 et I 3. Ce phénomène sera expliqué dans l'étude de SOFOYA où il apparaît plus nettement. Le maximum s'observe immédiatement après la dernière crue alors qu'au PZ 2 se note un décalage de 5 jours. Dans le PZ 1 et le puits, plus éloignés du Ouadi, les mouvements de la nappe sont atténués et se réalisent avec un décalage de temps plus important. Les maximums de remontée sont atteints 12 jours après la dernière crue au PZ 1 et un mois dans le puits.

Il est possible de se faire une idée des hauteurs de recharges maximales de la nappe d'après les mesures effectuées à la fin de Mai 1965. Le niveau piézométrique a cependant continué à s'abaisser jusqu'aux premières pluies de la fin de Juillet et l'on obtient ainsi des valeurs par défaut :

PZ 1 > 2,28 m

PZ 2 > 0,96 m

PZ 3 > 0,70 m

Puits > 0,52 m

.../...

Compte tenu du type de sédiment, on peut évaluer les coefficients d'emmagasinement compris entre 5 et 15%, ce qui permet de calculer les modules de recharge suivant (valeur par défaut) :

PZ 1	1.140 m ³ /hectare	< V <	3.420 m ³ /hectare
PZ 2	480 m ³ /hectare	< V <	1.440 m ³ /hectare
PZ 3	350 m ³ /hectare	< V <	1.050 m ³ /hectare
Puits	260 m ³ /hectare	< V <	780 m ³ /hectare

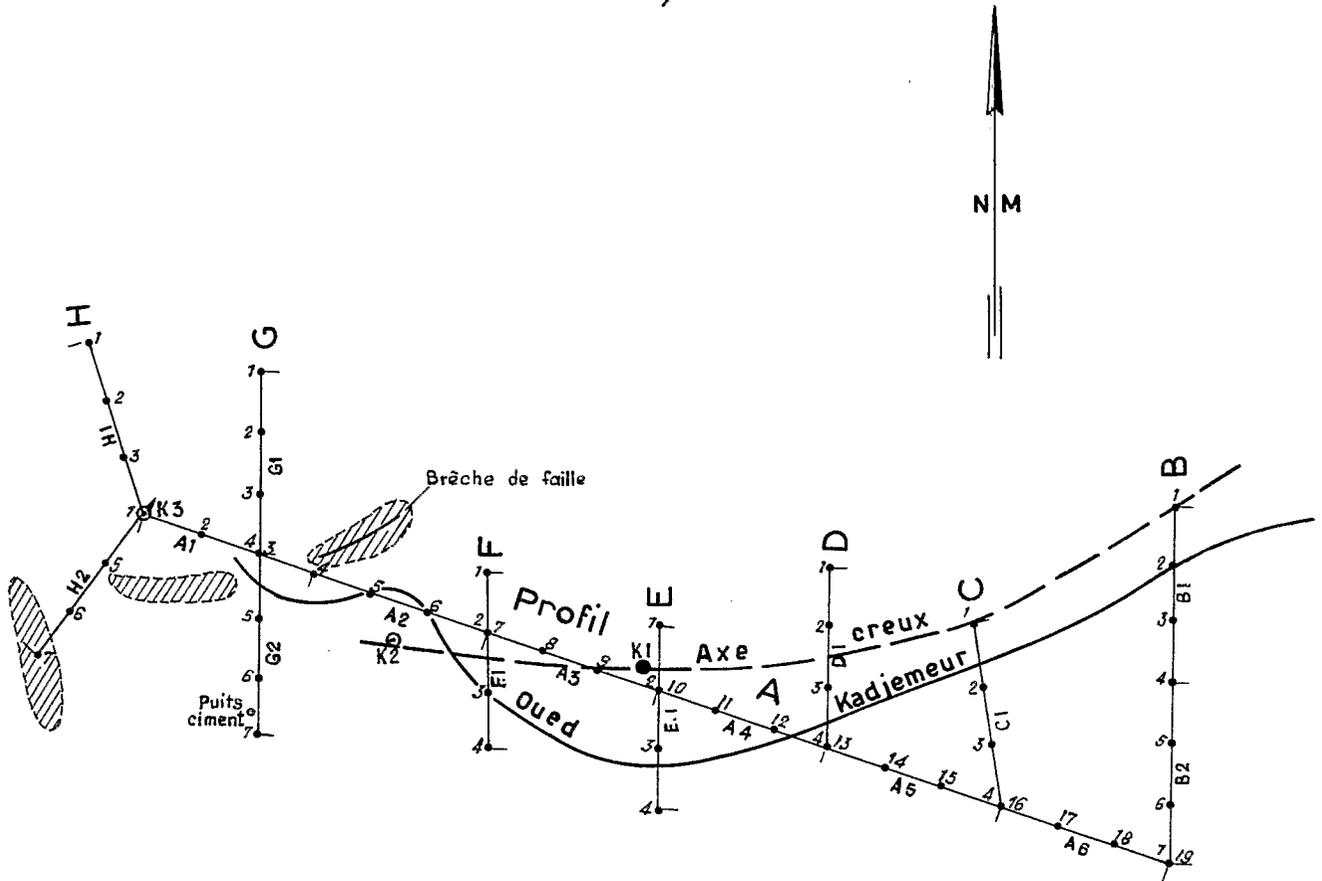
La décharge est par contre très importante. Dès Octobre 1965, la nappe redescend aux cotes où elle était en Mai. Ceci amène à penser que la recharge de l'année 1965 est beaucoup plus faible que celle de l'année précédente. On note d'ailleurs une curieuse accélération de la décharge.

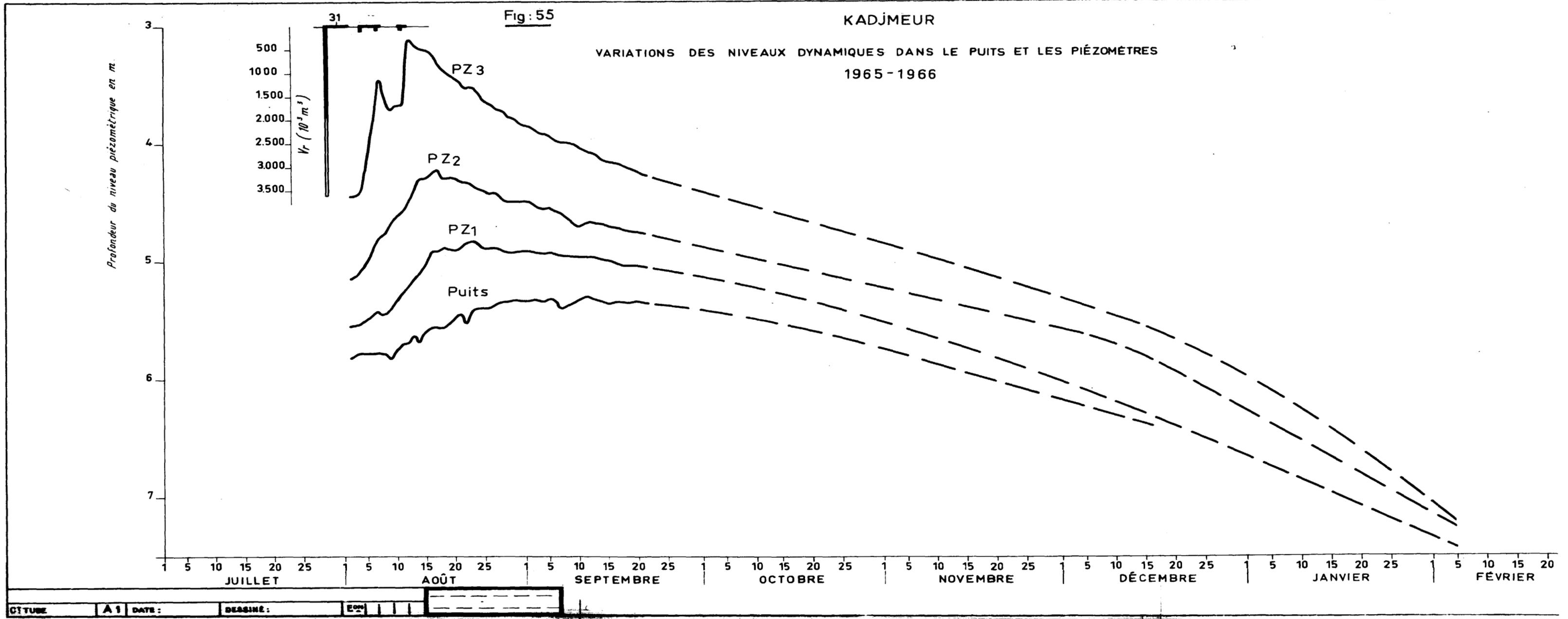
PLAN DE POSITION

KADJEMEUR

(Reproduction de l'étude effectuée par la
Compagnie Générale de Géophysique)

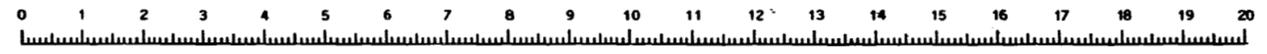
Echelle: 1/10.000^e





CITUE A 1 DATE : DESSINÉ : E

Cette mire doit être lisible dans son intégralité
 Pour A0 et A1: ABERPFTHLIJDQCGQUVWMNSZXY
 zsaecmuvnw xir fkhbdpqqy jlt 7142385690
 Pour A2A3A4: ABERPFTHLIJDQCGQUVWMNSZXY
 zsaecmuvnw xir fkhbdpqqy jlt 7142385690



6 - BASSINS VERSANTS SUR L'OUADI SOFOYA

6.1.- EQUIPEMENT HYDROMETRIQUE

6.1.1.- Station I

- Situation et description

Elle est installée à proximité de BIR NIELETTE sur l' O. SOFOYA.

Latitude 16° 04' N.

Longitude 20° 56' E.

L'altitude de la station doit être voisine de 450 m.

Un limnigraphe OTT, type XV à rotation journalière, installé le 5 Juillet 1965, enregistre les crues. Il est doublé d'une échelle de contrôle.

250 m de digue en rive droite, 30 m en rive gauche et une passerelle de 25 mètres permettent les jaugeages des hautes eaux.

La section paraît relativement stable et comporte un lit mineur sableux, profond d'environ 1,5 mètre dont les berges bien marquées le distinguent en rive droite d'une plaine d'inondation de 250 m de large.

- Etalonnage (fig. 58)

18 jaugeages ont été effectués en 1965. Ces résultats sont rassemblés sur le tableau 12. Réalisés du 28 Juillet au 7 Septembre, ils se situent entre les cotes 0,28 et 1,43 m ce qui correspond respectivement au début de l'écoulement et à un débit de 9,600 m³/s. La hauteur maximale observée a été de 1,45 m. Il n'y a pas d'extrapolation.

6.1.2.- Station II

- Situation et description

Elle se trouve sur l' O. SOFOYA, 150 m en amont de la piste.

Latitude 16° 03' 20" N.

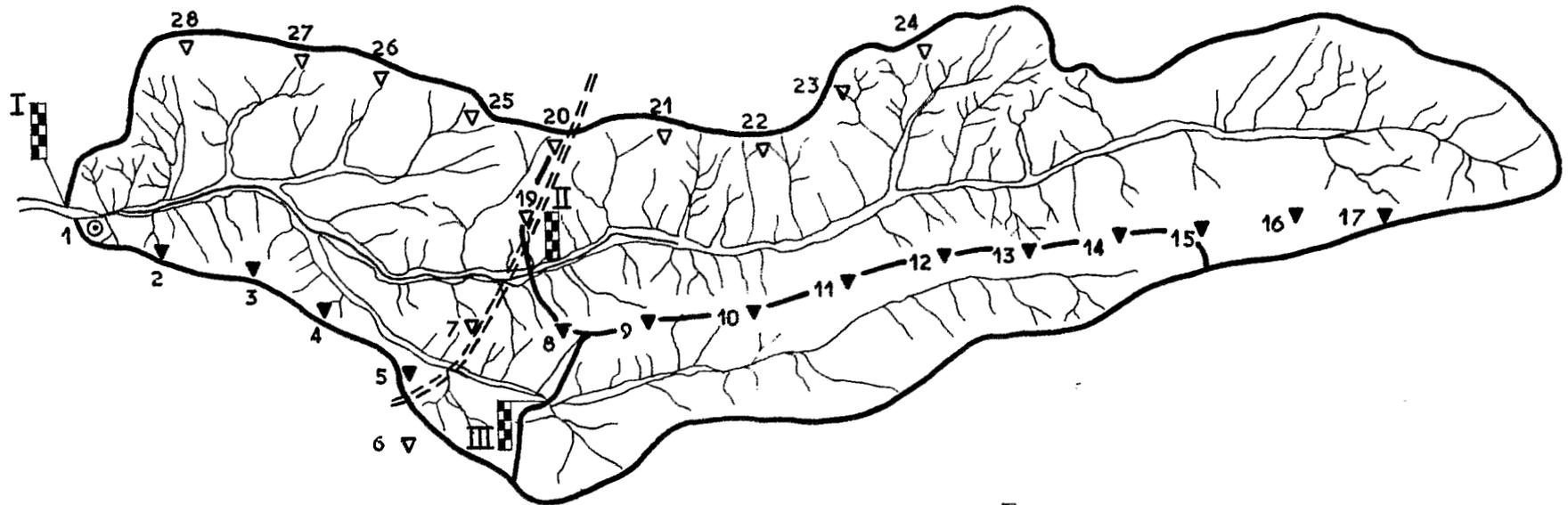
Longitude 21° 02' 20" E.

La section se présente comme une large plaine d'inondation recouverte de limons dans lesquels s'encaisse un chenal d'un mètre de profondeur, à fond limoneux ou sableux. Quelques chenaux secondaires existent localement. La section est relativement stable.

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI SOFOYA

Fig:56

Equipement pluviométrique et hydrométrique



-  Station limnimétrique.
-  Pluviomètre Association.
-  Pluviomètre totalisateur.
-  Station climatologique avec pluviographe, pluviomètres association et totalisateur.

0 2 4 Km

CRT 7582

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 5-11-65

DES: S. NICOE

VISA:

TUBE N°

Un limnigraphe OTT, type X à rotation hebdomadaire, installé le 6 Juillet 1965, enregistre les crues, 200 mètres de digue permettent de jauger en trois endroits une section naturellement très large. Une échelle de contrôle est placée à côté du limnigraphe.

- Etalonnage

6 jaugeages ont été réalisés avec pour cote et débit maximaux 0,94 m et 6,60 m³/s.

Voici la liste des jaugeages qui permettent de tracer la courbe de tarage (fig. 57).

Date	H (m)	Q (m ³ /s)
6.8.	0,05	Nul
6.8.	0,06	0,01
10.8.	0,11	0,05
25.8.	0,16	0,08
24.8.	0,45	0,37
24.8.	0,49	0,41
4.8.	0,94	6,60

La hauteur maximale observée a été de 1,13 m.

6.1.3.- Station III

- Situation et description

Elle se situe sur un affluent gauche de l'O. SOFOYA, 4 km en amont de la piste ABEICHE-FADA.

Latitude 16°02' N.

Longitude 21°03' E.

L'installation comprend un limnigraphe OTT, type X à rotation journalière, une échelle de contrôle et 200 m de digue.

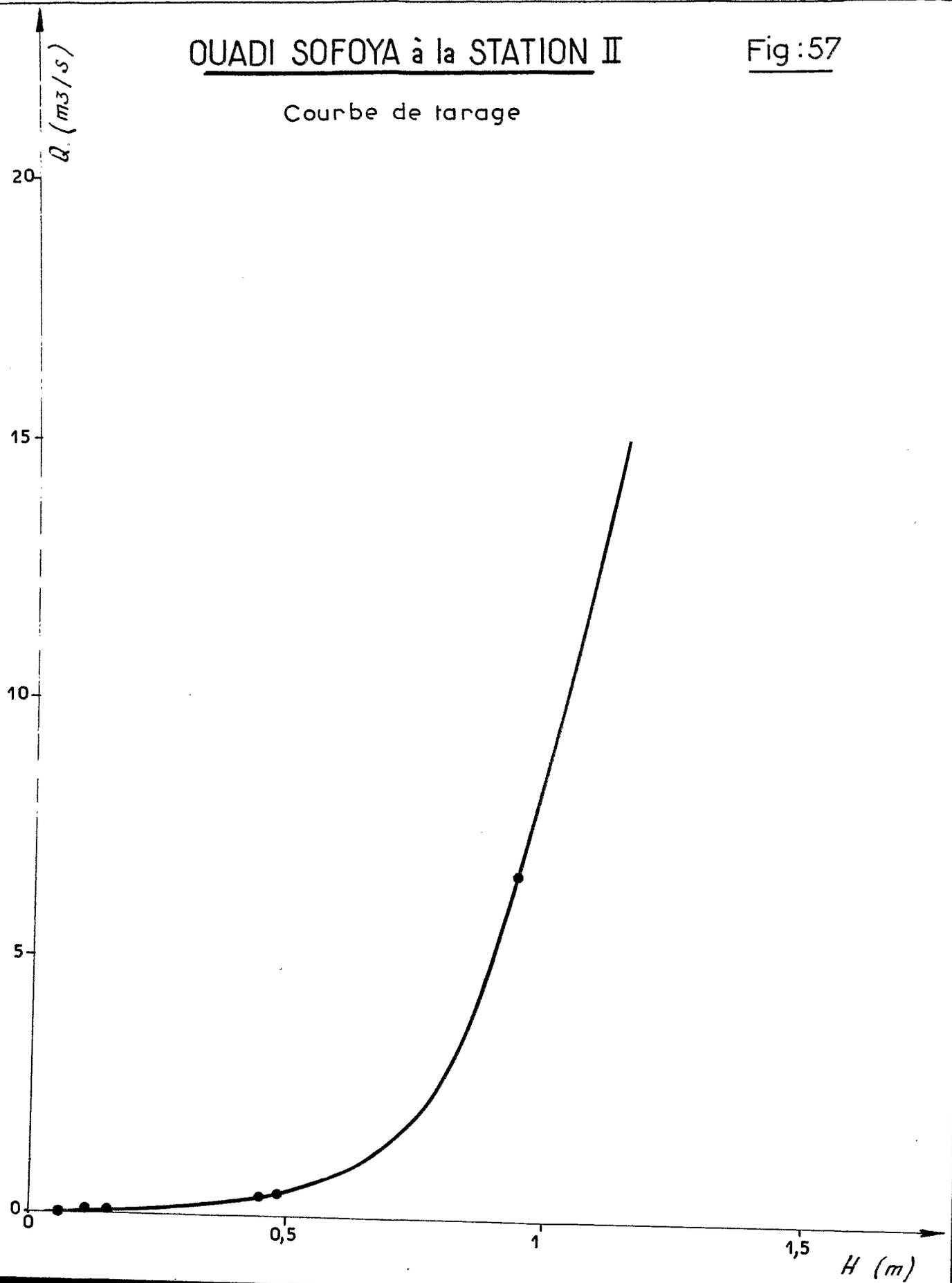
La section se présente comme une large plaine d'inondation recouverte de limons dans lesquels s'encaisse un étroit chenal d'environ 0,50 m de profondeur, à fond limoneux.

../...

OUADI SOFOYA à la STATION II

Fig:57

Courbe de tarage



CRT 7596

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 18-12-65

DES: S. NICOE

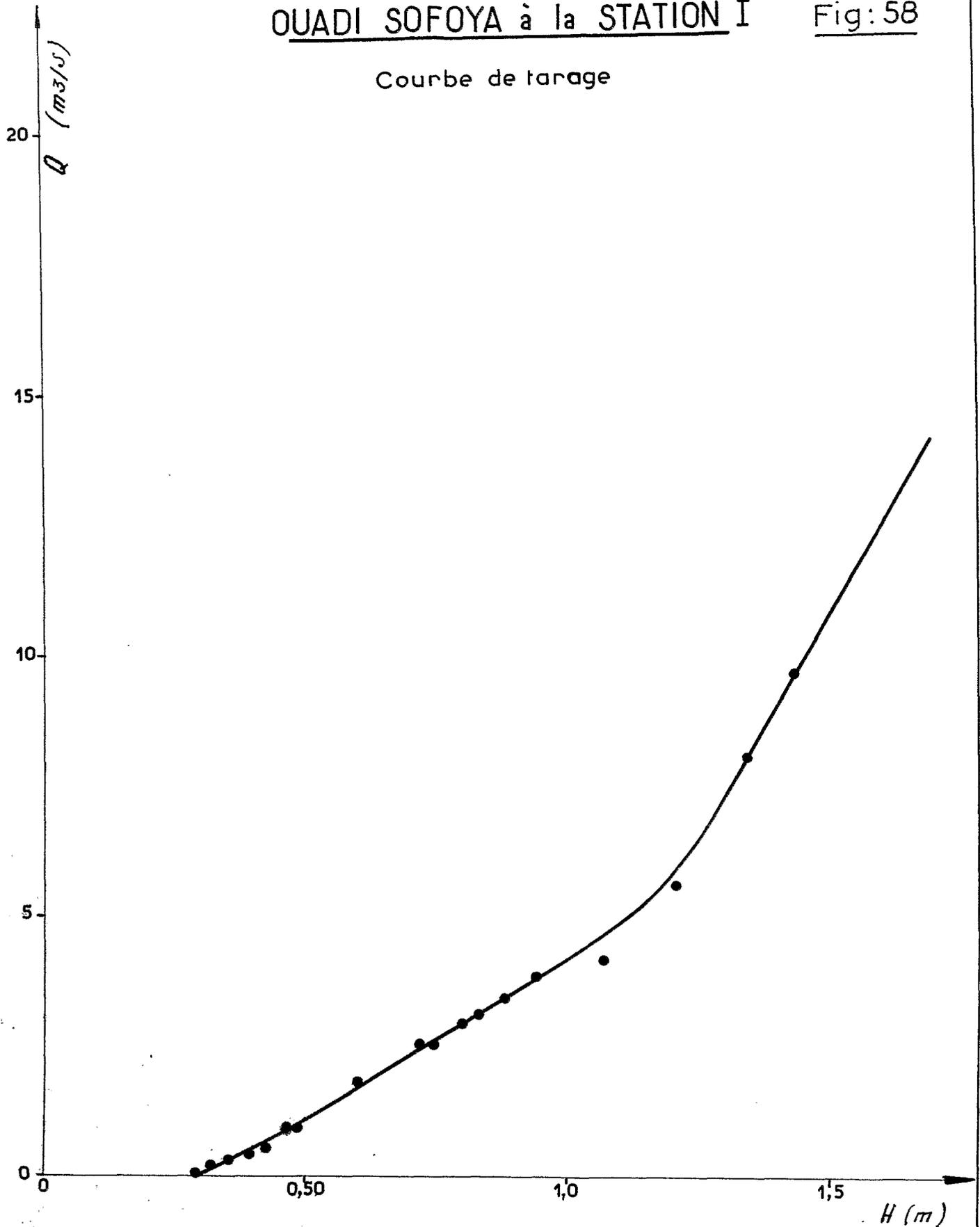
VISA

TUBEN°

OUADI SOFOYA à la STATION I

Fig: 58

Courbe de tarage



CRT 7599

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 24-12-65

DES: S. NICOE

VISA

TUBEN°

Tableau 12 : Liste des jaugeages de la station I de l' O. SOFOYA - Année 1965.

Date	H (m)	Q (m ³ /s)
	0,28	Nul
31.7	0,29	0,060
6.9	0,32	0,210
6.9	0,36	0,330
30.7	0,40	0,400
6.9	0,43	0,540
28.7	0,47	0,910
6.9	0,49	0,910
3.8	0,60	1,800
29.7	0,72	2,500
7.9	0,75	2,520
28.7	0,80	2,900
7.9	0,83	3,075
28.7	0,88	3,400
7.9	0,94	3,800
29.7	1,07	4,100
29.7	1,21	5,500
29.7	1,34	8,000
29.7	1,43	9,600

.../...

6.2.- ETUDE ANALYTIQUE DES AVERSES ET DES CRUES

6.2.1.- Présentation de l'étude

15 précipitations, correspondant à 12 jours de pluie, provoquent 9 crues à la station I, 8 à la station II.

Voici la liste des documents sur lesquels reposent cette étude.

- Deux dépliants (fig. 59 et 60) donnent une vue d'ensemble sur la répartition des crues aux stations I et II, au cours de l'année 1965.

- Le tableau de la pluviométrie journalière à chaque pluviomètre (en annexe).

- Les cartes en courbes isohyètes journalières, accompagnées du hétérogramme enregistré à la station I.

- Les hydrogrammes de chaque crue.

- Les diverses caractéristiques des averses et des crues correspondantes sont réunies pour chaque bassin dans les tableaux et afin de préciser le mode de fonctionnement de l'ensemble du bassin, la description des crues se fera simultanément aux stations I et II, averse par averse.

6.2.2.- Description averses - crues

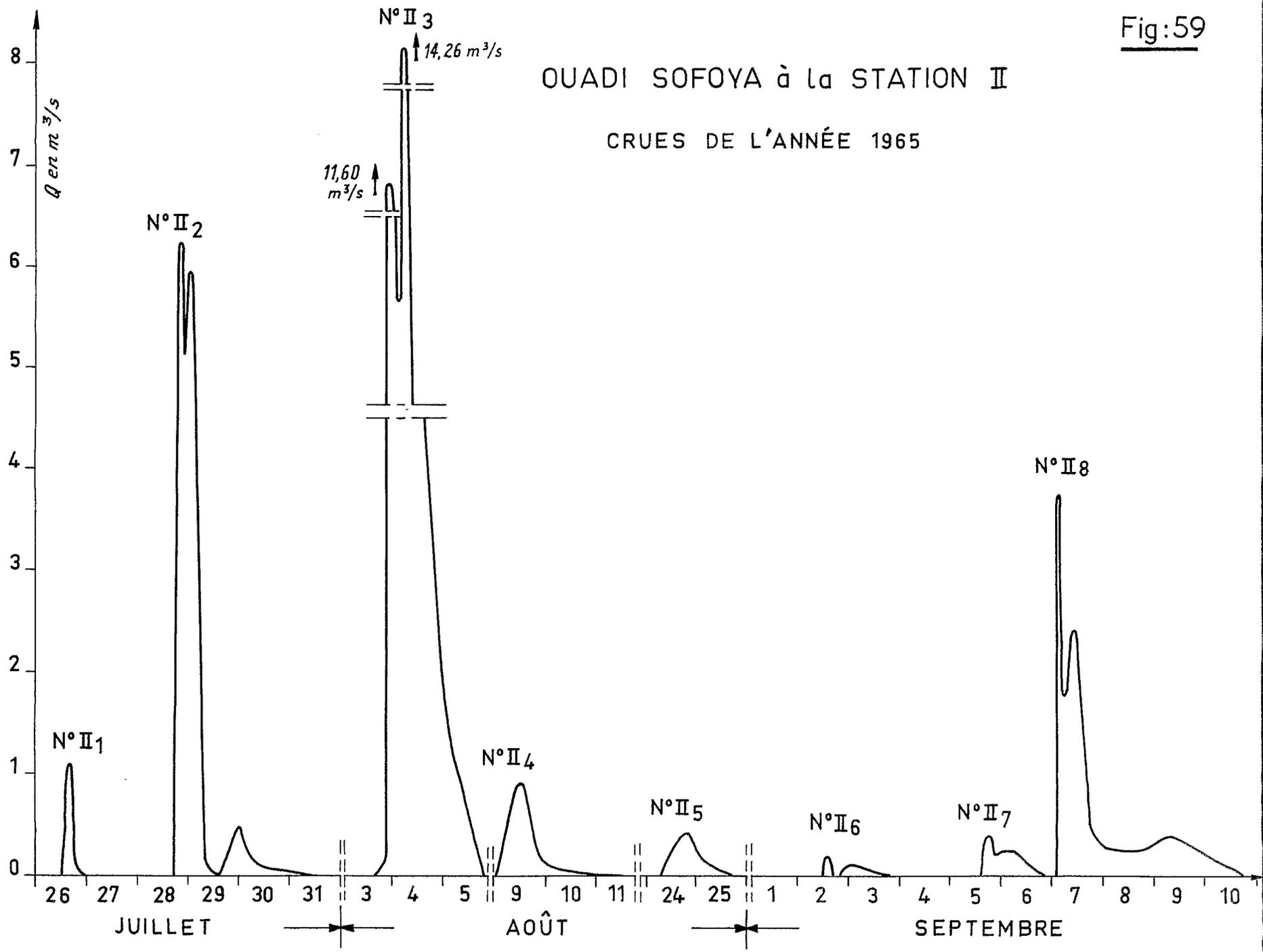
- Averse du 26 Juillet. N° 1 - Crues II 1 et I 1. (fig. 61 et 62)

Cette première pluie de l'année est très hétérogène sur l'ensemble des bassins versants. Les hauteurs de pluies moyennes sont des moyennes arithmétiques.

Bassins	P max	P min	P moy	K
III	9,5	0	2,8	0,29
II	9,5	0	2,8	0,29
I	16,5	0	3,9	0,24

A la station I deux crues insignifiantes ont lieu sensiblement à la même heure qu'à la station II. Il s'agit là aussi d'un apport local, la deuxième pointe peut correspondre soit à l'arrivée d'un apport plus lointain, soit à une reprise de la pluie. Les eaux de la crue de la station II n'atteignent pas la I. C'est là un fait qui se produira souvent.

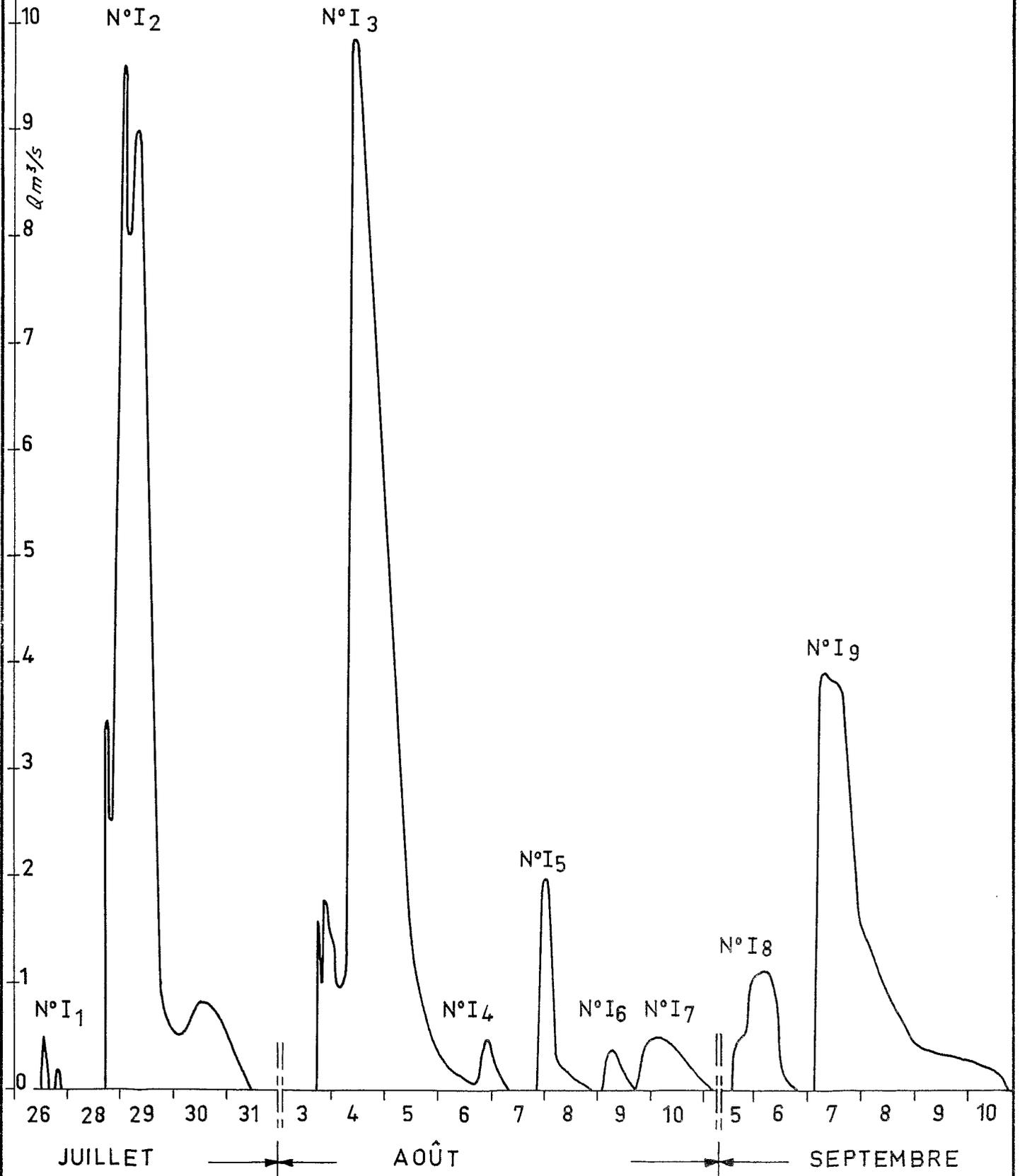
OUADI SOFOYA à la STATION II
CRUES DE L'ANNÉE 1965



OUADI SOFOYA à la STATION I

Fig:60

CRUES DE L'ANNÉE 1965



Crues	H max (m)	Q max (m ³ /s)	Vr (m ³)	kr %
II 1	0,65	1,15	5184	1,1
I 1	0,38	0,46	1440	0,1

Les coefficients de ruissellement relativement peu élevés s'expliquent par la faiblesse de l'averse et le fait que c'est la première de l'année.

- Averse du 28 Juillet. N° 2 - Crues II 2 et I 2. (fig. 63, 64 et 65)

Deux jours après la première pluie tombe la précipitation la plus importante de l'année.

Bassins	P max	P min	P moy	K
III	36,7	19,8	29,9	0,81
II	48	19,8	32,6	0,68
I	48	13	28,6	0,60

Les coefficients d'abattement sont relativement élevés. L'épicentre principal est situé sur la piste ABECHE - FADA, un épicentre secondaire se trouve à l'extrémité du bassin.

L'averse tombe en deux temps, la deuxième partie étant la plus importante. D'une durée totale de 1,20 h, le corps de l'averse n'est que de 25 minutes et son intensité maximale de 30 mm/h.

Les pluviomètres de la partie Nord du bassin totalisent les pluies du 26 et 28 Juillet ; les isohyètes de ces précipitations cumulées sont tracées sur la fig. 64.

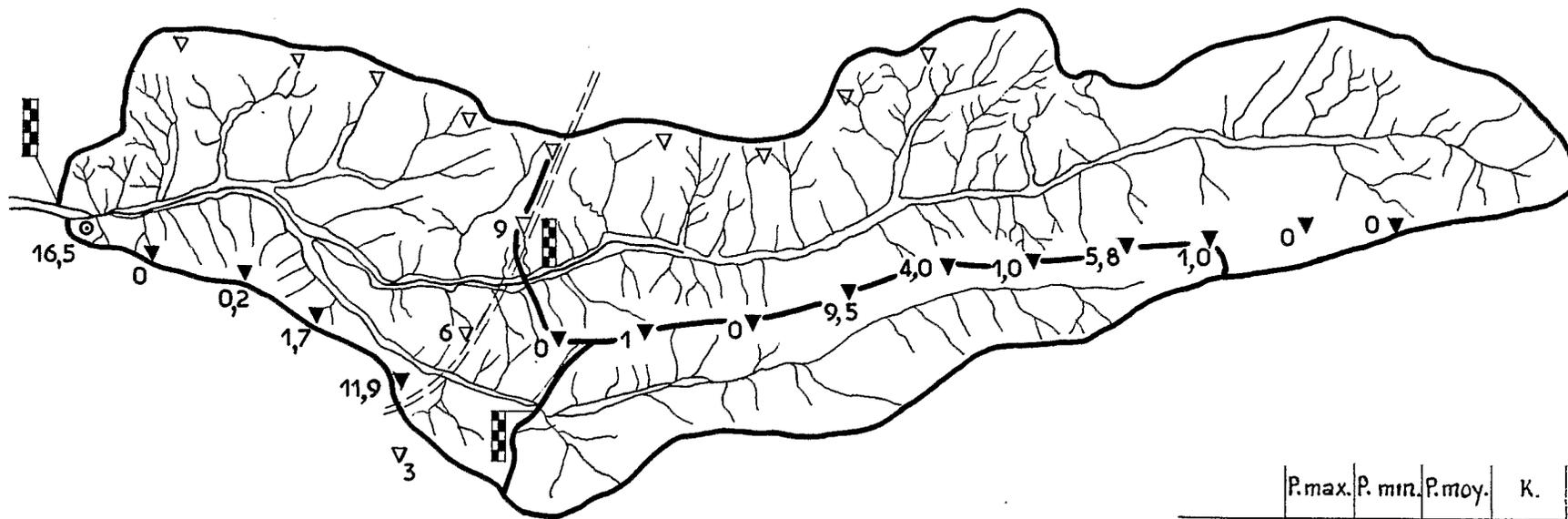
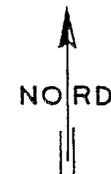
A la station II la crue est importante. Elle semble débiter presque immédiatement avec l'averse. Le débit maximal est rapidement atteint ($t_m = 2 \text{ h } 30$) et correspond à une alimentation par l'épicentre de l'averse lequel est proche de la station. La deuxième pointe de l'hydrogramme correspond à l'apport d'une zone plus éloignée de la station. Quant à la petite crue tardive du 29 Juillet, il se peut qu'elle soit due à

.. / ...

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI SOFOYA

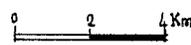
Pluie du 26 Juillet 1965 N° 1

Fig: 61



Hyétogramme non enregistré

	P.max.	P. min.	P. moy.	K.
BV: III	9,5	0	2,8	0,29
BV: II	9,5	0	2,8	0,29
BV: I	16,5	0	3,9	0,24



CRT 7582

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 28-9-66

DES: S. NICOE

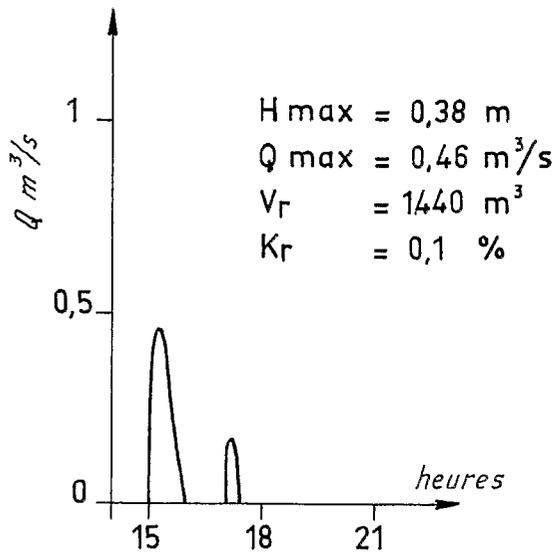
VISA:

TUBE N°

OUADI SOFOYA à la STATION I

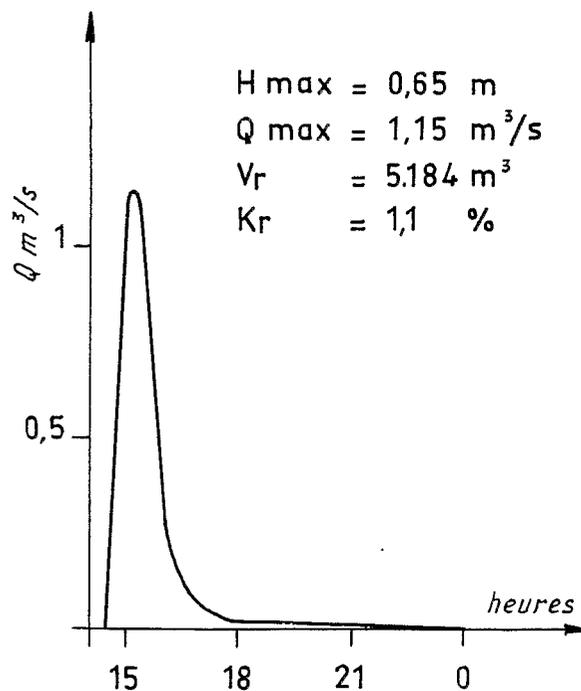
Fig:62

CRUE DU 26 JUILLET 1965 - N° I₁ -



OUADI SOFOYA à la STATION II

CRUE DU 26 JUILLET 1965 - N° II₁ -



une pluie locale tombée le 29 Juillet mais il semble plus probable qu'elle soit produite par les eaux de la pluie du 28 Juillet venues de l'extrémité du bassin où se situe le deuxième épizentre de l'averse.

A la station I, l'hydrogramme présente 3 pointes puis un léger bombement sur la courbe de décrue. La première pointe est due à l'apport local, la deuxième avec un débit maximal correspond à l'apport de la région traversée par la piste où se rencontre l'épicentre principal. La troisième pointe ainsi que la courbe de décrue à pente faible sont dues à l'arrivée de la crue observée à la station II. La vitesse de parcours de l'onde de crue a dans ce cas une valeur maximale de 3 km/h. La légère remontée du 30 Juillet correspond à celle du 29 Juillet à la station II, c'est-à-dire qu'elle est due à l'apport de l'extrémité du bassin. C'est la seule crue qui semble avoir parcouru le ouadi sur une si grande distance (environ 40 km). De la station II à la station I, la vitesse de déplacement de l'onde de crue est de 1,3 km/h.

Crues	H max	Q max	Vr	Kr
III 2	0,15	0	0	0
II 2	0,93	6,30	223 776	4,0
I 2	1,44	9,68	565 056	5,7

Pour les hauteurs et débits maximaux et les volumes écoulés à chaque station, cette crue prend en importance le deuxième rang.

- Averse du 3 Août. N° 3 - Crues II 3 et I 3. (fig. 66, 67 et 68)

Cette pluie assez hétérogène possède deux épizentres, l'un situé sensiblement au milieu du grand bassin, l'autre au Nord immédiatement sur le côté gauche de la piste ABECHE-FADA. Elle tombe en deux temps avec une durée totale de 2 h 20. La première partie ne dure que 20 minutes avec une intensité maximale de 54 mm/h. La deuxième partie dure plus longtemps mais avec de faibles intensités.

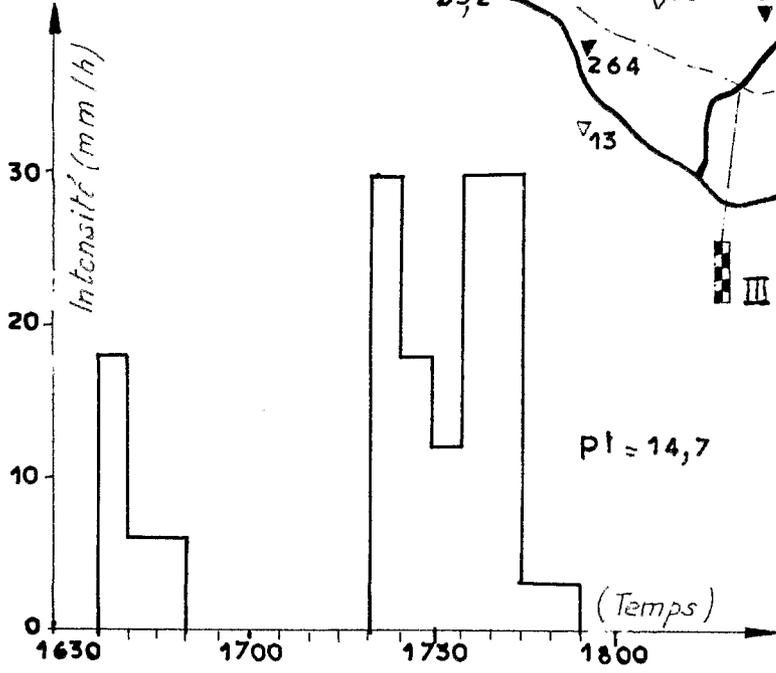
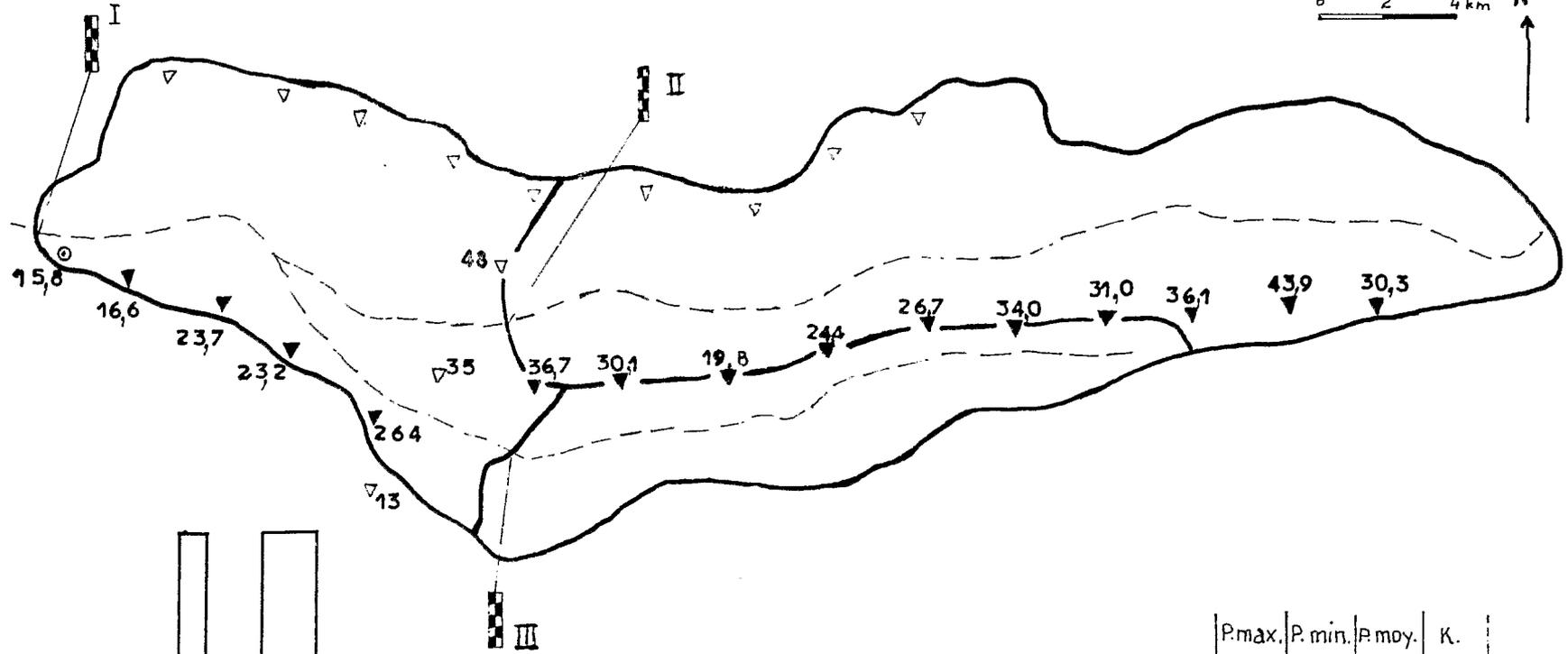
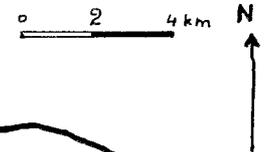
Bassins	P max	P min	P moy	K
III	59,3	4,1	30,5	0,51
II	59,3	2,9	16,5	0,28
I	59,3	2,9	21,0	0,35

..//...

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI SOFOYA

Fig:63

Pluie du 28 Juillet 1965 N° 2



	P.max.	P. min.	P.moy.	K.
Bv: III	36,7	19,8	25,7	0,81
Bv: II	48	19,8	32,6	0,68
Bv: I	48	13	28,6	0,60

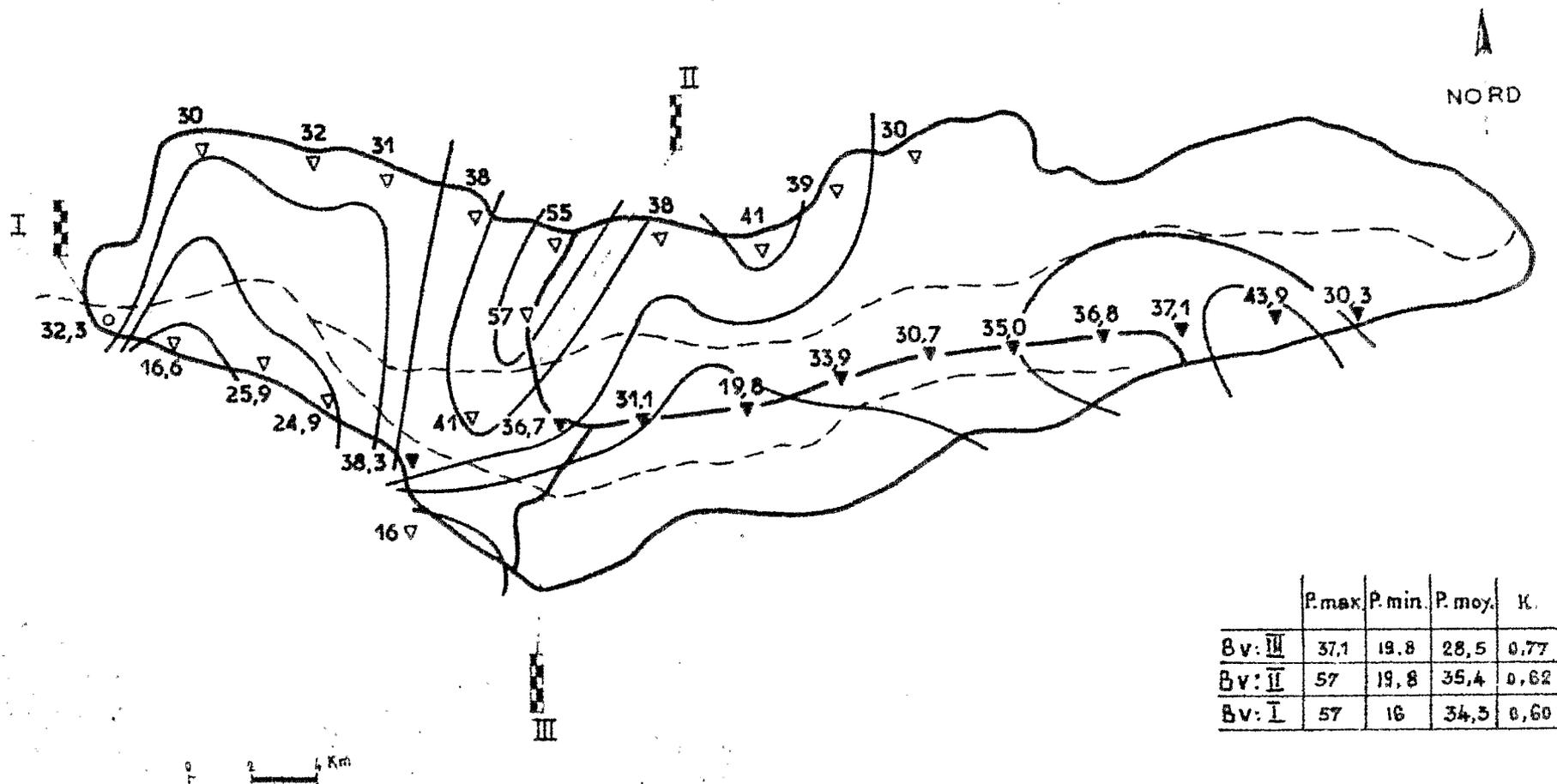
Hyetogramme du pluviographe no 1

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI SOFOYA

Fig:64

Isohyètes des 2 pluies du 26 et 28 Juillet 1965

N° 1 + 2



	P.max	P.min	P.moy	K.
Bv: III	37,1	19,8	28,5	0,77
Bv: II	57	19,8	35,4	0,62
Bv: I	57	16	34,5	0,60

CRT 7594

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE. 18 - 12 - 65

DES S. NIJÈRE

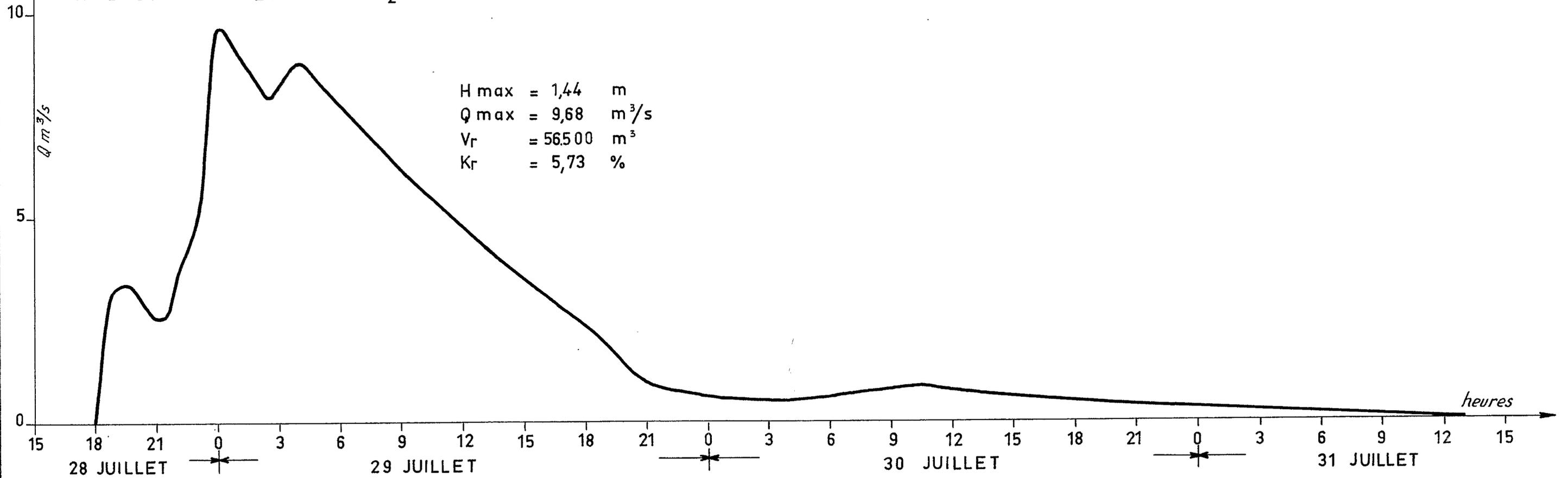
VISA

TUBE N°

OUADI SOFOYA à la STATION I

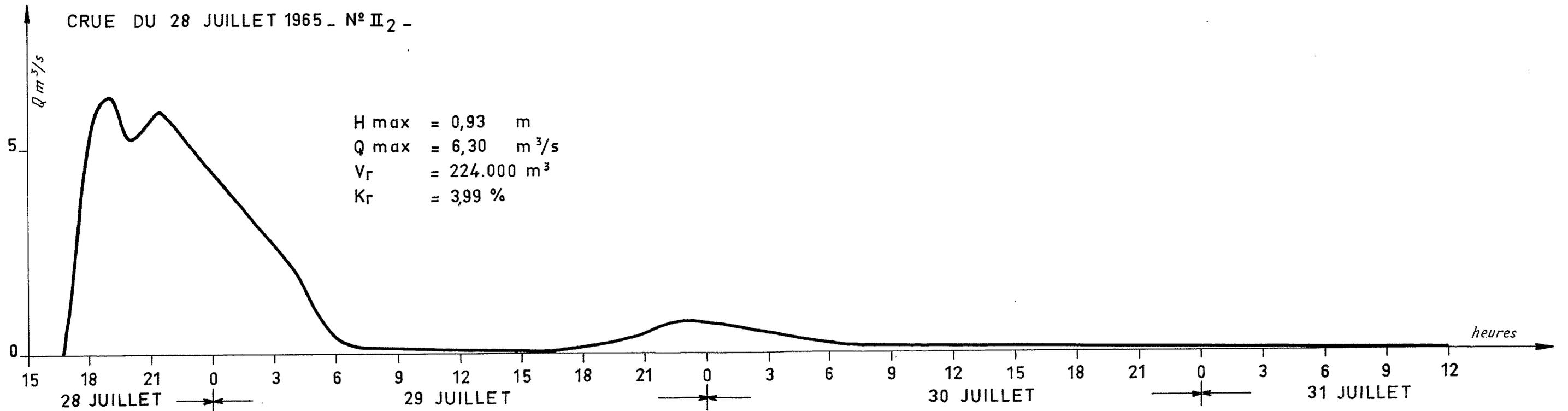
Fig:65

CRUE DU 28 JUILLET 1965 - N° I₂ -



OUADI SOFOYA à la STATION II

CRUE DU 28 JUILLET 1965 - N° II₂ -



59,3 mm représente la plus forte hauteur de pluie tombée lors d'une averse en 1965. C'est une valeur de fréquence décennale. La hauteur de pluie moyenne sur le bassin III est la plus élevée de l'année, sur les bassins II et I elles tiennent le deuxième rang.

A la station II la crue démarre d'abord lentement, les hauteurs de pluie au voisinage étant faibles. L'hydrogramme présente deux pointes, le débit maximal est déterminé par l'apport de l'épicentre de l'averse.

A la station I, la crue débute modestement avec deux pointes correspondant aux deux parties de l'averse. Alors que la décrue est en cours, l'apport de l'amont (épicentre de la piste et crue de la station II) provoque une remontée des eaux relativement lente. La durée de parcours est de 10 h entre la station II et la station I (vitesse moyenne 1,6 km/h).

Crues	H max	Q max	Vr	Kr
II 3	1,13	14,26	714 960	25,2
I 3	1,45	9,85	656 640	9,1

C'est la plus forte crue de l'année aux stations II et I bien qu'à la station I, la hauteur et le volume écoulé ne soient que très légèrement supérieurs à ceux de la crue du 28 Juillet.

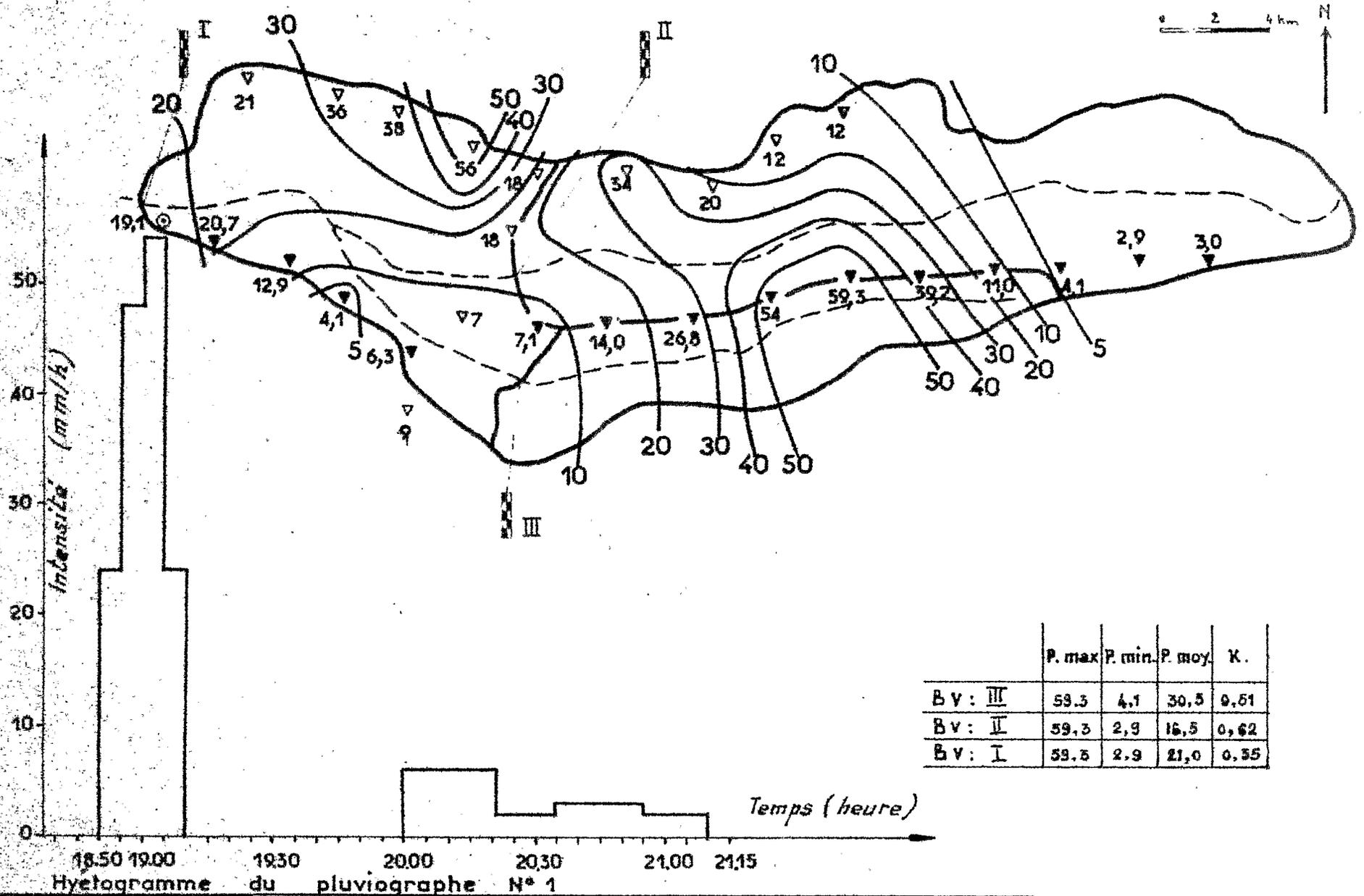
Après 6 jours sans pluie, les coefficients d'écoulement sont cependant relativement très élevés, en particulier celui du bassin II avec 25,2 %. Il faut noter en plus que l'extrémité de ce bassin n'a pas dû ruisseler étant données les faibles pluviométries relevées, ceci augmente donc encore le coefficient de ruissellement sur le reste du bassin. L'importance de cette crue s'explique par une pluie assez intense, par les hauteurs de précipitations ponctuelles des plus élevées et par une précipitation moyenne de deuxième rang. L'état d'humidité du sol est alors certainement plus favorable que le 28 Juillet et la végétation herbacée n'a pas encore poussé.

.. / ...

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI SOFOYA

Fig:66

Isohyètes de la pluie du 3 Août 1965 - N° 3



	P. max	P. min.	P. moy.	K.
BV: III	59.3	4.1	30.5	0.51
BV: II	59.3	2.9	16.5	0.62
BV: I	59.5	2.9	21.0	0.35

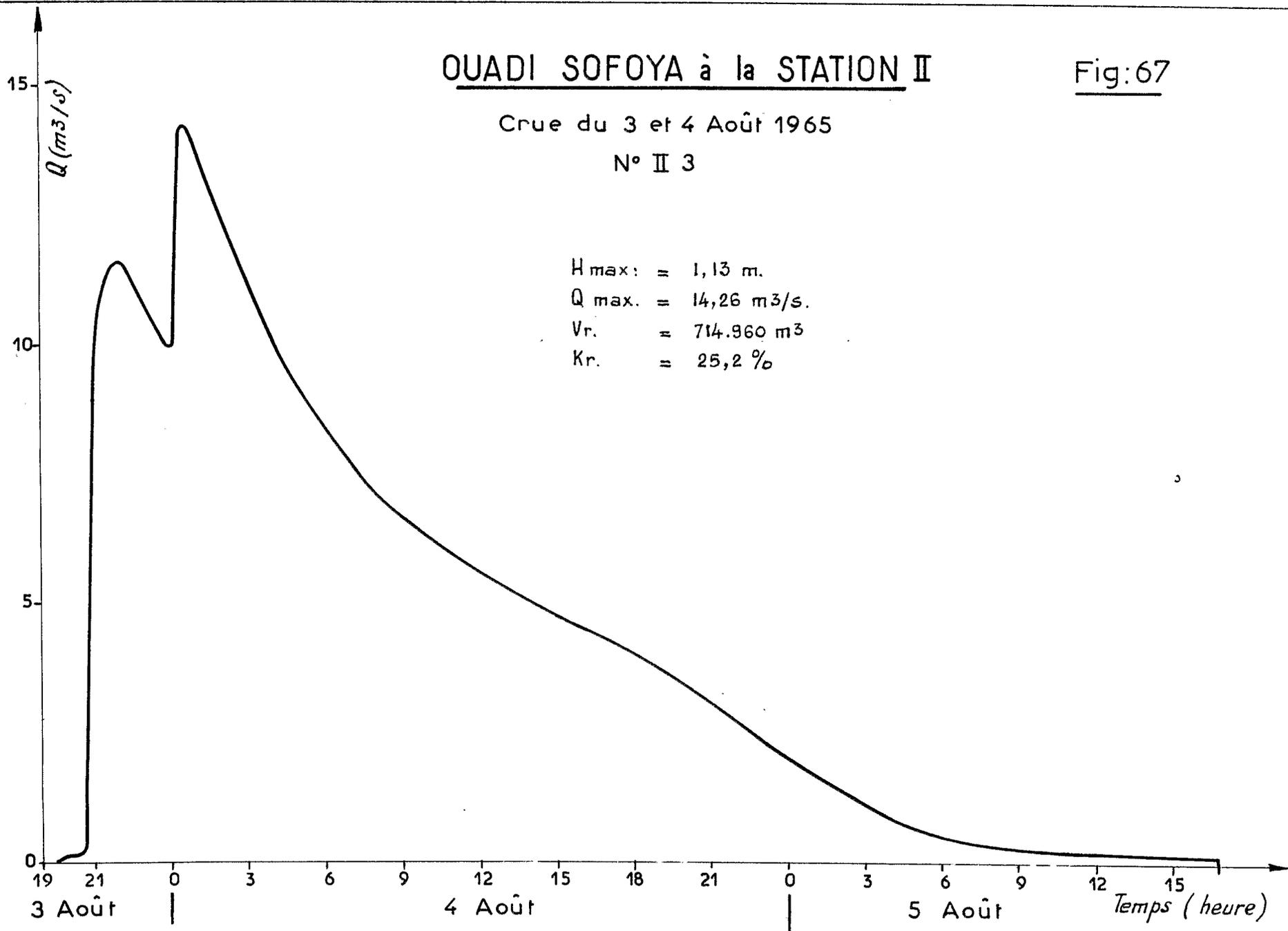
OUADI SOFOYA à la STATION II

Fig:67

Crue du 3 et 4 Août 1965

N° II 3

$H_{max} = 1,13 \text{ m.}$
 $Q_{max} = 14,26 \text{ m}^3/\text{s.}$
 $V_r = 714.960 \text{ m}^3$
 $K_r = 25,2 \%$



CRT 7595

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 18-12-65

DES: S. NICOLÉ

VISA:

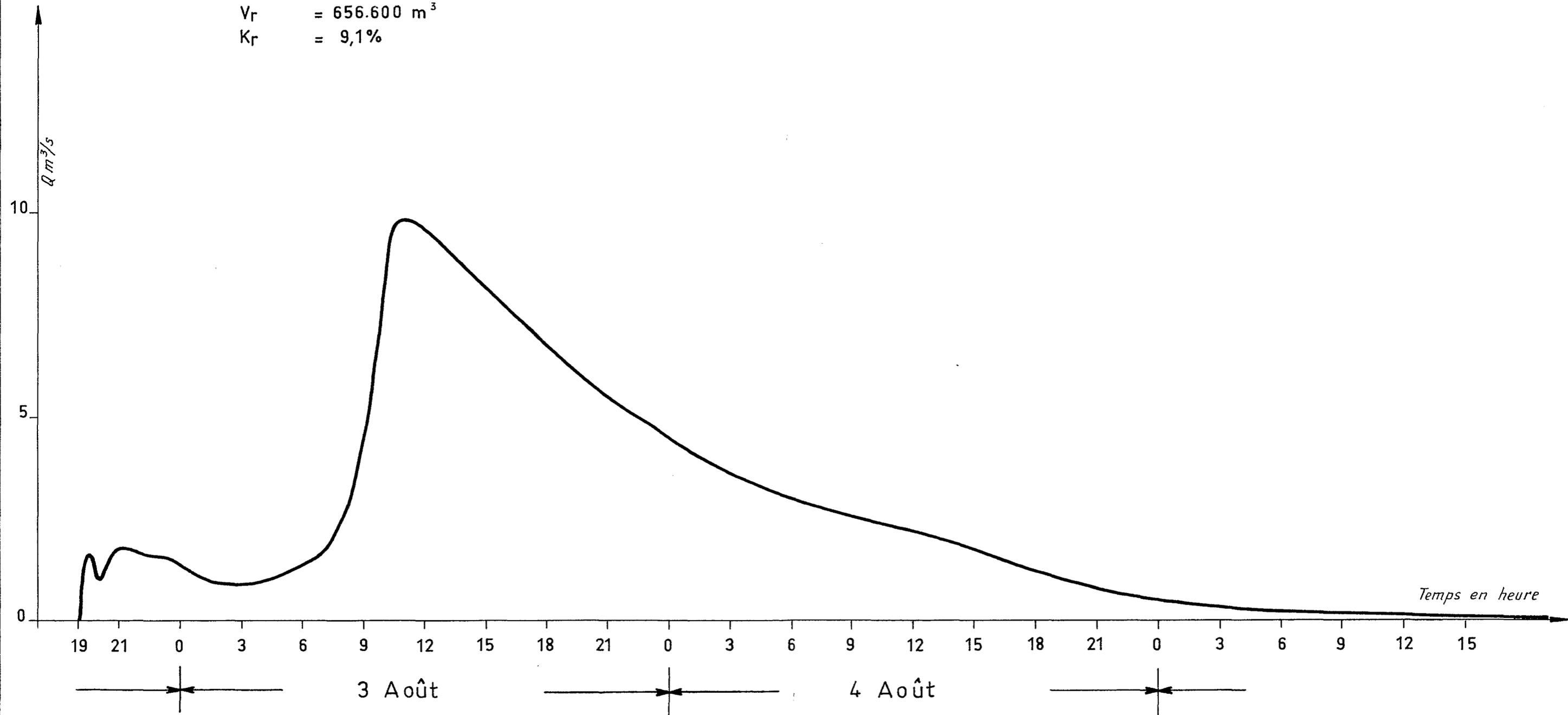
TUBE N°

Fig:68

OUADI SOFOYA à la STATION I

CRUE DU 3 et 4 AOÛT 1965 - N° I 3 -

H max = 1,45 m
Q max = 9,85 m³/s
V_r = 656.600 m³
K_r = 9,1%



- Averse du 6 Août. N° 4 - Crue I 4 (fig. 69 et 71)

Cette pluie peu importante intéresse principalement la partie Ouest du bassin I. D'une durée de 15 minutes, elle a une intensité régulière mais faible de 6 mm/h.

Bassins	P max	P min	P moy	K
III	3	0	0,8	0,27
II	3	0	0,6	0,20
I	4	0	1,2	0,30

Aucune crue ne se manifeste à la station II.

A la station I, alors que la crue du 3 Août (I 3) se termine, cette pluie provoque une remontée des eaux.

Crues	H max	Q max	Vr	Kr
I 4	0,39	0,51	7 920	19,2

Le coefficient d'écoulement comparé aux valeurs des autres crues est élevé : c'est le plus fort observé sur le bassin I. Malgré la faiblesse de la pluie, le ruissellement a bénéficié d'un terrain encore humide 4 jours après une pluie importante et surtout d'un lit encore inondé.

- Averses du 7 et 8 Août. N° 5 + 6 + 7 - Crues N° I 5, I 6, I 7, II 4.

(fig. 70 et 71)

Le 7 Août, l'averse n° 5 tombe sur la bordure Nord du bassin entre 16 h 30 et 17 h 30 environ mais n'intéresse pas le pluviographe de la station I.

Le 8 Août au matin, une pluie (N° 6) peu intense (intensité maximale : 6 mm/h) dure 1 h 35. Le 8 Août au soir une troisième averse (N° 7) de courte durée (10 minutes) tombe avec une intensité régulière de 42 mm/h.

Ces trois pluies ont dû être cumulées (fig. 70).

.. / ...

Bassins	P max	P min	P moy	K
III	21,0	11,6	16,0	0,76
II	26	11,0	16,2	0,62
I	26	8,0	15,5	0,60

La pluie du 7 Août ne provoque une crue (N° I 5) qu'à la station I. La courbe de décrue se prolonge par un palier dû à la pluie N° 6 du 8 Août.

Cette pluie (N° 6) ne produit rien à la station II.

La dernière pluie (N° 7) du 8 Août provoque le 9 Août la crue N° II 4 à la station II et la crue N° I 6 à la station I.

A la station I, la crue N° I 7 du 9 et 10 Août est due à l'arrivée de celle N° II 4 passée la veille à la station II. La dernière pluie (N° 7) provoque donc deux crues bien distinctes à la station I. Le temps de parcours de l'onde de crue est de 12 h soit une vitesse de 1,3 km/h, valeur égale à celle de la crue du 29 Juillet.

Crues	H max	Q max	Vr	Kr
II 4	0,58	0,77	40 320	1,4
I 5	0,62	1,78	46 512	} 1,7
I 6	0,38	0,46	9 360	
I 7	0,42	0,66	33 840	

Pour ces petites pluies successives les coefficients d'écoulement globaux de chaque bassin sont très faibles.

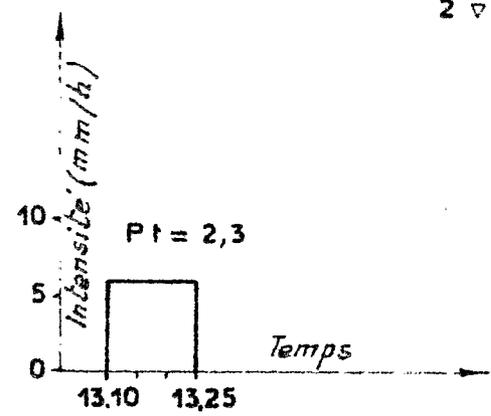
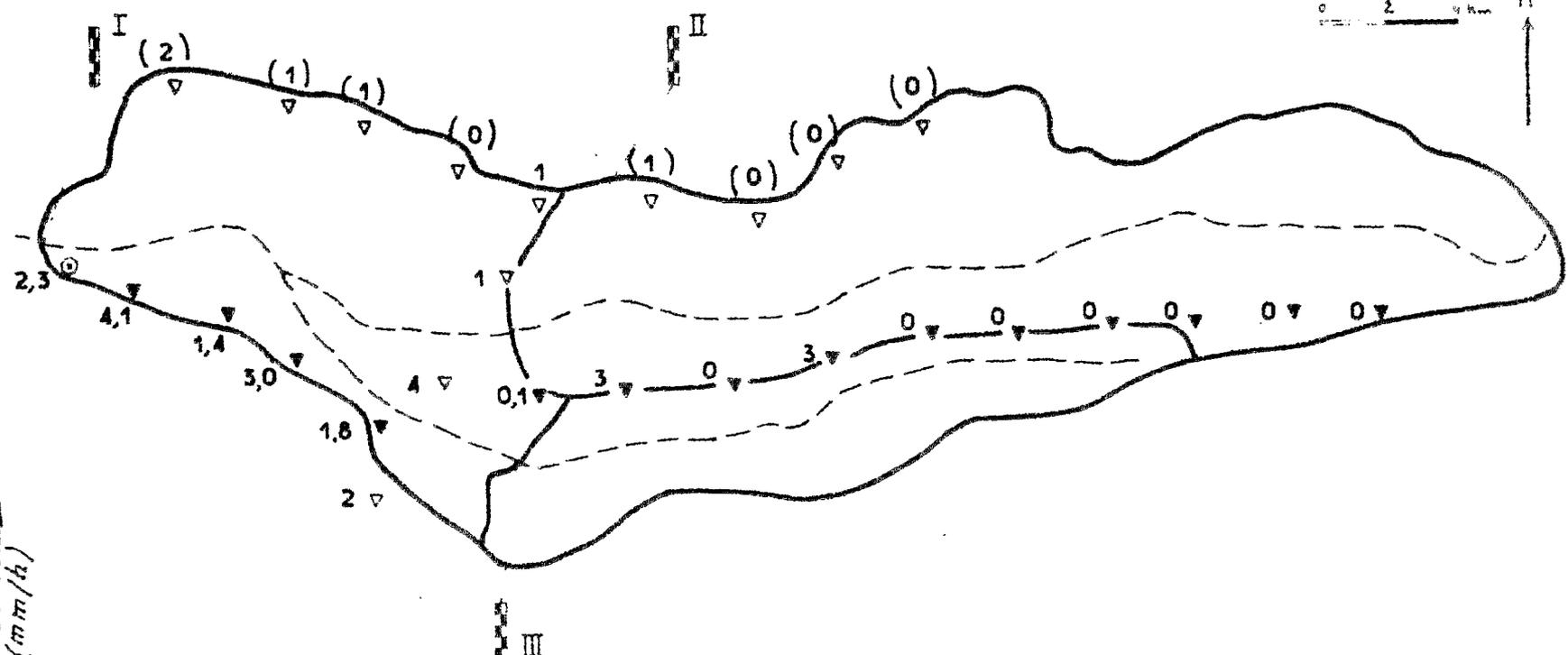
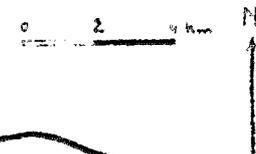
- Averse du 21 Août. N° 8 (fig. 72)

Cette pluie est centrée immédiatement au Sud Est de la station I. L'intensité maximale atteint 42 mm/h.

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI SOFOYA

Fig: 69

Pluie du 6 Août 1965. N° 4



	P. max	P. min	P. moy	K
Bv: III	3	0	0,8	0,27
Bv: II	3	0	0,6	0,20
Bv: I	4	0	1,2	0,30

Hyetogramme au pluviographe N° 1

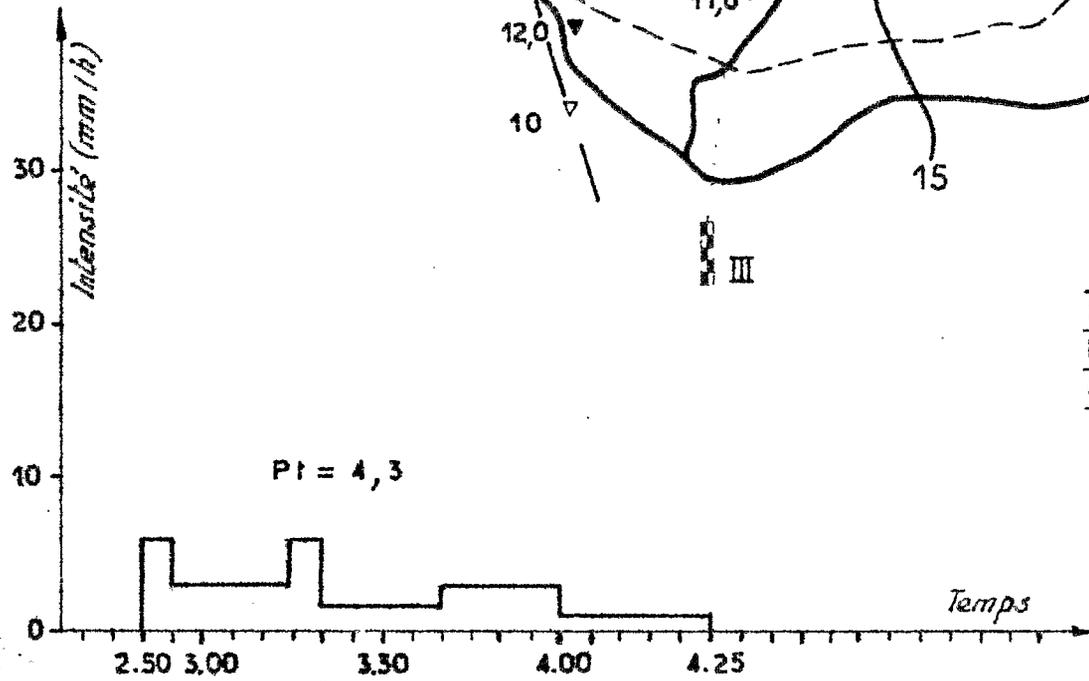
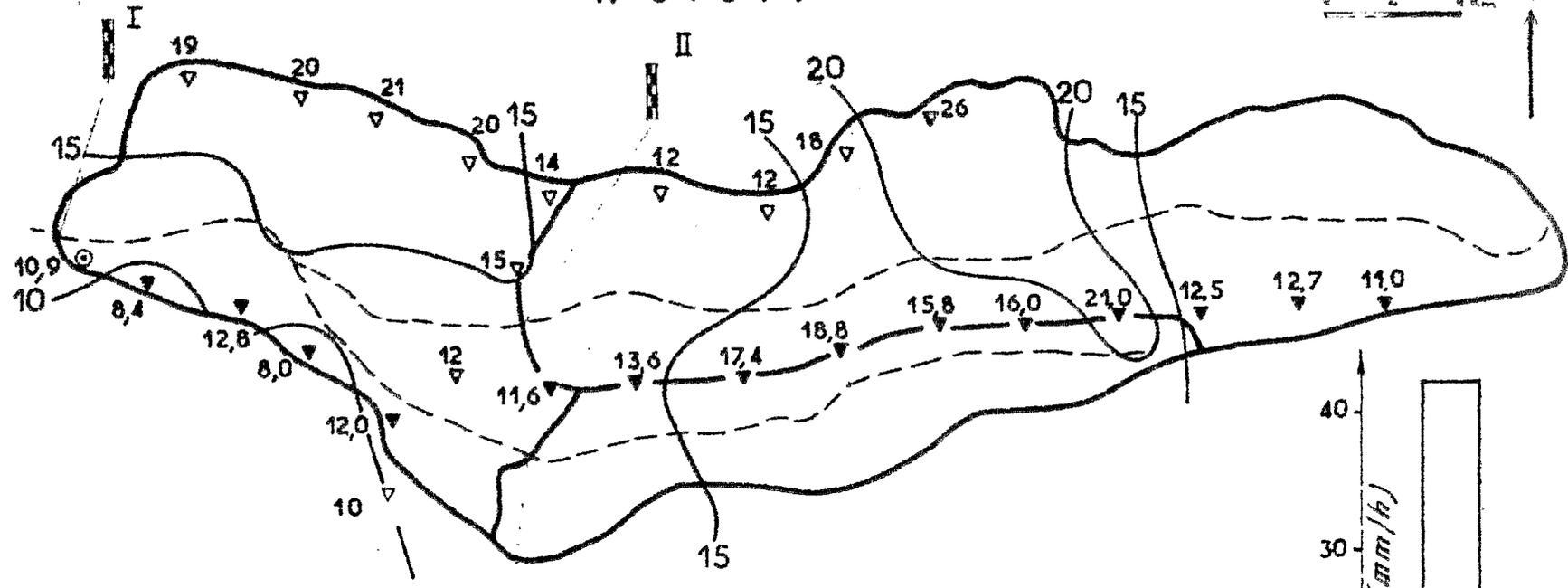
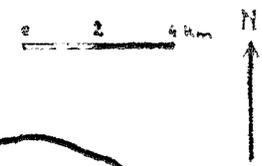
CRT 7594

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI SOFOYA

Fig:70

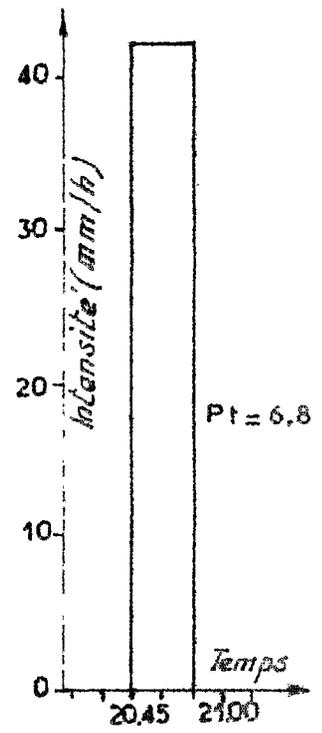
Isohyètes des pluies du 7 et 8 Août 1965

N° 5 + 6 + 7



Hyetogramme de la première averse du 8 Août 1965 (N° 5)

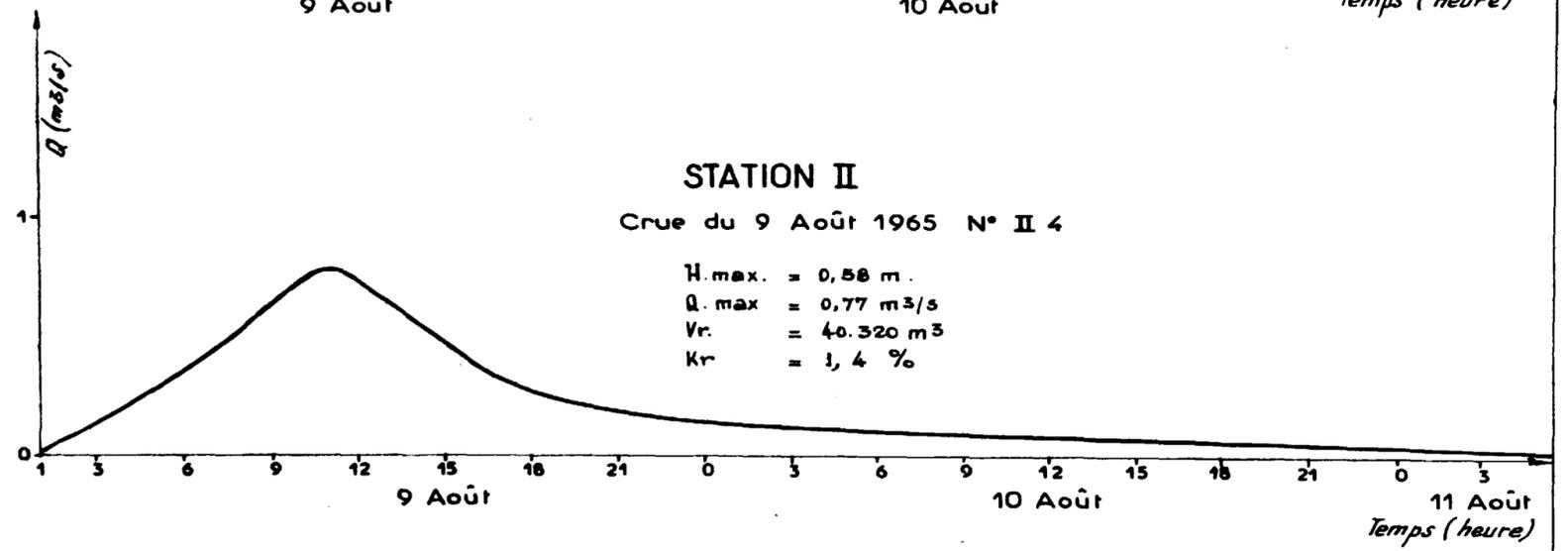
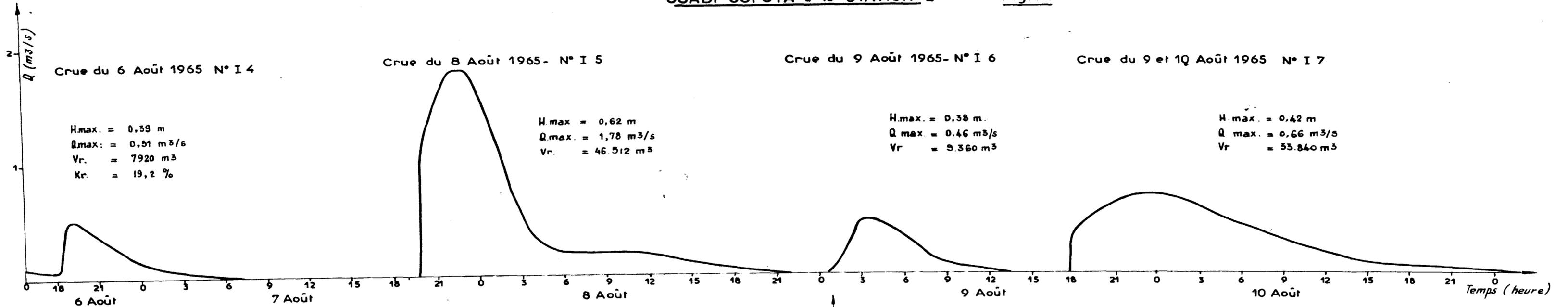
	P.max.	P.min.	P.moy.	K.
Bv: III	21,0	11,6	16,0	0,76
Bv: II	26	11,0	16,2	0,62
Bv: I	26	8,0	15,8	0,60



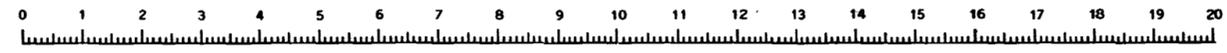
Hyetogramme de la deuxième averse du 8 Août 1965 (N° 6)

OUADI SOFOYA à la STATION I

Fig: 71



Cette mire doit être lisible dans son intégralité
 Pour A0 et A1: ABERPFTHLIJDOCGQUVWMNSZXY
 zsaecmuvnwixirfkhbdpgqjlt 7142385690
 Pour A2A3A4: ABERPFTHLIJDOCGQUVWMNSZXY
 zsaecmuvnwixirfkhbdpgqjlt 7142385690



Bassin	P max	P min	P moy	K
III	7,3	1,8	3,6	0,49
II	8	1,8	4,5	0,56
I	15,0	1,8	6,2	0,41

Cette averse provoque une montée des eaux seulement à la station I. La hauteur d'eau atteint 0,19 m mais l'écoulement y demeure nul malgré une hauteur de pluie supérieure à 10 mm en amont de la station et une intensité assez forte.

Ceci s'explique par la période de sécheresse de 13 jours ayant précédé cette pluie. Le sol se trouve alors desséché tandis que la végétation herbacée commence à prendre de l'importance sur le bassin diminuant ainsi le ruissellement.

- Averses du 23 et 24 Août. N° 9 + 10 et 11. Crue N° II 5. (fig. 73 et 74)

Le 23 Août une première pluie (N° 9) d'une durée d' 1 heure et d'intensité faible (I max : 12 mm/h) tombe sur le bassin à 1 h du matin. Une deuxième averse (N° 10) survient de 9 à 10 h 30 sur la région délimitée par la ligne de crête commune aux deux bassins I et II mais n'intéresse pas le pluviographe.

La carte en courbes isohyètes (fig. 73) cumule ces deux pluies dont les caractéristiques sont :

Bassins	P max	P min	P moy	K
III	29,4	5,7	19,4	0,66
II	29,4	4	10,6	0,36
I	29,4	2,8	11,8	0,40

Ces deux pluies ne provoquent aucune crue.

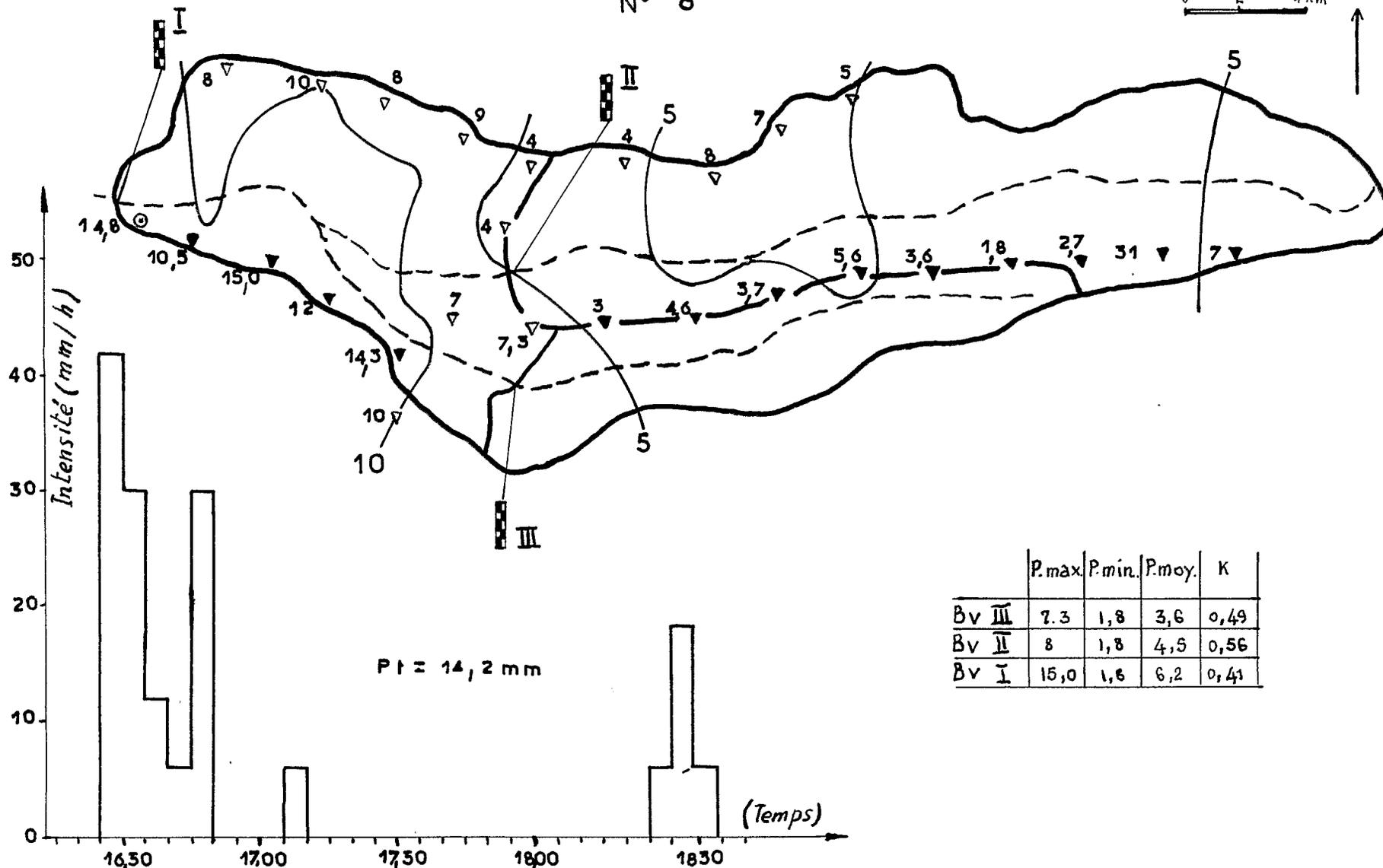
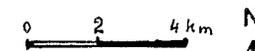
Cependant une crue se produit dans la matinée du 24 à la station II. Les pluviomètres sont alors visités, excepté les N° 22, 23, 24 qui restent inaccessibles. C'est probablement une averse (N° 11) tombée sur la bordure N E du bassin, dans la nuit du 23 au 24, qui est responsable de la crue N° II 5.

BASSIN VERSANT SUR LOUADI SOFOYA

Fig:72

Isohyètes de la pluie du 21 Août 1965

N° 8



Hyétoqramme du pluviographe n°1

CRT 7594

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 20-12-65

DES: S. NIC DE

VISA:

TUBE N°

Crue	H max	Q max	Vr
II 5	0,49	0,43	21 312

Si l'on calcule le coefficient d'écoulement de cette crue avec les seules pluies du 23 Août, on obtient une valeur de 1,1. Avec en plus la pluie de 24 Août, ce coefficient diminue.

- Averse du 2 Septembre. N° 12 - Crues N° II 6. (fig. 75 et 76)

D'une durée de trente minutes et d'intensité maximale de 12 mm/h, cette petite averse est centrée sur la partie Ouest du bassin II. La partie Est n'est pas intéressée par la pluie. Il est cependant probable que les pluviomètres N° 22, 23 et 24 cumulent la pluie du 24 Août.

Bassin	P max	P min	P moy	K
III	12,3	0	4,9	0,40
II	16	0	5,9	0,37
I	16	0	5,7	0,36

Cette averse produit une crue à la station II.

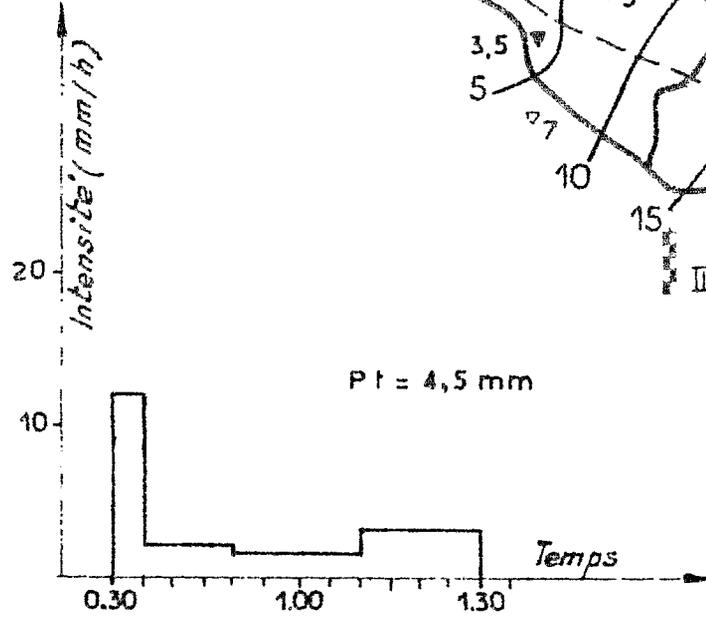
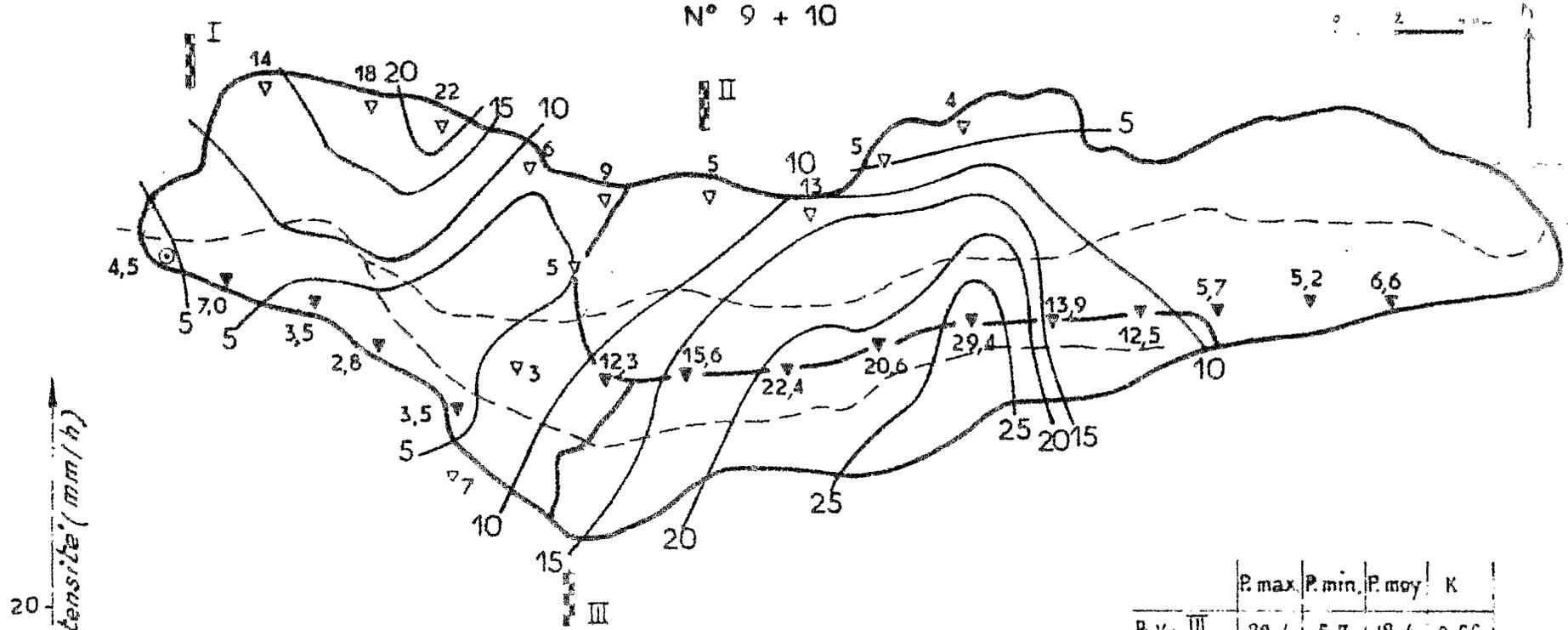
A la station I, l'écoulement se réalise en deux temps séparés par un intervalle de 3 heures. Là encore il s'agit du ruissellement local puis de l'apport de la région Nord du bassin où se trouvent les hauteurs de pluies maximales.

../...

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI SOFOYA

Fig 73

Isohyètes des pluies du 23 Août 1965
N° 9 + 10



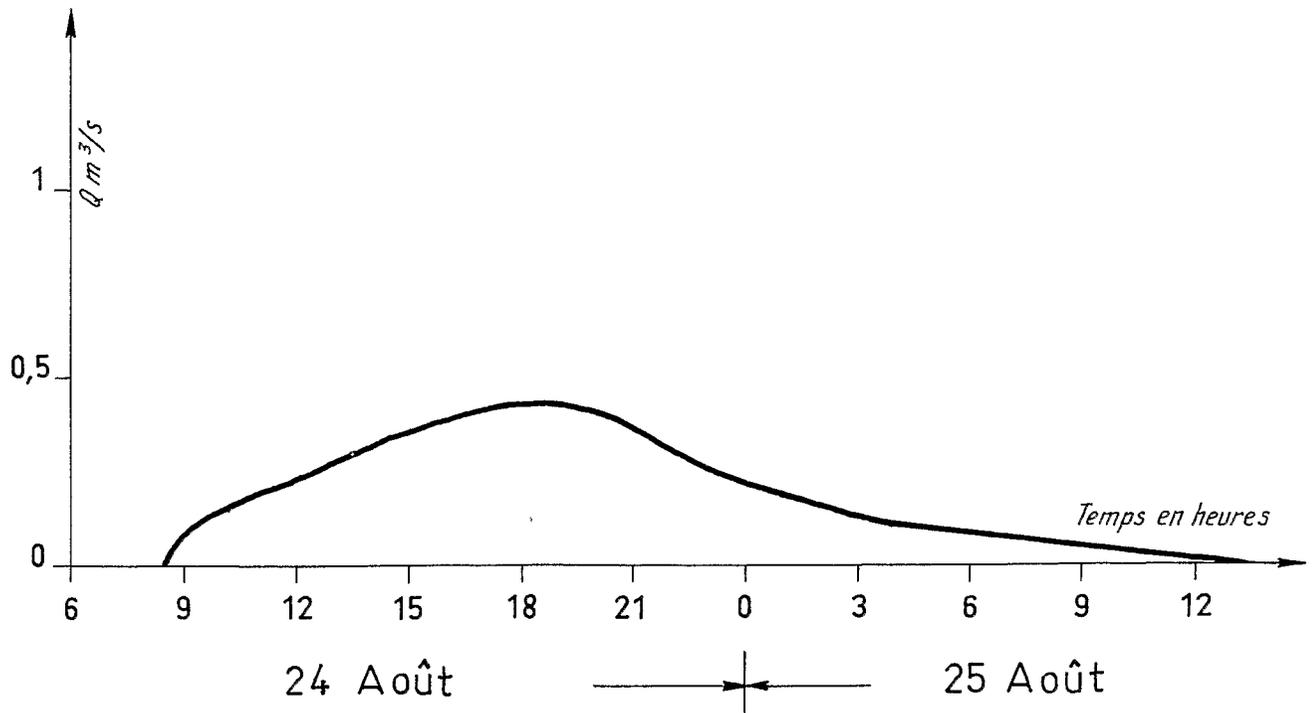
	P. max	P. min	P. moy	K
B v III	29,4	5,7	19,4	0,66
B v II	29,4	4	10,6	0,36
B v I	29,4	2,8	11,8	0,40

Hyetogramme du pluviographe n° 1

OUADI SOFOYA à la STATION II

CRUE DU 24 AOÛT 1965 - N° II 5 -

H max = 0,49 m
 Q max = 0,43 m³/s
 V_r = 21.300 m³
 K_r = 1,1 %



Crues	H max	Q max	Vr	Kr
III 3	0,27	0,03	< 288	< 0,10
II 6	0,32	0,17	6048	0,04

- Averses du 5, 6 et 7 Septembre. N° 13, 14, 15 - Crues N° III 4, II 7, I 8, II 8, II 9. (fig. 77, 78, 79 et 80).

Le 5 Septembre une averse (N° 13) de 15 minutes tombe avec une intensité maximale de 70 mm/h, la plus élevée enregistrée.

Le 6 Septembre une seconde averse (N° 14) tombe pendant 10 minutes avec une intensité constante de 10 mm/h.

Le 7 Septembre se produit une pluie importante (N° 15). D'une durée de 1 h 10, elle se réalise en deux parties ayant chacune des intensités maximales de 48 et 30 mm/h.

La carte en courbes isohyètes de ces trois pluies cumulées montre que les zones les plus arrosées se situent quelques kilomètres à l'Est de la station I et au Nord du bassin II, en son milieu.

Bassin	P max	P min	P moy	K
III	24,6	2,1	15,6	0,63
II	36	2,1	17,4	0,48
I	44,1	2,1	20,4	0,47

La pluie du 5 Septembre (N° 13) provoque une crue aux stations I et II. A la station II la première pointe de la crue N° II 7 correspond au ruissellement local puis un long palier traduit probablement une pluie courte, de forte intensité et certainement homogène. A la station I, pour les mêmes raisons, la crue possède un sommet en palier.

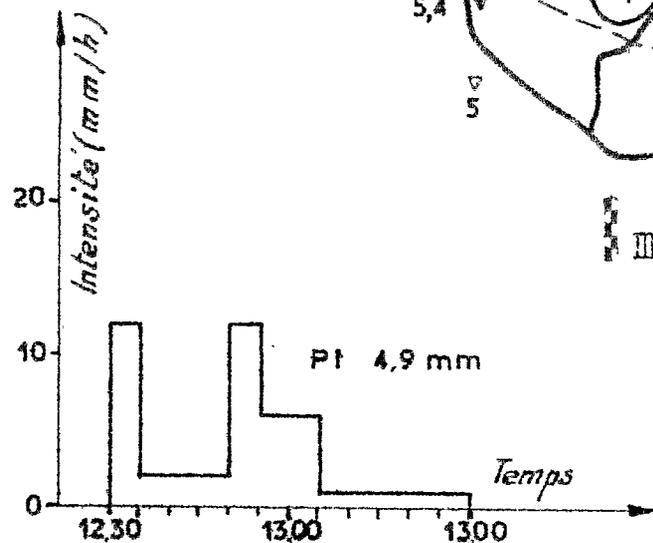
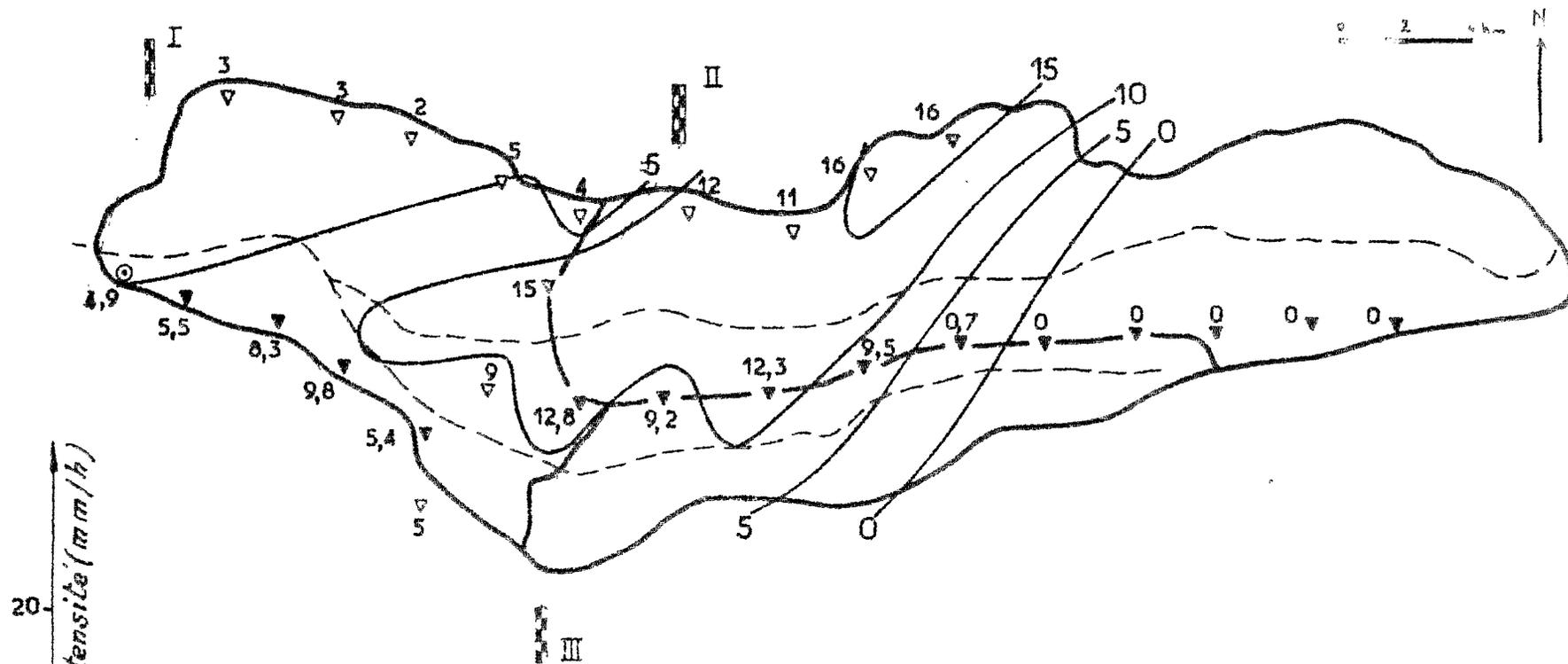
La pluie du 6 Septembre (N° 14) ne produit aucun écoulement.

Celle du 7 Septembre (N° 15) par contre provoque une crue importante. Ce sera la dernière de l'année.

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI SOFOYA

Fig:75

Isohyètes de la pluie du 2 Septembre 1965 N° 12



Hyétogramme de la pluie du 2 Septembre 1965
au pluviographe n°1

	P max.	P min	P moy.	K
Bv: III	12,3	0	4,9	0,40
Bv: II	16	0	5,9	0,37
Bv: I	16	0	5,9	0,36

CRT 7594

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

EO:

LE: 20-12-65

DES: S. NICDE

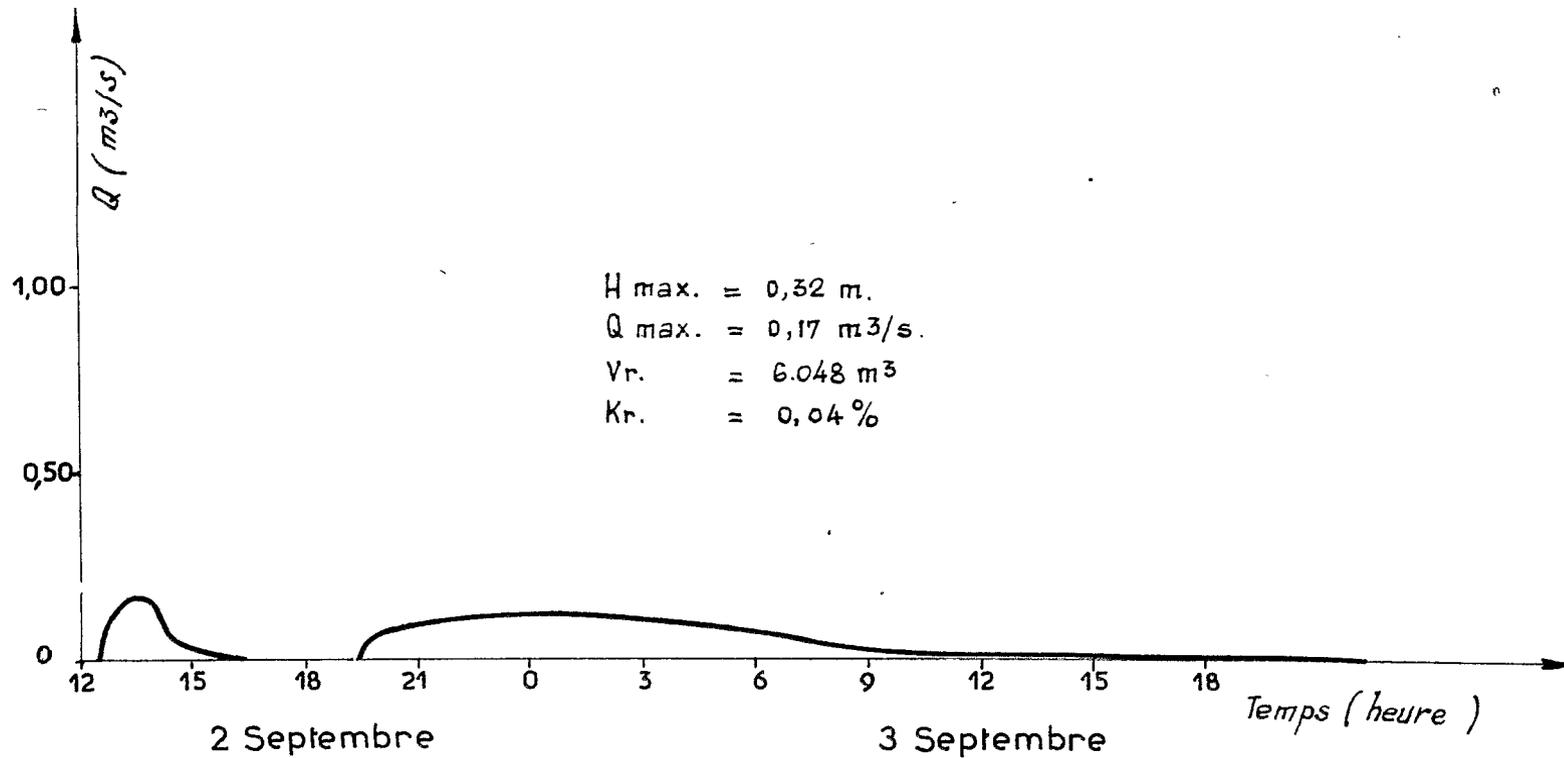
VISA:

TUBE N°

OUADI SOFOYA à la STATION II

Fig: 76

Crue du 2 Septembre 1965
N° II 6



CRT 7598

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 23-12-65

DES: S. NICOE

VISA

TUBE N°

A la station II, la crue (N° II 8) présente deux pointes puis un bombement sur la courbe de décrue. Il faut y voir trois apports différents dont le premier provient des abords de la station.

A la station I, la crue est plus régulière. Après une alimentation locale, responsable de la pointe de crue, l'apport amont continue à maintenir les eaux à une cote élevée, La décrue lente indique une bonne alimentation par l'amont du bassin. Le temps de base de 3,5 jours est le plus long de l'année.

	H max	Q max	Vr	Kr global
II 7	0,49	0,43	13 680	} Bassin II : 6,6
I 8	0,50	1,10	64 512	
II 8	0,84	3,75	183 312	} Bassin I : 5,2
I 9	0,96	3,89	311 328	

Les coefficients de ruissellement sont souvent très faibles et la dégradation hydrographique très marquée. Une crue à l'amont ne parvient à la station I que si elle est forte. L'hydrogramme à cette station correspond donc à une combinaison complexe d'hydrogrammes venant de régions différentes du bassin (quand ils veulent bien arriver jusqu'à la station). Parfois, ils se fondent, mais plus souvent ils conduisent à des pointes séparées pour lesquelles il n'est pas trop difficile de retrouver l'origine.

Le fait qu'il n'y ait qu'un seul pluviographe ne facilite pas l'interprétation qui, d'ailleurs, ne sera effectuée systématiquement qu'à l'issue de la campagne 1966.

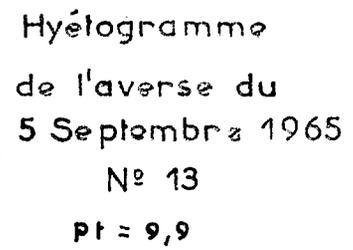
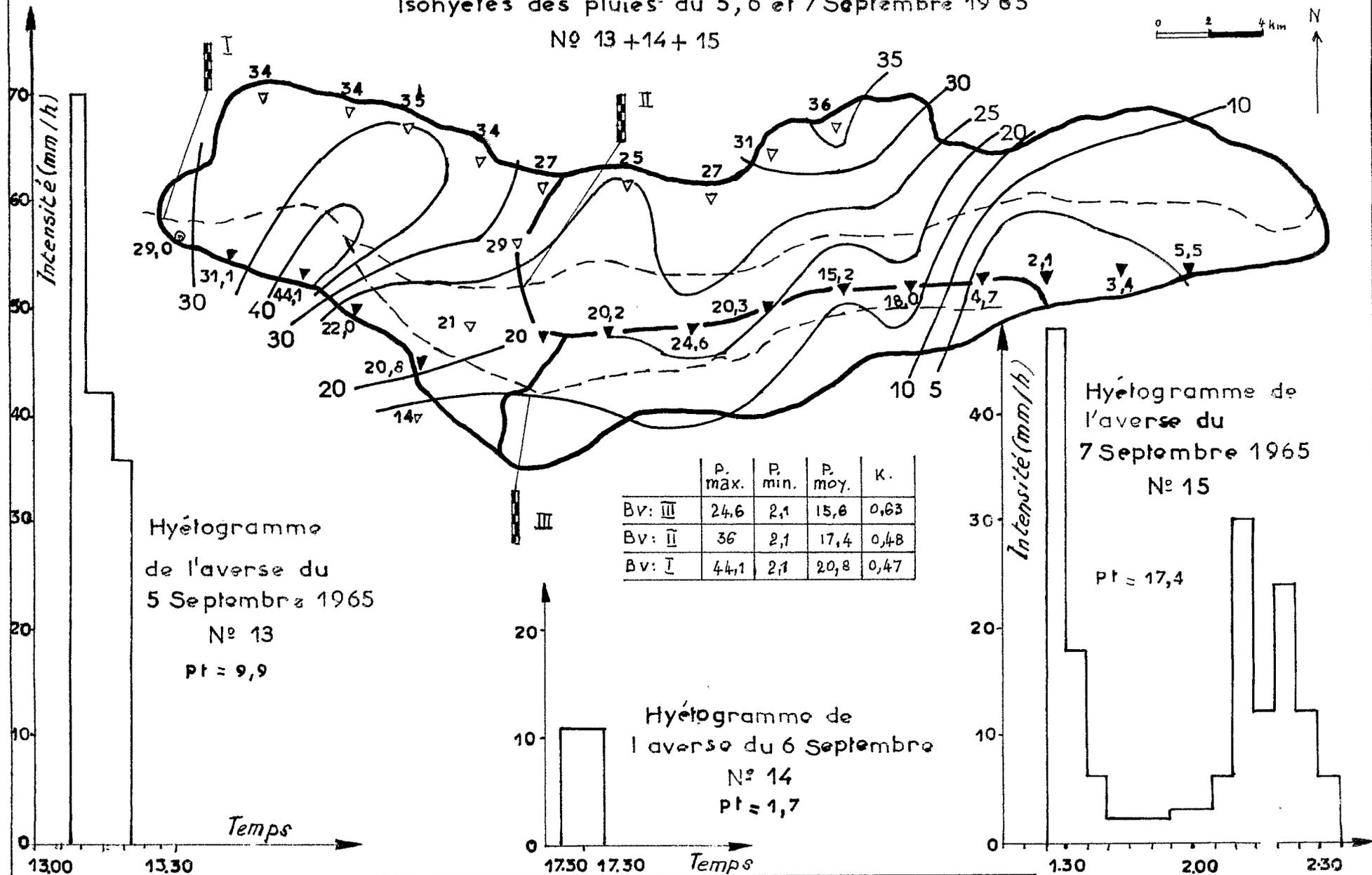
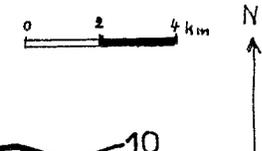
.../...

BASSIN VERSANT SUR L'OUADI SOFOYA

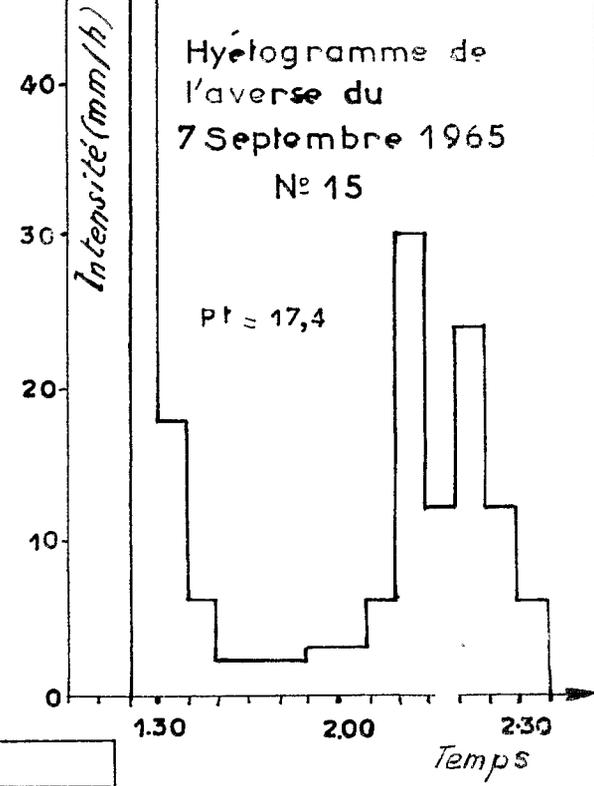
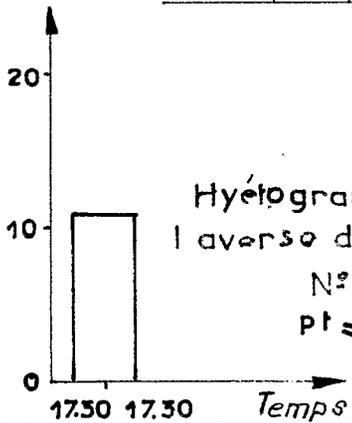
Fig:77

Isohyètes des pluies du 5, 6 et 7 Septembre 1965

N° 13 + 14 + 15



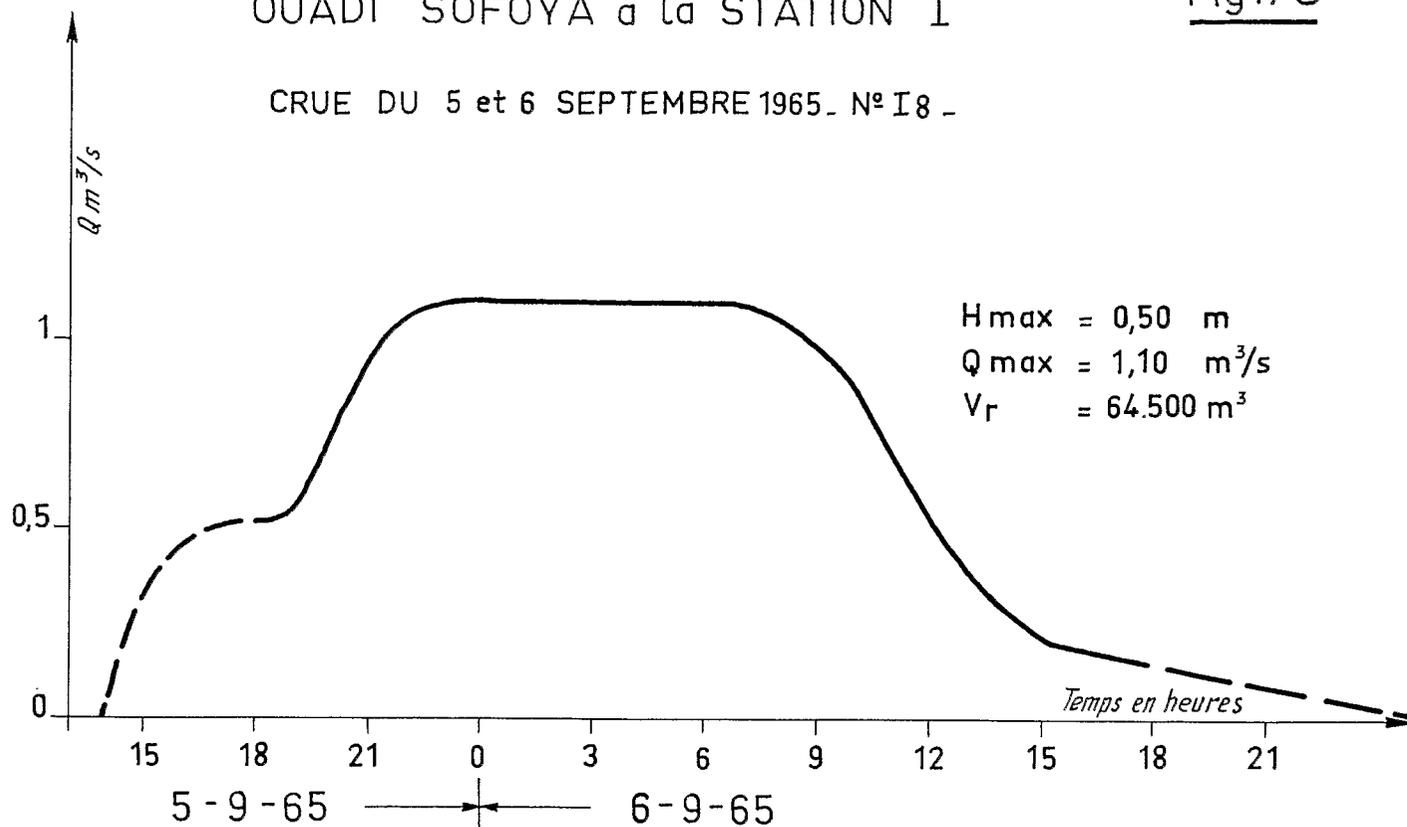
	P. max.	P. min.	P. moy.	K.
Bv: III	24,6	2,1	15,6	0,63
Bv: II	36	2,1	17,4	0,48
Bv: I	44,1	2,1	20,9	0,47



OUADI SOFOYA à la STATION I

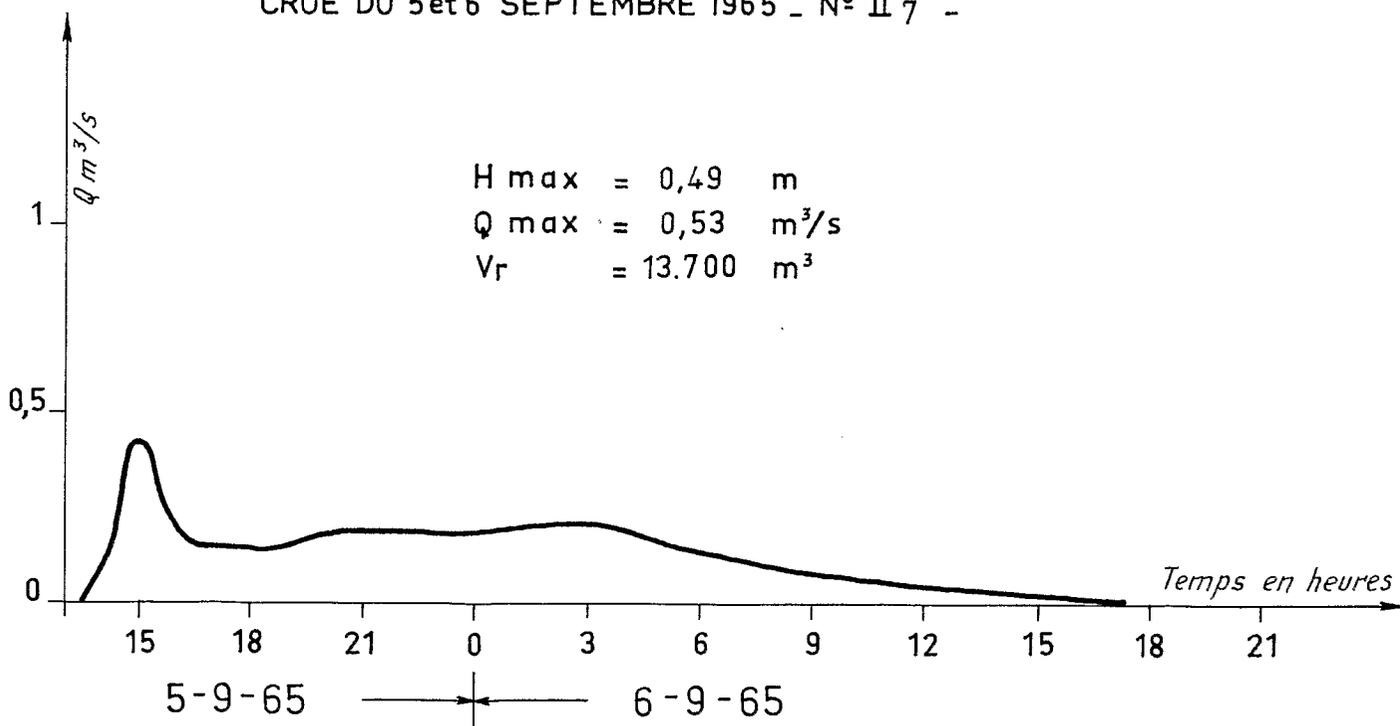
Fig:78

CRUE DU 5 et 6 SEPTEMBRE 1965. N° I 8 -



OUADI SOFOYA à la STATION II

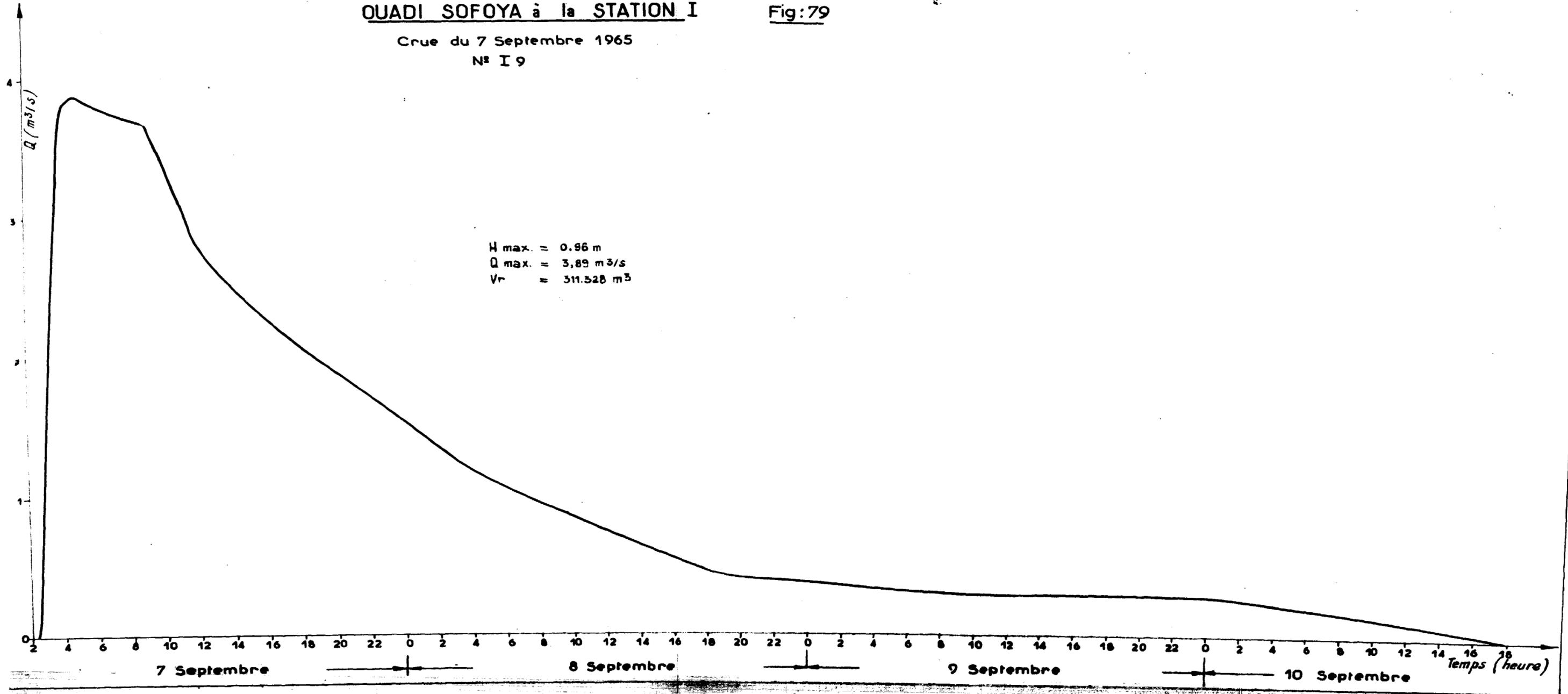
CRUE DU 5 et 6 SEPTEMBRE 1965 - N° II 7 -



OUADI SOFOYA à la STATION I

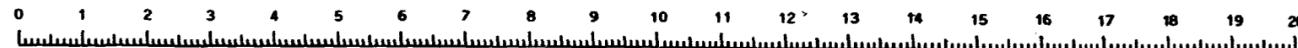
Fig:79

Crue du 7 Septembre 1965
N° I 9



H max. = 0.96 m
Q max. = 3.89 m³/s
Vr = 311.528 m³

Cette mire doit être lisible dans son intégralité
Pour A0 et A1: ABERPFTHLIJDQCGQUVWMNSZXKY
zsaecmuvnwixrfkhbdpqqjlt 7142385690
Pour A2A3A4: ABERPFTHLIJDQCGQUVWMNSZXKY
zsaecmuvnwixrfkhbdpqqjlt 7142385690

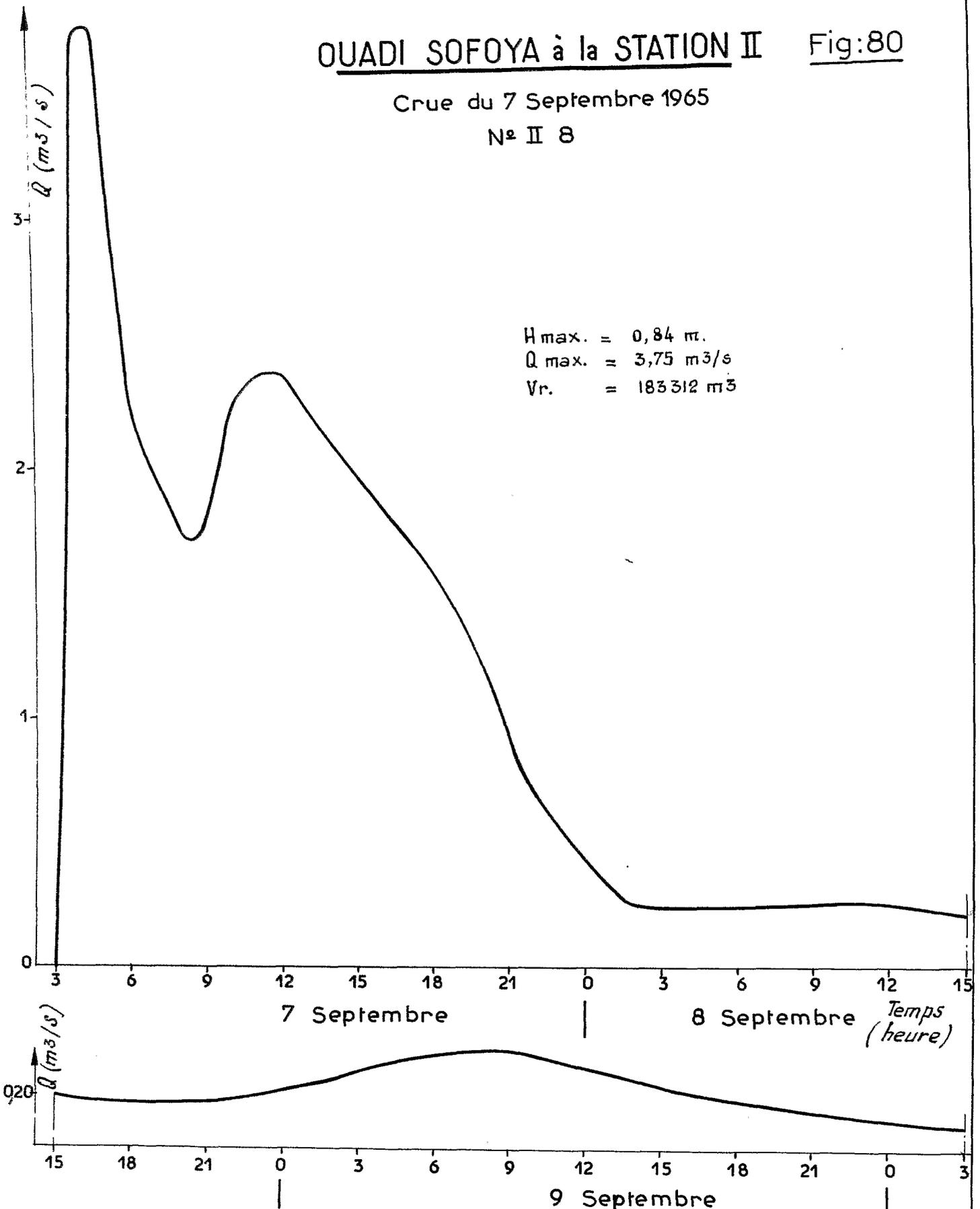


OUADI SOFOYA à la STATION II

Fig:80

Crue du 7 Septembre 1965

N° II 8



CRT 7591

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 16-12-65

DES: S. NICOE

VISA

TUBEN?

Tableau 13 : Caractéristiques des averses de l'année 1965 sur le bassin versant III de SOFOYA (62 km²).

Date	Ta (jours)	P max (mm)	P min (mm)	P moy (mm)	K
26.7	≈ 330	9,5	0	(2,8)	0,29
28.7	2	36,7	19,8	(25,7)	0,81
26 + 28.7	≈ 330	37,1	19,8	28,5	0,77
3.8	6	59,3	4,1	30,5	0,51
6.8	3	3	0	(0,8)	0,27
7 + 8.8	1	21,0	11,6	16,0	0,76
21.8	13	7,3	1,8	3,6	0,49
23.8	2	29,4	5,7	19,4	0,66
2.9	10	12,3	0	4,9	0,40
5 + 6 + 7.9	2	24,6	2,1	15,6	0,63
1965	≈ 330	164	63	119	0,73

Tableau 14 : Caractéristiques des averses et des crues de l'année 1965 sur le bassin versant II de SOFOYA (173 km²).

P L U I E S							C R U E S						
Date de l'averse	N° de l'averse	Ta (jour)	Pmax (mm)	Pmin (mm)	Pmoy (mm)	K	Hmax (m)	Qmax (m ³ /1)	Vr (m ³)	Hr (mm)	Kr %	tm (h.)	Tb (H.)
26.7	1	≈330	9,5	0	2,8	0,29	0,65	1,15	5 184	0,03	1,1	0,40	9,30
28.7	2	2	48	19,8	32,6	0,68	0,93	6,30	223 776	1,30	4,0	2,30	65
26 + 28.7	1 + 2	≈330	57	19,8	35,4	0,62			-	-	-	-	-
3.8	3	6	59,3	2,9	16,5	0,28	1,13	14,26	714 960	4,15	25,2	5,00	50
6.8	4	3	3	0	0,6	0,20	0	0	0	0	0	0	0
7 + 8.8	5 + 6 + 7	1	26	11,0	16,2	0,62	0,58	0,77	40 320	0,23	1,4	10,00	56
21.8	8	13	8	1,8	4,5	0,56							
23.8	9 + 10	2	29,4	4	10,6	0,36	0,49	0,43	21 310	0,12	1,1	10,00	29
2.9	12	10	16	0	5,9	0,37	0,32	0,17	6 048	0,035	0,6	1,00	30
5 + 6 + 7.9	13+14+15	2	36	2,1	17,4	0,48	(0,49 0,84)	(0,43 3,75)	(13 680 183 312)	(0,079 1,06)	6,6	(1,30 2,30)	(27 87)
1965	-	≈330	164	64	107,1	0,65	1,13	14,26	1208 590	7,00	6,5	-	-

Tableau 15 . Caractéristiques des averses et des crues correspondantes de l'année 1965
sur le bassin versant I de SOFOYA (345 km²).

P L U I E S									C R U E S							
Date de l'averse	N° de l'averse	Ta (jour)	Pmax (mm)	Pmin (mm)	Pmoy (mm)	K	T total (h.)	Imax (mm/h)	Hmax (m)	Qmax (m ³ /s)	Vr (m ³)	Hr (mm)	Kr %	tp (h.)	tm (h)	Tb (h.)
26.7	1	≈330	16,5	0	3,9	0,24	-	-	0,38	0,46	1 440	0,004	0,1	-	0.10	1,20
28.7	2	2	48	13	28,6	0,60	1,20	30	1,44	9,68	565 056	1,64	5,7	8.00	6.10	67
26+28.7	1 + 2	≈330	57	16	34,3	0,60	-	-						-	-	
3.8	3	6	59,3	2,9	21,0	0,35	2,20	54	1,45	9,85	656 640	1,90	9,1	15.00	15.30	76
6.8	4	3	4	0	1,2	0,30			0,39	0,51	7 920	0,023	19,2	5.45	1.00	13
7+ 8.8	5+6+7	1	26	8,0	15,5	0,60		42	(0,62	1,78	46 512	0,13	1,7	5.30	2.40	26
								(0,38	0,46	9 360	0,027	6.10		2.45	13	
								(0,42	0,66	33 840	0,098	26.00		5.30	32	
21.8	8	13	15,0	1,8	6,2	0,41	2.10	42	0,22	0	-	-	-	-	-	-
23.8	9 + 10	2	29,4	2,8	11,8	0,40	1.00	12	0	-	-	-	-	-	-	-
2.9	12	10	16	0	5,7	0,36	0,30	12	0	0	-	-	-	-	-	-
5+6+7.9	13+14+15	2	44,1	2,1	20,8	0,47		70	0,50	1,10	70 512	0,204	5,3	10.00	9.00	36
									0,96	3,89	311 328	0,90		3.00	2.30	88
Total 1965	-	≈330	168	63	114,7	0,68	-	70	1,45	9,85	1 702 608	4,92	4,3	-	-	352

6.3.- HAUTEURS D'EAU ET DEBITS CLASSES - MODULES ET DEBITS MOYENS MENSUELS

6.3.1.- Hauteurs d'eau classées

La courbe des hauteurs d'eau classées de toutes les crues de 1965 (fig. 81) permet de déduire les résultats suivants :

La hauteur d'eau est supérieure au zéro de l'échelle, c'est-à-dire qu'il y a accumulation ou écoulement d'eau dans le lit de l'ouadi pendant 616 heures soit 26 jours. Lors de la crue du 26 Juillet le lit est inondé pour la première fois de l'année. Le niveau de l'eau reste ensuite supérieur au zéro du 28 Juillet au 14 Août. Le 21 Août il y a accumulation d'eau. Enfin après la crue du 5 Septembre le lit ne redevient à sec que le 13 Septembre.

La hauteur maximale atteinte est de 1,45 m.

La hauteur dépassée pendant 12 h est de 1,32 m, pendant 24 h de 1,15 m.

Pendant 308 heures soit la moitié de la période pendant laquelle l'eau est supérieure au zéro, la hauteur d'eau est supérieure à 0,29 m.

6.3.2.- Débits classés

La courbe des débits classés pour l'ensemble des crues de 1965 (fig. 81) montre que le temps pendant lequel se produit l'écoulement est nettement plus réduit que celui pendant lequel la cote de l'eau est supérieure au zéro. Etant donné que l'écoulement ne débute qu'à la cote 0,28, il atteint seulement 352 h, soit près de 15 jours.

Le débit maximal atteint est de 9,85 m³/s.

Le débit dépassé pendant 12 h est de 7,60 m³/s. et pendant 24 h de 5,30 m³/s.

Pendant 7 jours et demi soit la moitié du temps pendant lequel s'effectue l'écoulement, le débit reste supérieur à 0,50 m³/s.

Le volume total annuel à la station I a été de 1.702.000 m³ correspondant à un module annuel théorique de 54 l/s.

Les débits moyens mensuels ont été les suivants : Juillet : 211 l/s., Août : 396 l/s., Septembre : 27 l/s. Le déficit d'écoulement a été de 110 mm. Le coefficient d'écoulement global 4,3 %.

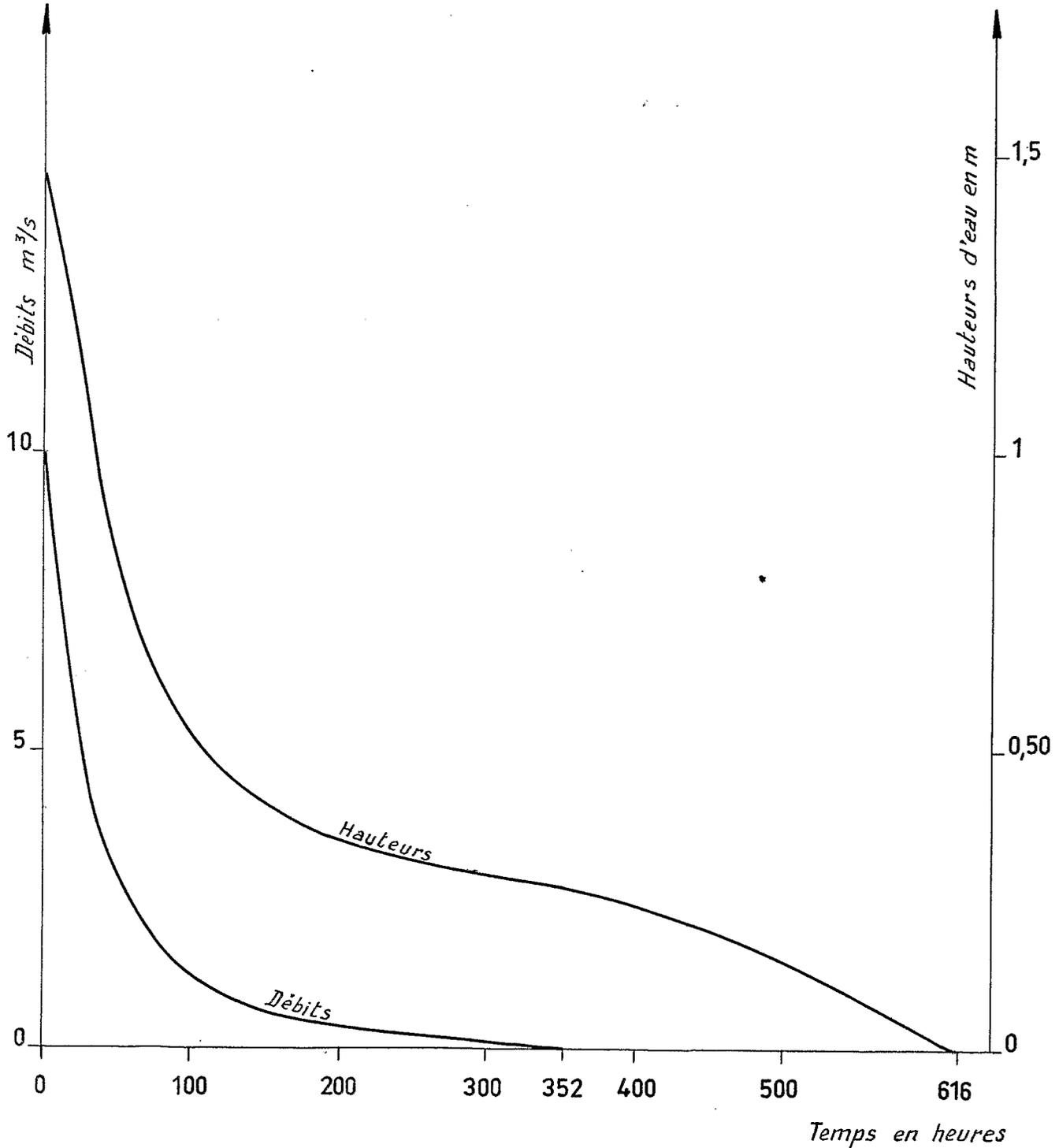
6.4.- DEBIT SOLIDE

Lors de l'étude de l'OUADI FERA à AM NABAK nous avons exposé les méthodes de prélèvements et de mesures du débit solide. La même méthode a été utilisée à SOFOYA.

OUADI SOFOYA à la STATION I

Fig: 81

COURBES DES DÉBITS ET HAUTEURS D'EAU CLASSÉS POUR L'ANNÉE 1965



ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES			
ED:	LE:	DES:	VISA:
			TUBE N°
CRT			

6.4.1.- Débit solide en fonction de la hauteur d'eau

10 mesures du débit solide ont été effectuées en 1965. Le tableau ci-dessous rassemble les résultats.

Date	H (m)	Q (m ³ /s.)	Q _s (g/s)
29.7	1,17	5,465	1295
29.7	0,81	2,960	382
4.8	1,44	9,680	1636
5.8	0,52	1,210	1083
5.8	0,49	1,045	408
6.9	0,51	1,155	245
6.9	0,49	1,045	242
6.9	0,39	0,505	578
7.9	0,94	3,760	799
7.9	0,81	2,960	725

On notera que les eaux sont assez peu chargées, ce qui est en rapport avec les faibles coefficients de ruissellement. On aurait certainement des résultats très différents pour un bassin de 2 à 5 km² à assez forte pente.

Les points représentatifs du débit solide en fonction de la hauteur d'eau sont relativement dispersés. La date des prélèvements ni le fait de les effectuer pendant la montée des eaux ou la décrue ne semblent responsables de cette dispersion. On aboutit ainsi à une droite moyenne (fig. 82) qui permet de tracer les courbes de débit solide en fonction du temps pour chaque crue.

6.4.2.- Poids et volume de matière transportée en suspension

Les courbes de débit solide en fonction du temps permettent par planimétrage d'évaluer le poids de matière solide en suspension transporté à chaque crue.

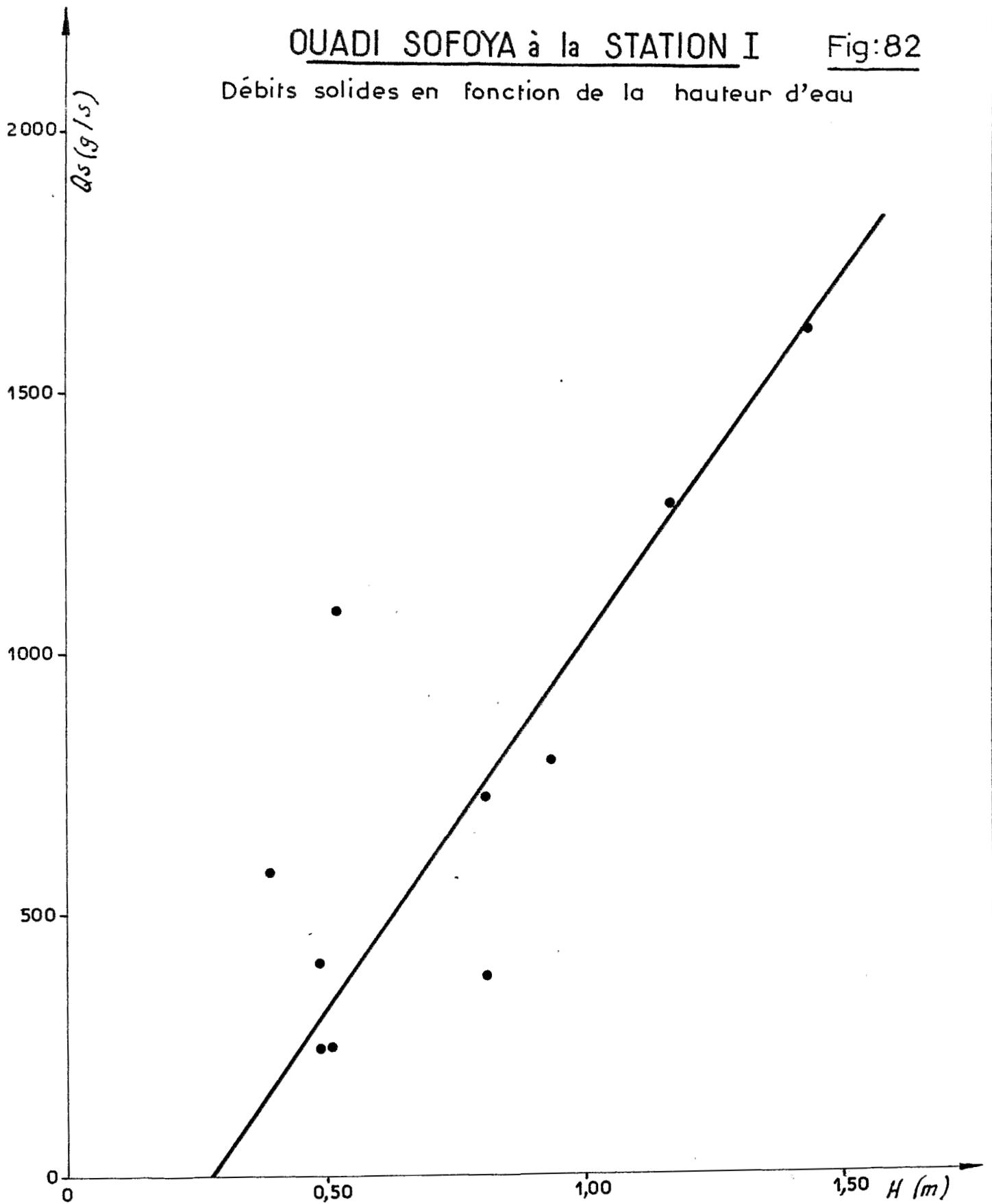
Le tableau 16 présente ces résultats.

Dans l'étude des débits solides à AM NABAK nous avons admis une densité apparente $\rho_a = 1,7$ pour ce genre de dépôts. Ces 405 tonnes représenteraient ainsi un volume total annuel de 238 m³ de sédiments.

OUADI SOFOYA à la STATION I

Fig:82

Débits solides en fonction de la hauteur d'eau



CRT 7600

ORSTOM - CENTRE DE RECHERCHES TCHADIENNES

ED:

LE: 24-12-65

DES: S. NICOE

VISA

TUBEN°

Tableau N° 16 : Poids de matière solide en suspension transporté à chaque crue.

Crue	H max (m)	Q max (m ³ /s)	Vr (m ³)	Ps (tonne)
I 1	0,38	0,46	1440	0,7
I 2	1,44	9,68	565 056	125
I 3	1,45	9,85	656 640	148
I 4	0,39	0,51	7 920	2
I 5	0,62	1,78	46 512	13
I 6	0,38	0,46	9 360	3
I 7	0,42	0,66	33 840	10
I 8	0,50	1,10	70 512	20
I 9	0,96	3,89	311 328	83
Année	1,45	9,85	1702 608	405

6.5.- ETUDE DE LA NAPPE AQUIFERE

6.5.1.- Résultats géophysiques

Deux campagnes de prospection par sismique réfraction ont été entreprises par la C.G.G. sur l' O. SOFOYA, l'une à la station I, aux alentours de BIR NIELETTE, l'autre une dizaine de kilomètres en aval.

Les coupes géophysiques et géologiques * permettent de préciser l'hydrogéologie du site du futur barrage et de choisir éventuellement l'emplacement de nouveaux piézomètres. L'étalonnage de ces documents sismiques est exposé dans l'étude d' AM NABAK. Nous reproduisons ici la position des coupes géophysiques et des piézomètres (fig. 83).

Le recouvrement alluvial ne dépasse pas 3 à 4 m. Plusieurs bassins d'altération orientés Nord Ouest - Sud Est coupent l' O. SOFOYA. Ils sont principalement constitués d'arènes granitiques et de granite plus ou moins altéré.

L'axe du premier est perpendiculaire au futur barrage, 3 piézomètres PZ 1, PZ 2, PZ 3 y sont implantés et rencontrent la nappe entre 10 et 20 m de profondeur.

Le piézomètre PZ 4, situé dans le deuxième sillon, n'a pas rencontré de nappe en Mai 1965.

6.5.2.- Variations du niveau piézométrique de la nappe

Les mesures du niveau dynamique dans les piézomètres sont présentées en annexe.

Les courbes de variations du niveau dynamique (fig. 84) mettent en évidence l'évolution de la nappe pendant et après la saison des pluies 1965. Le volume écoulé à chaque crue est représenté par un trait de longueur proportionnel.

- Système de recharge (fig. 85)

Lors d'une crue l'alimentation se fait par infiltration des eaux dans le lit mineur et dans la plaine inondée (1). Ces eaux souterraines ont par suite tendance à s'étaler dans le bassin d'altération et l'on enregistre une remontée dans les piézomètres (2). Cette remontée passe par un maximum. L'étalement de part et d'autre du lit se continue et on constate alors une baisse du niveau piézométrique (3) qui reste cependant à un niveau supérieur à ce qu'il était avant la crue.

- Recharge observée

Jusqu'à la première pluie et crue (I 1) du 26 Juillet le niveau piézométrique continue à descendre. C'est du moins ce que l'on observe dans les PZ 2 et PZ 3, les PZ 1 et PZ 4 étant à sec, ce dernier le restera jusqu'en Septembre.

Cette première petite crue stabilise les niveaux mais ne produit aucune remontée.

.. / ...

* Etudes hydrologiques dans l' Ouaddaï par prospection géophysique et sondages de reconnaissance 1965.

Il faut attendre la grande crue (I 2) du 28 Juillet pour que commence la recharge de la nappe. Ceci se réalise avec un décalage d'une journée dans les PZ 1 où la nappe apparaît et de 3 jours dans les PZ 3 et PZ 2. La hauteur d'eau dans le lit reste alors supérieur au zéro de l'échelle jusqu'au 14 Août. La remontée est rapide, elle se continue après la crue (I 3) du 3 Août. Cet écoulement très important provoque un premier maximum des cotes piézométriques 4 jours après la pointe de crue.

La présence permanente d'eau dans le lit et le passage de petites crues qui suivent ne suffisent pas à maintenir les niveaux piézométriques aux cotes atteintes l'étalement des eaux souterraines dans le sillon d'altération produit une baisse générale dans les piézomètres. C'est avec retard que se manifeste ce nouvel apport d'eau. La descente est freinée dans le PZ 1, le niveau remonte dans les PZ 2 et PZ 3.

Les niveaux sont presque stabilisés quand les deux crues (I 8 et I 9) de Septembre provoquent une remontée générale de la nappe. A la fin du mois l'eau apparaît dans le PZ 4.

Les mesures suivantes, effectuées en Décembre et Février, montrent une descente du niveau piézométrique à tous les points d'observation.

En conclusion, la recharge de la nappe par les crues est extrêmement nette. Elle débute dès les premiers écoulements. La remontée du niveau piézométrique semble bien être proportionnelle à l'importance de la crue qui la provoque.

Le bassin d'altération où est implanté PZ 4 devient aquifère à la fin de la saison des pluies.

Les hauteurs de recharges maximales de la nappe ne doivent pas être mesurées d'après les pointes observées en Août, pour les raisons déjà exposées. On peut estimer que le maximum de remontée du niveau piézométrique se produit en Octobre et on peut évaluer la hauteur de recharge annuelle aux différents piézomètres.

PZ 1	2,50 m
PZ 2	3,70 m
PZ 3	3,30 m
PZ 4	2 m

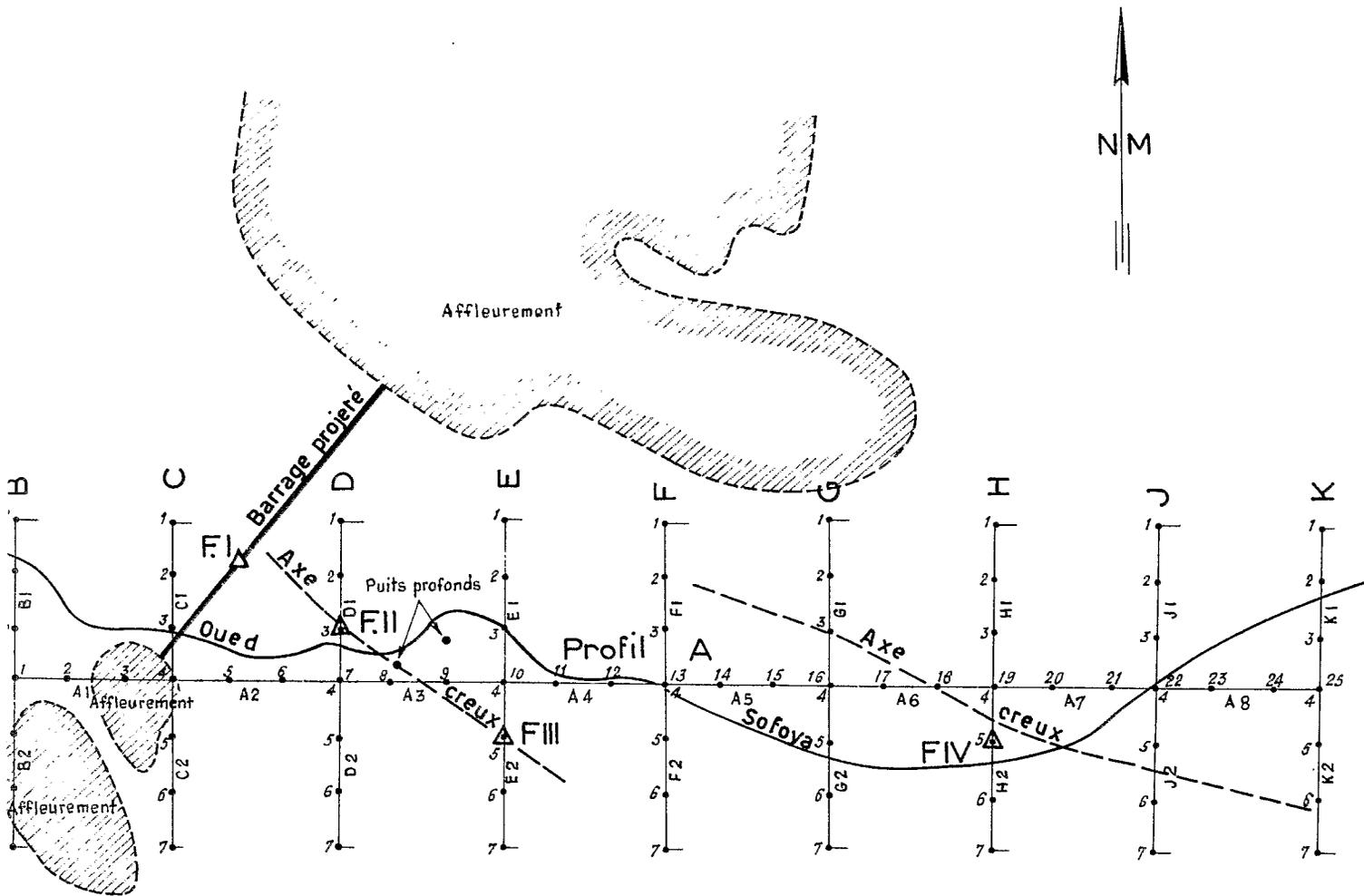
En évaluant, pour ce type de terrain, les coefficients d'emménagement compris entre 5 et 10%, les modules de recharge seraient les suivantes :

PZ 1	:	1250 m ³ /hectare	< V <	2500 m ³ /hectare
PZ 2	:	1850 m ³ /hectare	< V <	3700 m ³ /hectare
PZ 3	:	1650 m ³ /hectare	< V <	3300 m ³ /hectare
PZ 4	:	1000 m ³ /hectare	< V <	2000 m ³ /hectare

SOFOYA STATION I (Bir Nielette)

(Reproduction de l'étude effectuée par la Compagnie
Générale de Géophysique)

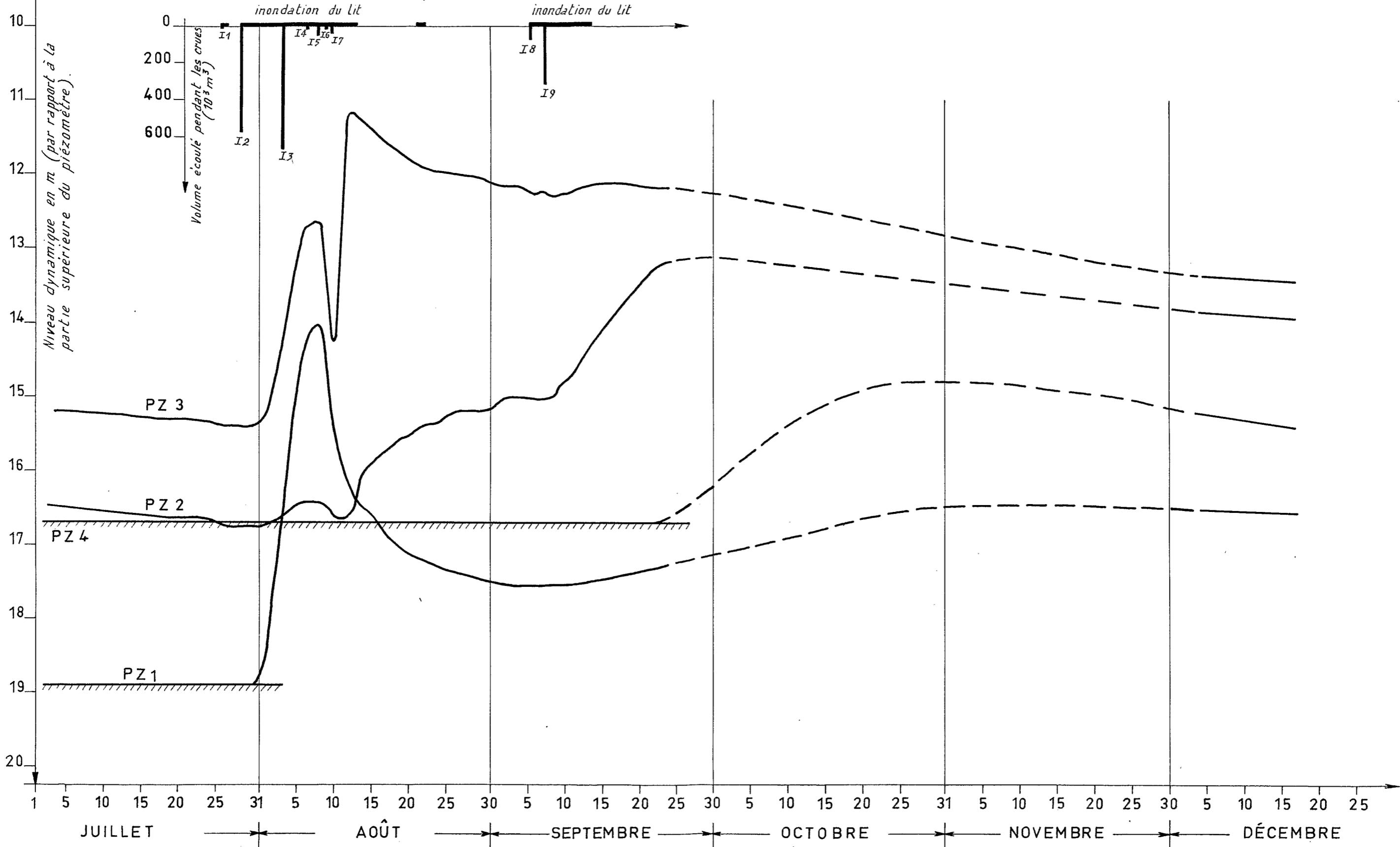
Echelle 1/10.000^e



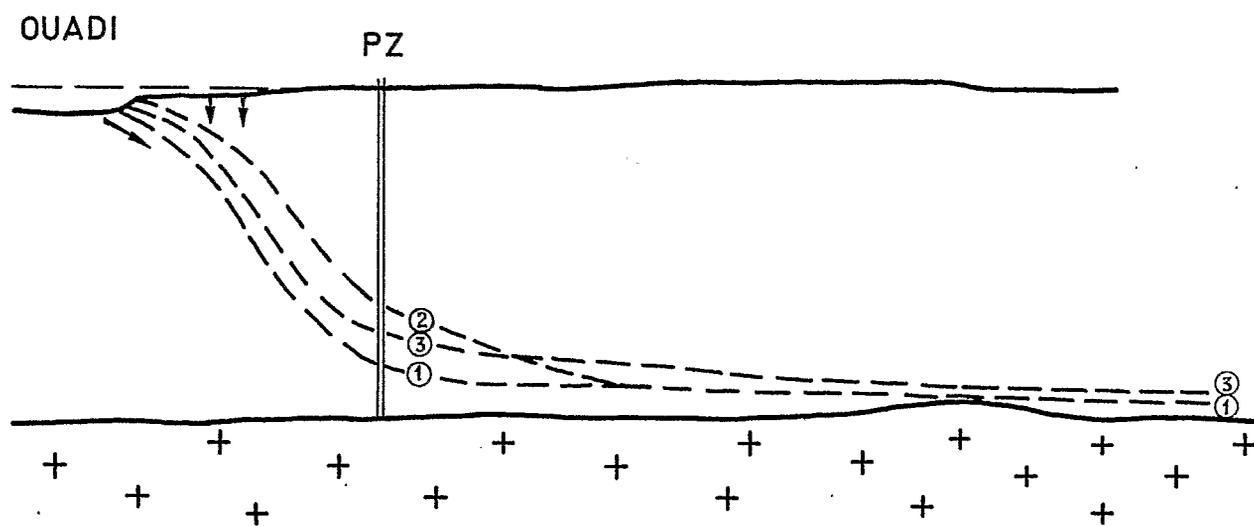
SOFOYA

Fig:84

Variations des niveaux dynamiques dans les piézomètres 1965-66



ÉVOLUTION DU NIVEAU PIEZOMÉTRIQUE A LA SUITE D'UNE CRUE



- ① Niveau initial
- ② Montée du niveau
- ③ Étalement des eaux souterraines

7°. - OUADI ENNE A BILTINE

En 1965, 6 crues se produisent à BILTINE, elles se répartissent du 21 Août au 8 Septembre.

La hauteur maximale observée est de 0,78 m soit un débit maximal de 21,8 m³/s. Le volume écoulé total annuel est de 853,920 m³.

Le tableau ci-dessous mentionne les principales caractéristiques des crues.

N°	Date	H max (m)	Q max (m ³ /s)	Vr (m ³)
1	21.8	0,17	1,9	25.920
2	23.8	0,46	7,5	155.520
3	28.8	0,68	16,5	226.080
4	30.8	0,06	0,6	12.240
5	5.9	0,35	5,0	92.160
6	6.9	0,78	21,8	342.000
Année		0,78	21,8	853.920

.../...

8°. - OUADI OUM CHALOUBA A OUM CHALOUBA

La pluviométrie annuelle de 47 mm à OUM CHALOUBA est nettement déficitaire et aucun écoulement ne se réalise dans le ouadi au cours de la saison des pluies. L'unique crue de l'année s'est produite en Mars alors que la station n'était pas encore installée.

9°. - CONCLUSIONS SUR L'ANNEE 1965

9.1.- AM NABAK

Hauteurs, débits, volumes écoulés, coefficient d'écoulement.

En 1965, 6 crues se produisent à AM NABAK avec une hauteur d'eau maximale annuelle de 0,65 m et un débit maximal de 3,65 m³/s.

L'écoulement s'effectue pendant 8 jours non consécutifs mais on note la présence d'eau dans le lit pendant 14 jours. La hauteur d'eau et le débit dépassés pendant 24 heures sont de 0,45 m et 1,12 m³/s.

Un coefficient d'écoulement annuel peut être estimé, pour le petit bassin, de 53 km², surface maximale alimentant la station en 1965 :

Le volume total écoulé est de 282.680 m³ soit une lame d'eau ruisselée de 5,3 mm. La hauteur de pluie annuelle sur le petit bassin, compte tenu des résultats pluviométriques de BILTINE, KORNIELA, AM NABAK et SOUNTA peut être estimée à 300 mm.

$$\text{D'où } K_r = \frac{100 \cdot H_r}{P_{\text{moy.}}} = 1,8 \%$$

Cette pluviométrie correspond à la moyenne interannuelle que nous avons estimée pour la région d' AM NABAK. Cependant le volume écoulé est certainement inférieur à celui de l'année normale étant donné le nombre de petites averses et la répartition des précipitations au cours de la saison des pluies.

D'après enquête auprès des gens du village, les plus hautes eaux atteindraient la cote 1,20 m - 1,30 m ce qui représente une lame d'eau de moins de 0,50 m sur la plaine d'inondation.

Compte tenu de ce qui précède et de la morphologie du lit, de son encombrement par les herbes, on peut estimer une crue d'une centaine de m³/s comme de fréquence assez rare. La façon dont fonctionne le bassin, mais surtout le faible nombre d'observations ne permettent pas une détermination plus précise.

Débit solide

Le poids de matière solide transporté en suspension au cours des crues est de 75 tonnes ce qui correspond à un volume d'environ 44 m³ de sédiments.

../...

Variations du niveau piézométrique de la nappe aquifère

L'hydrogéologie du site est connue grâce aux coupes géophysiques et géologiques. Les variations du niveau piézométrique observées à trois piézomètres et un puits permettent de vérifier la recharge de la nappe aquifère par infiltration des eaux des crues. Les amplitudes de recharge s'échelonnent entre 0,75 et au moins 5 m. La recharge dure pendant 2 mois, les modules de recharge sont estimés compris entre 5.000 m³/hectare et 375 m³/hectare selon les points d'observation.

La décharge de la nappe apparaît régulière, les vitesses de descente observées varient de 0,33 m/mois à 0,85 m/mois.

9.2.- KADJEMEUR

Débits et hauteurs de crues

Les petites crues telles que I₂, I₃, I₄, avec des hauteurs d'eau maximales de 0,68 m et des débits maximaux de 2 m³/s, compte tenu de leurs conditions de formation, sont tout à fait susceptibles et se produisent plusieurs fois en une année. La crue de fréquence annuelle leur est certainement supérieure.

La crue I₁, consécutive aux pluies du 28 Juillet, a une fréquence assez faible. La première averse de la journée prépare un terrain favorable à un fort ruissellement. La seconde averse présente des caractéristiques de fréquence inférieure à la décennale : Hauteurs de pluie maximale ponctuelle de 77,2 et 65,7 mm. Il en est de même de la pluviométrie journalière, la hauteur de pluie maximale ponctuelle étant de 96,9 mm et 7 autres supérieures ou égales à 65 mm. Rappelons que nous avons évalué à 65 mm la précipitation journalière décennale.

Le coefficient d'abattement de 0,59 semble peut-être faible mais la hauteur de pluie moyenne sur le bassin, de 57,5 mm, n'en reste pas moins élevée.

En conclusion on peut admettre que la fréquence de la pluviométrie du 28 Juillet est inférieure à la décennale. La deuxième averse à elle seule a également une fréquence inférieure à la décennale.

Le coefficient d'écoulement, calculé par rapport à la pluviométrie totale, est de 21,3 %. Cette valeur paraît acceptable pour la crue décennale.

On serait tenté de conclure que la crue I₁ du 29 Juillet, avec une hauteur maximale de 1,78 m, un débit maximal estimé entre 50 et 100 m³/s et un volume écoulé évalué entre 1.850.000 m³ et 3.610.000 m³, a une fréquence inférieure à la décennale. Cependant des pluies moins importantes mais suffisamment rapprochées dans le temps seraient certainement susceptibles de produire une telle crue, c'est pourquoi la fréquence reste malgré tout très probablement supérieure à la décennale.

L'écoulement s'effectue pendant 7 jours. Les hauteurs et débits sont supérieurs à 0,68 m et 2,02 m³/s, 24 heures dans l'année.

Volume écoulé et coefficient d'écoulement annuels

La pluviométrie totale annuelle calculée par la somme des hauteurs moyennes des averses est de 146 mm sur le bassin I et 156 mm sur le II. C'est-à-dire qu'elle est inférieure à la moyenne interannuelle évaluée à 180 mm. D'autre part la longue période de sécheresse qui coupe la saison des pluies en deux ne favorise pas l'écoulement.

Cependant l'écoulement total annuel, évalué entre 2.078.000 m³ et 3.838.000 m³ est sans doute supérieur à la normale compte tenu de la forte crue du 29 Juillet qui fournit 88 à 94 % de ce volume écoulé.

Cette crue influe aussi sur le coefficient d'écoulement annuel, évalué entre 6 et 11%.

Débit solide

Le poids de matière solide transportée en suspension est évalué entre 500 et 1.100 tonnes, ce qui représente un volume de sédiments de l'ordre de 290 à 710 m³.

Variation du niveau piézométrique de la nappe aquifère

La recharge de la nappe aquifère s'effectue par infiltration des eaux de crues dans les alluvions quaternaires du Ouadi. Ces sédiments sont plus perméables qu'à AM NABAK et SOFOYA. Les amplitudes de recharge observée s'échelonnent entre 0,52 m et 2,28 m mais ce sont des valeurs par défaut étant donné que l'on prend comme référence les niveaux de Mai 1965. Les modules de recharges extrêmes sont également évalués par défaut entre 3.420 m³/hectare et 260 m³/hectare.

9.3.- SOFOYA

Débits de crue

Deux crues (I₂ et I₃) avoisinent 10 m³/s à la station I avec une hauteur d'eau maximale de 1,45 m, une atteint 14 m³/s (II₃) à la station II.

La première (I₂) est dûe à une hauteur de pluie moyenne de 28,6 mm, un coefficient d'abattement élevé de 0,60, mais un coefficient d'écoulement assez faible de 5,7 %.

La seconde (I₃) est produite par une averse plus faible sur l'ensemble du bassin (P moy = 21,0³) mais à hauteurs de précipitation ponctuelle plus élevées, le maximum relevé, 59,3 mm, ayant une fréquence décennale. Le coefficient d'écoulement de 9,1 % est aussi plus élevé.

La crue II₃, correspondant à la même averse, a un débit maximal de 14 m³/s dû à un coefficient d'écoulement très élevé de 25 % et à la proximité de l'épicentre.

D'après l'étude analytique des crues, la répartition spatiale de l'averse apparaît être un facteur primordial du débit de pointe.

Il semblerait que ces débits maximaux de 10 et 15 m³/s. aient une période de retour supérieure à 1 an mais inférieure à 10.

Il semble difficile d'avancer le débit maximal de la crue décennale mais il est vraisemblable qu'il se situe entre 50 et 80 m³/s. .

L'écoulement s'effectue pendant 15 jours non consécutifs. Les hauteurs et les débits restent supérieurs à 1,15 m et 5,30 m³/s. pendant 24 heures.

Volume écoulé et coefficient d'écoulement annuels

La hauteur de pluie moyenne sur chaque bassin calculée par la somme des hauteurs moyennes de toutes les averses est très voisine de la valeur trouvée par planimétrages des isohyètes annuelles (fig. 18).

	P moy. III	P moy. II	P moy. I
Somme des hauteurs moyennes	119,3	107,1	114,7
Isohyètes annuelles	113	108	113

Nous retiendrons pour le bassin I la hauteur moyenne de 114 mm et pour le bassin II, 107 mm. Ces valeurs semblent voisines de la moyenne interannuelle que nous avons estimée à 110 mm. Cependant, compte tenu de l'étalement de la saison des pluies et de la longue période de sécheresse qui l'entrecoupe, on peut cependant considérer le volume total écoulé, 1.702.600 m³ à la station I et 1.208.600 m³ à la station II, comme légèrement inférieur à la moyenne. Les coefficients d'écoulement annuels sont respectivement 4,3 et 6,5 %.

En année décennale humide nous avons estimé la hauteur de pluie annuelle à 200 mm avec un coefficient d'écoulement annuel évalué alors à 15% on obtiendrait un volume écoulé de fréquence décennale d'environ 10.600.000 m³ à la station I.

D'autre part, la hauteur de pluie décennale sèche doit être comprise entre 30 et 40 mm. Etant donné que cette hauteur de pluie peut être réalisée en une ou deux averses importantes, on peut avancer que l'écoulement annuel n'est nul que tous les 15 ou 20 ans.

.. / ...

Bien des crues passant à la station II n'atteignent pas la station I. Lorsqu'elles y passent les différences de volume écoulé indiquent souvent des pertes importantes malgré un apport supplémentaire à l'aval de la station II. Outre l'évaporation et l'infiltration immédiates, elles sont dûes en grande partie à l'étalement des eaux dans la plaine d'inondation. La vitesse de l'onde de crue entre les stations II et I mesurable par quatre fois est de 1,3 km/heure dans deux cas, 1,6 et 3 km/heure dans les autres cas.

A la station I, l'écoulement se produit pendant près de 15 jours non consécutifs alors que la hauteur d'eau reste supérieure au zéro de l'échelle pendant 26 jours.

Débit solide

Le poids de matière solide transporté en suspension est évalué à 405 tonnes ce qui représente un volume de sédiment de l'ordre de 238 m³.

Observation du niveau piézométrique de la nappe

Le niveau piézométrique continue à descendre jusqu'à la première crue mais remonte dès le passage de celle-ci. Chaque crue importante produit par la suite une remontée très nette de la nappe.

Les hauteurs maximales de recharge suivant les piézomètres sont comprises entre 2 et 3,70 mètres. Ce qui permet d'évaluer les modules de recharge compris entre 1000 et 3700 m³/hectare.

A N N E X E S

Pluviométrie journalière de l'année 1965 à la station de BILTINE

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
1									12,5				
2								10,0	0,3				
3													
4													
5								9,4	23,0				
6						6,3		5,9	43,5				
7						8,1							
8								0,9					
9													
10						0,9							
11													
12									0,9				
13													
14						8,5			0,5				
15													
16													
17													
18													
19													
20								4,5					
21						6,6		16,0					
22								14,5					
23								1,5					
24						4,6							
25													
26							18,0						
27							0,8						
28							13,3	87,0 gouttes					
29							18,4						
30				5,7		5,5			traces				
31													
Totaux	0	0	0	5,7	0	40,5	50,5	90,6	78,8	0	0	0	267,1

Pluviométrie journalière à KOUBA (du 19.7.65 au 31.12.65)

Jours	J	A	S	O	N	D	Année
1							
2			5				
3							
4							
5	du 19/7 - - ->	63	11				
6	au 5/8	4	31				
7							
8		2					
9							
10							
11							
12		5					
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20		42					
21		31					
22							
23		4					
24							
25							
26							
27		12					
28							
29							
30							
31		9					
Totaux		172	47	0	0	0	> 219

Pluviométrie journalière de l'année 1965 à AM NABAK

Jours	J	A	S	O	N	D	Année
1			3,0				
2		23,1	23,6				
3							
4		35,8					
5		4,3	3,3				
6		37,4	55,2				
7							
8		9,6					
9							
10							
11							
12		0,2					
13	Traces						
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20		2,5					
21		12,2					
22							
23		1,7					
24							
25	Traces						
26	1,5	2,2					
27	12,9	47,8					
28	4,3						
29	0,9						
30							
31		1,1					
Totaux	1 9,6	177,9	85,1	0	0	0	282,6

Pluviométrie journalière de l'année 1965 à la station d' IRIBA

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
1						10,5		8,0	10,0				
2						11,0							
3						9,5							
4								6,0					
5													
6													
7													
8													
9									11,0				
10								8,5					
11						9,5							
12						8,0							
13													
14													
15													
16							18,0		14,0				
17													
18													
19													
20													
21							8,0						
22													
23								12,0					
24													
25							12,0						
26													
27							6,0		18,0				
28							14,0						
29								8,0					
30							12,0						
31							18,0						
Totaux	0	0	0	0	0	48,5	88,0	42,5	53,0	0	0	0	232

Pluviométrie journalière de l'année 1965 à la station d' ARADA

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
1								17					
2								30					
3													
4													
5								32					
6								12	21				
7								13,5					
8								9,7					
9								30					
10													
11													
12													
13													
14						7,0							
15						6,0							
16						5,3							
17													
18													
19													
20						5,0							
21													
22													
23								12,3					
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
Totaux	0	0	0	0	0	23,3	(45,2)	156,5	21	0	0	0	(246)

Pluviométrie journalière de l'année 1965 sur les bassins versants

N° des pluviomètres	Juillet				Août							Septembre		
	26	28 N°1	28 N°2	28 N°1+2	1	2	3+4+5	8	10	21	23	1	2	7
1 A	0,3	13,6	77,2	90,8	0,5	1,4	11,5	5,6	14,7	3,5	0,5	8,7	2,3	5,9
2 T	0	6	59	65	0	0	12	5	10	3	0	4	6	12
3 A	0	11,5	41,4	52,9	0	0	0,9	0,3	*	0,4	0	6,2	4,4	5,5
4 T	0	33	51	84	0	5	1	2	13	0	4	1	8	8
5 A	0	23,4	*	*	0	8,2	9,9	3,4	15,7	0	4,6	2,4	7,4	7,8
6 T	0	16	35	51	*	22	10	3	11	1	3	9	11	12
7 A	0	15,8	32,7	48,5	0	*	*	*	14,3	0,3	0	9,6	20,8	12
8 T	0	25	41	66	3	31	24	2	24	0	0	*	15	19
9 A	0	31,2	65,7	96,9	0	*	*	*	*	*	0	*	12,6	*
10 T	0	36	44	80	2	34	6	7	16	1	*	*	6,2	48,6
11 A	0	6,5	29,6	36,1	-	46,5	6,8	2,7	*	*	0	19,9	8,2	36,8
12 T	0	(6)	(21)	27	-	31	6	10	20	1	0	15	4	25
13 A	0	(7)	(40,9)	47,9	-	20,4	6,3	2,8	13,4	0,3	1,7	1,2	3,5	11,8
14 T	0	(7)	(34)	41	-	21	5	9	8	0	4	5	6	8
15 A	0	(7)	(28,8)	35,8	-	4,5	5,7	2,4	6,9	0	0	0	4,5	6
16 T	0	(7)	(32)	39	-	4	13	5	11	0	*	*	8	12
17 A	0	(9)	(42,7)	51,7	-	4,6	24,8	*	*	2,7	0,3	7,6	6,8	4
18 T	0	(9)	(41)	50	-	4	11	5	8	4	6	6	1	6
19 A	0	(10)	(69,4)	79,4	-	0	8,5	7,8	13,1	3,3	0	8,3	0,9	4,5
20 T	0	14	52	66	-	48	7	4	14	*	*	22	14	24
21 T	0	9	51	60	*	*	*	*	-	2	*	16	12	34
BV I	0	(12,3)	(45,2)	57,5	1	21,0	10,0	4,6	13,8	1,1	1,8	9,0	8,6	18,0
BV II	0	(16,0)	(42,5)	58,5	-	26,5	9,9	4,2	15,2	0,6	1,6	9,5	9,8	20,2

S O F O Y A

Pluviométrie journalière de l'année 1965 sur les bassins versants

N° des pluvio mètres	Juillet			Août						Septembre							Total annuel	
	26	28	26+28	3	6	3+6	7+8	21	23	1	2	3	2+3	5	6	7		5+6+7
1 A	16,5	15,8	32,3	19,1	2,3	21,4	10,9	14,8	4,5	0,1	-	-	4,9	9,9	1,7	17,4	29,0	118
2 A	0	16,6	16,6	20,7	4,1	24,8	8,4	10,5	7,0	0,1	4,9	0,6	5,5	3,8	-	-	31,1	104
3 A	0,2	23,7	23,9	12,9	1,4	14,3	12,8	15,0	3,5	-	7,3	1,0	8,3	7,4	-	-	44,1	122
4 A	1,7	23,2	24,9	4,1	3,0	7,1	8,0	12	2,8	0	9,8	0	9,8	0,2	-	-	22,0	87
5 A	11,9	26,4	38,3	6,3	1,8	8,1	12,0	14,3	3,5	0	5,3	0,1	5,4	0,2	-	-	20,8	106
6 T	3	13	16	9	2	11	10	10	7	-	-	-	(5)	-	-	-	14	73
7 T	6	35	41	7	5	12	12	7	3	-	7	2	9	-	-	-	21	105
8 A	0	36,7	36,7	7,1	0,1	7,2	11,6	7,3	12,3	0	-	-	12,8	-	-	-	20	108
9 A	1	30,1	31,1	14,0	3	17,0	13,6	3	15,6	0	-	-	9,2	-	-	-	20,2	110
10 A	0	19,8	19,8	26,8	0	26,8	17,4	4,6	22,4	0	-	-	12,3	-	-	-	24,6	128
11 A	9,5	24,4	33,9	54	3	54	18,8	3,7	20,6	0	-	-	9,5	-	-	-	20,3	164
12 A	4,0	26,7	30,7	59,3	0	59,3	15,8	5,6	29,4	0	-	-	0,7	-	-	-	15,2	157
13 A	1,0	34,0	35,0	39,2	0	39,2	16,0	3,6	13,9	0	-	-	0	-	-	-	18,0	126
14 A	5,8	31,0	36,8	11,0	0	11,0	21,0	1,8	12,5	0	-	-	0	-	-	-	4,7	88
15 A	1,0	36,1	37,1	4,1	0	4,1	12,5	2,7	5,7	0	-	-	0	-	-	-	2,1	64
16 A	0	43,9	43,9	2,9	0	2,9	12,7	3,1	5,2	0	-	-	0	-	-	-	3,4	71
17 A	0	30,3	30,3	3,0	0	3,0	11,0	7	6,6	-	-	-	0	-	-	-	5,5	63
19 T	9	48	57	18	1	19	15	4	5	-	-	-	15	-	-	-	29	144
20 T	-	-	55	18	1	19	14	4	9	-	-	-	4	-	-	-	27	132
21 T	-	-	38	(34)	(1)	35	12	4	5	0	-	-	12	-	-	-	25	131
22 T	-	-	41	(20)	(0)	20	12	8	13	0	-	-	11	-	-	-	27	132
23 T	-	-	39	(12)	(0)	12	18	7	5	0	-	-	16	-	-	-	31	128
24 T	-	-	30	(12)	(0)	12	26	5	4	0	-	-	16	-	-	-	36	129
25 T	-	-	38	56	0	56	20	9	6	0	-	-	5	-	-	-	34	168
26 T	-	-	31	(38)	(1)	39	21	8	22	0	-	-	2	-	-	-	35	158
27 T	-	-	32	(36)	(1)	37	20	10	18	0	-	-	3	-	-	-	34	154
28 T	-	-	30	(21)	(2)	23	19	8	14	0	-	-	3	-	-	-	34	131

Pluviométrie journalière de l'année 1965 à la station de FADA

Jours	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	A
1													
2													
3								0,6					
4													
5													
6								1,0					
7						3,5		24,5					
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14						2,3							
15						6,1							
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22								5,3					
23													
24													
25													
26													
27							12,0						
28								6,0					
29													
30							2,4						
31													
Totaux	0	0	0	0	0	11,9	14,4	37,4	0	0	0	0	63,7

AM NABAK : Niveaux dynamiques de la nappe dans les piézomètres
et le puits au cours de la saison des pluies 1965

Date	PZ 1	PZ 2	PZ 3	PZ 4
Mai 1965	sec	11,92	12,82	13,09
5 Août 1965	-	12,37	13,23	13,27
7 -	-	12,41	13,22	12,84
11 -	-	12,39	13,32	12,74
14 -	-	12,33	13,29	12,81
16 -	-	12,14	13,26	12,86
17 -	4,20	12,27	13,25	12,98
18 -	4,19	12,26	13,25	12,90
19 -	4,19	12,23	13,25	12,92
22 -	4,18	12,15	13,23	12,95
23 -	4,18	12,12	13,27	12,97
24 -	4,12	12,11	13,26	13,00
25 -	-	-	-	12,98
27 -	4,18	12,09	13,24	12,98
29 -	3,76	12,08	13,22	12,99
30 -	3,68	12,07	13,21	12,80
31 -	3,53	12,06	13,25	12,77
1 ^o Septembre 1965	3,34	12,08	13,24	12,73
2 -	3,40	12,01	13,22	12,72
3 -	3,37	12,06	13,14	12,76
5 -	3,33	12,01	13,17	12,73
6 -	3,31	11,97	13,97	12,72
7 -	2,87	11,95	13,08	12,68
8 -	2,67	11,92	13,04	12,43
9 -	2,59	11,89	13,08	12,36
10 -	2,24	11,84	13,06	12,32
1 ^o Octobre 1965	2,91	11,31	12,63	12,69
2 -	2,94	11,32	12,65	12,71
5 Décembre 1965 (BRGM)	4,68	12,00	12,30	-
14 -	5,10	12,17	-	-
18 -	5,03	12,06	13,47	-
6 Février 1966	6,33	12,67	14,18	-

KADJEMEUR : Niveaux dynamiques de la nappe dans les piézomètres
et le puits au cours de 1965.

Date	PZ 1	PZ 2	PZ 3	Puits
31 Mai 1965	5,52	5,18	5,40	
2 Août 1965	5,55	5,16	4,45	5,82
4 -	5,53	5,09	4,42	5,77
7 -	5,42	4,80	3,45	5,77
8 -	5,43	4,77	3,57	5,77
9 -	5,41	4,66	3,71	5,83
10 -			3,67	
11 -	5,26	4,57	3,67	5,69
12 -			3,12	5,69
13 -	5,16	4,38	3,15	5,62
14 -	5,08	4,29	3,19	5,68
15 -	5,02)	4,30)	3,28)	5,57)
15 -	5,00)	4,28)	3,27)	5,56)
16 -	4,91	4,25	3,22	5,55
17 -	4,92	4,22	3,32	5,55
18 -	4,88	4,30	3,37	5,56
20 -	4,91	4,28	3,44	5,47
21 -	4,90	4,33	3,47	5,44
22 -	4,85	4,34	3,53	5,53
23 -	4,82	4,35	3,51	5,40
24 -	4,85	4,40	3,56	5,39
25 -	4,89	4,42	3,63	5,39
26 -	4,90	4,43	3,66	5,39
27 -	4,89	4,41	3,70	5,37
28 -	4,90	4,41	3,72	5,34
29 -	4,93	4,50	3,77	5,34
30 -	4,93	4,50	3,79	5,33
31 -	4,92	4,50	3,83	5,32
1 ^o Septembre 65	4,92	4,50	3,84	5,34
2 -	4,91	4,51	3,87	5,33
3 -	4,94	4,53	3,90	5,32
4 -	4,94	4,56	3,92	5,34
5 -	4,92	4,54	3,93	5,30
6 -	4,94	4,57	3,96	5,31
7 -	4,95	4,58	3,98	5,40
10 -	4,96	4,71	4,02	Impossible
11 -	4,97	4,68	4,05	5,29
12 -	4,96	4,67	4,08	5,31
13 -	4,98	4,68	4,09	5,33
14 -	4,99	4,68	4,15	5,34
15 -	4,99	4,70	4,15	5,36
16 -	5,00	4,71	4,17	5,34

.../...

KADJEMEUR : Niveaux dynamiques de la nappe dans les piézomètres
et le puits au cours de 1965.

(suite)

Date	PZ 1	PZ 2	PZ 3	Puits
17 Septembre 1965	5,04	4,72	4,18	5,34
18 -	5,04	4,74	4,21	5,34
19 -	5,04	4,75	4,22	5,34
20 -	5,04	4,75	4,24	5,33
21 -	5,05	4,76	4,27	5,35
15 Décembre 1965	6,31	5,84	5,58	7,10
16 -	6,31	5,82	5,56	6,39
5 Février 1966	7,43	7,26	7,21	

SOFOYA : Niveaux dynamiques de la nappe dans les piézomètres
au cours de 1965

Date	PZ 1	PZ 2	PZ 3	PZ 4
2 Juillet 1965	18,87	16,45	15,19	16,70
9 -	18,87	16,55	15,23	16,70
16 -	18,87	16,63	15,31	16,70
23 -	18,87	16,63	15,32	16,70
26 -	18,87	16,72	15,39	16,70
28 -	18,87	16,72	15,39	16,70
30 -	18,87	16,73	15,40	16,70
1 ^o Août 1965	NM	16,70	15,22	16,73
6 -	14,32	16,40	12,74	16,69
8 -	14,02	16,45	12,65	16,70
10 -	15,40	16,65	14,27	16,70
12 -	NM	16,55	11,30	16,70
13 -	16,42	16,10	11,32	16,70
17 -	16,83	15,71	11,55	16,70
18 -	16,95	15,59	11,62	16,70
20 -	17,10	15,52	11,76	16,70
21 -	17,14	15,42	11,78	16,70
22 -	17,20	15,40	11,83	16,70
24 -	17,29	15,35	11,95	16,70
26 -	17,34	15,24	11,96	16,70
28 -	17,39	15,21	12,02	16,70
31 -	17,49	15,17	12,14	16,69
1 ^o Septembre 1965	17,50	15,06	12,16	16,69
3 -	17,52	15,04	12,17	16,69
6 -	17,52	15,05	12,29	16,69
7 -	17,53	15,03	12,21	16,69
8 -	17,53	15,03	12,32	16,69
9 -	17,52	14,85	12,28	16,70
10 -	17,54	14,80	12,28	16,69
11 -	17,52	14,65	12,22	16,69
13 -	17,51	14,37	12,15	16,69
21 -	17,32	13,35	12,18	16,69
24 -	17,29	13,17	12,19	16,65
4 Décembre 1965 (BRGM)	16,52	12,87	12,37	15,21
17 -	16,58	13,96	13,45	15,42
4 Février 1966	14,96	14,57	17,00	16,40

LISTE DES FIGURES

1 - DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE

- fig. 1. Situation générale de la région étudiée.
- fig. 2. Carte des bassins versants étudiés dans le OUADDAI et le MORTCHA
- fig. 3. Courbe hypsométrique du bassin versant de l' O. FERA à AM NABAK.

2 - DONNEES CLIMATOLOGIQUES

- fig. 4. ABEICHE. Insolation journalière moyenne.
- fig. 5. ABEICHE. Températures moyennes mensuelles.
- fig. 6. ABEICHE. Humidité relative moyenne mensuelle.
- fig. 7. ABEICHE. Evaporation PICHE journalière moyenne.
- fig. 8. ABEICHE. Répartition statistique des pluies annuelles. Loi de GALTON.
- fig. 9. BILTINE. Répartition statistique des pluies annuelles. Loi de GALTON.
- fig. 10. FADA . Répartition statistique des pluies annuelles. Loi de GALTON.
- fig. 11. Précipitations mensuelles.
- fig. 12. ABEICHE. Répartition statistique des pluies journalières maximales. Loi de GUMBEL.
- fig. 13. ABEICHE. Répartition statistique des pluies journalières. Loi Gausso-logarithmique tronquée.
- fig. 14. BILTINE. Répartition statistique des pluies journalières maximales. Loi de GUMBEL.
- fig. 15. BILTINE. Répartition statistique des pluies journalières. Loi gausso-logarithmique tronquée.
- fig. 16. FADA . Répartition statistique des pluies journalières maximales. Loi de GUMBEL.

3 - RESULTATS ET CARACTERISTIQUES PLUVIOMETRIQUES DE L'ANNEE 1965

- fig. 17. Pluviométrie 1965 sur le OUADDAI et le MORTCHA.
- fig. 18. SOFOYA. Isohyètes de la pluviométrie annuelle 1965.

4 - BASSIN DE L'OUADI FERA A AM NABAK

- fig. 19. Profil en travers de la station limnimétrique.
- fig. 20. Courbes de tarage.
- fig. 21. Crues de 1965.
- fig. 22. Réseau hydrographique en amont de la station.
- fig. 23. Crues du 2 et 3 Août 1965.
- fig. 24. Crues du 5 et 6 Août 1965.
- fig. 25. Crue du 28 Août 1965.
- fig. 26. Crue du 7 Septembre 1965.

../...

- fig. 27. Courbes des hauteurs d'eau et débits classés. Année 1965.
- fig. 28. Débits solides en fonction de la hauteur d'eau.
- fig. 29. Positions des coupes géophysiques et des piézomètres.
- fig. 30. Variations du niveau piézométrique dans les piézomètres et les puits.

5 - OUADI KADJEMEUR

- fig. 31. Equipement pluviométrique et hydrométrique.
- fig. 32. Profil en travers de la station I.
- fig. 33. Courbe de tarage de la station I.
- fig. 34. Crues de l'année 1965.
- fig. 35. Première pluie du 28 Juillet 1965. N° 1.
- fig. 36. Deuxième pluie du 28 Juillet 1965. N° 2.
- fig. 37. Hyétogramme de la deuxième pluie du 28 Juillet 1965.
- fig. 38. Isohyètes des 2 pluies cumulées du 28 Juillet 1965. N° 1 + 2.
- fig. 39. Pluie du 1er Août 1965. N° 3.
- fig. 40. Isohyètes de la pluie du 2 Août 1965. N° 4.
- fig. 41. Isohyètes des pluies cumulées du 3, 4 et 5 Août 1965. N° 5+6+7.
- fig. 42. Crue du 4 Août 1965. I 2.
- fig. 43. Crues du 6 et 7 Août 1965. I 3.
- fig. 44. Isohyètes de la pluie du 8 Août 1965. N° 8.
- fig. 45. Isohyètes des pluies cumulées du 10 Août 1965. N° 9 + 10.
- fig. 46. Crue du 11 Août 1965. N° I 4.
- fig. 47. Isohyètes de la pluie du 21 Août 1965. N° 11 .
- fig. 48. Isohyètes de la pluie du 23 Août 1965. N° 12.
- fig. 49. Isohyètes de la pluie du 1er Septembre 1965. N° 13.
- fig. 50. Isohyètes de la pluie du 2 Septembre 1965. N° 14.
- fig. 51. Isohyètes de la pluie du 7 Septembre 1965. N° 15.
- fig. 52. Hauteurs d'eau et débits classés de l'année 1965.
- fig. 53. Débits solides en fonction de la hauteur d'eau.
- fig. 54. Positions des coupes géophysiques et des piézomètres.
- fig. 55. Variations des niveaux dynamiques dans les puits et les piézomètres 1965 - 1966.

6 - OUADI SOFOYA

- fig. 56. Equipement pluviométrique et hydrométrique.
- fig. 57. Courbe de tarage de la station II.
- fig. 58. Courbe de tarage à la station I.
- fig. 59. Crues de l'année 1965 à la station II.
- fig. 60. Crues de l'année 1965 à la station I.
- fig. 61. Pluie du 26 Juillet 1965. N° 1.
- fig. 62. Crue du 26 Juillet 1965. N° I 1 et II 1.
- fig. 63. Pluie du 28 Juillet 1965. N° 2.
- fig. 64. Isohyètes des 2 pluies du 26 et 28 Juillet 1965. N° 1 + 2.
- fig. 65. Crue du 28 Juillet 1965. N° II 2 et I 2.
- fig. 66. Isohyètes de la pluie du 3 Août 1965. N° 3.

../...

- fig. 67. Crue du 3 et 4 Août 1965. N° II 3.
- fig. 68. Crue du 3 et 4 Août 1965. N° I 3.
- fig. 69. Pluie du 6 Août 1965. N° 4.
- fig. 70. Isohyètes des pluies du 7 et 8 Août 1965. N° 5 + 6 + 7.
- fig. 71. Crues du 6 au 10 Août. N° I 4 à I 7 et II 4.
- fig. 72. Isohyètes de la pluie du 21 Août 1965. N° 8.
- fig. 73. Isohyètes des pluies du 23 Août 1965. N° 9 + 10.
- fig. 74. Crue du 24 Août 1965. N° II 5.
- fig. 75. Isohyètes de la pluie du 2 Septembre 1965. N° 12.
- fig. 76. Crue du 2 Septembre 1965. N° II 6.
- fig. 77. Isohyètes des pluies du 5, 6 et 7 Septembre 1965. N° 13 + 14 + 15.
- fig. 78. Crue du 5 et 6 Septembre. N° I 8 et II 7.
- fig. 79. Crue du 7 Septembre 1965. N° I 9.
- fig. 80. Crue du 7 Septembre 1965. N° II 8.
- fig. 81. Débits et hauteurs d'eau classés de l'année 1965.
- fig. 82. Débits solides en fonction de la hauteur d'eau.
- fig. 83. Positions des coupes géophysiques et des piézomètres.
- fig. 84. Variations du niveau dynamique dans les piézomètres. 1965 - 1966.
- fig. 85. Evolution du niveau piézométrique à la suite d'une crue.

