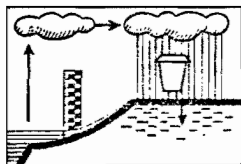


Y. KOFFI

BASSIN VERSANT DE WARANIENE-KORHOGO
Mesures du mois de juillet 1983

RAPPORT DE STAGE



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE - MER

CENTRE D'ADIOPODOUMÉ - CÔTE D'IVOIRE

B.P. V 51 - ABIDJAN



Septembre 1983

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE D'ADIOPODOUME

B.P. V51 ABIDJAN (Côte d'Ivoire)

Laboratoire d'Hydrologie

RAPPORT DE STAGE

BASSIN VERSANT DE WARANIENÉ - KORHOGO

Mesures du mois de juillet 1983

par

YAO KOFFI

septembre 1983

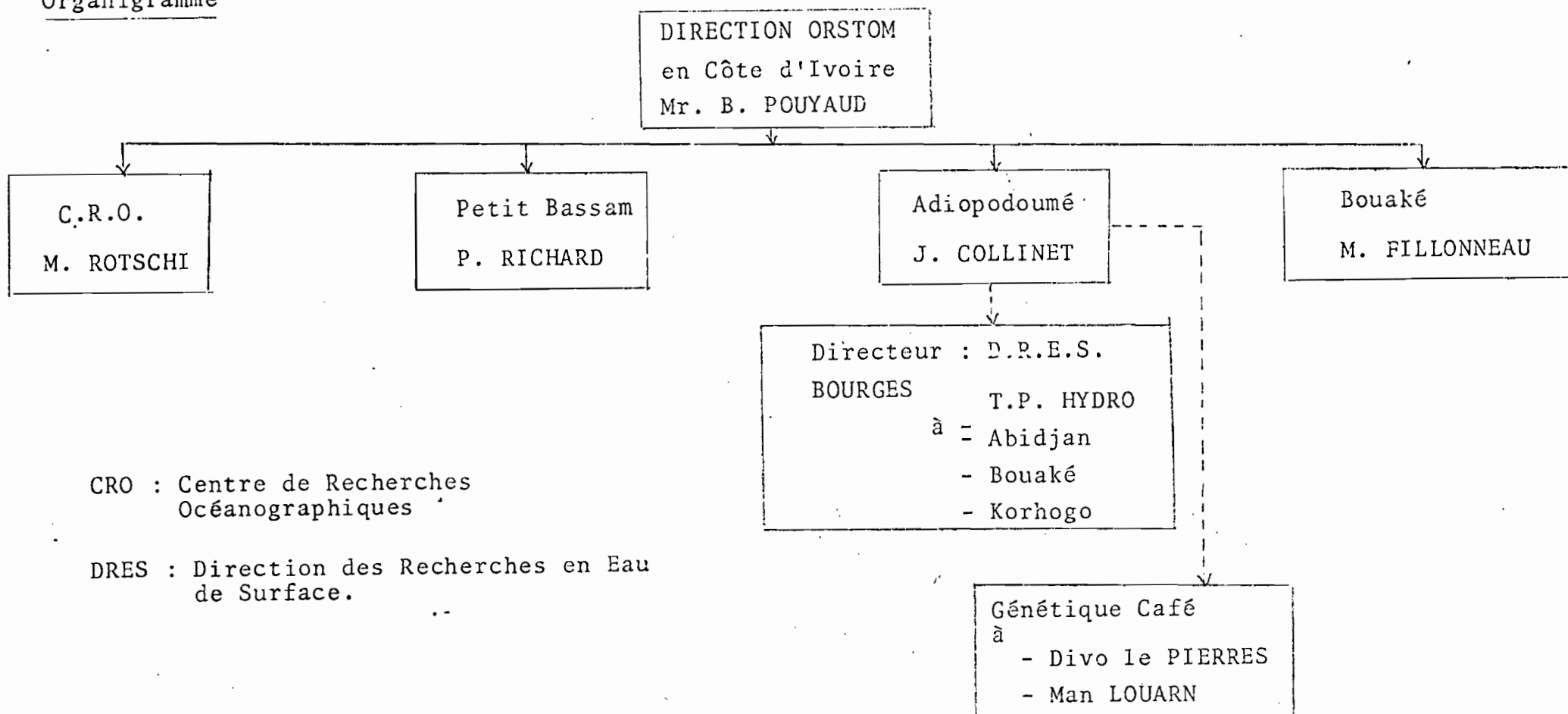
AVANT PROPOS

Une bonne initiation à la recherche passe une expérimentation en données réelles sur le terrain. Le stage que j'ai effectué à l'ORSTOM s'insère dans le cadre des activités du laboratoire d'Hydrologie de cet organisme. J'ai eu l'occasion de m'initier à l'hydrologie analytique à l'occasion d'une étude sur le bassin versant de Waraniéné. Le bassin avait déjà été l'objet d'un travail approfondi entre 1962 et 1972.

L'extension rapide de l'agglomération de Korhogo et une mise en culture systématique a profondément modifié le milieu ces dernières années. Et il a été jugé intéressant de reprendre une campagne de mesures hydrologiques pour faire le point de cette évolution.

Je remercie Messieurs Pierre CHEVALLIER et Alain GIODA qui ont assuré l'encadrement de ce stage en y associant l'ensemble des agents du laboratoire d'Hydrologie d'Adiopodoumé.

Organigramme



CRO : Centre de Recherches
Océanographiques

DRES : Direction des Recherches en Eau
de Surface.

I. INTRODUCTION

Dans l'objectif de former des techniciens de haut niveau intellectuel, l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics se charge d'organiser chaque année des stages pour ses élèves en année de formation. Pour parfaire la connaissance technique et l'esprit d'équipe des futurs cadres, l'Ecole se fait fort de les insérer dans le monde du travail.

L'intégration de ceux-ci dans la vie du milieu est aussi importante que le thème étudié pendant le stage.

L'Hydrologie est la science qui étudie les eaux. Elle s'intéresse aussi bien aux eaux de surface qu'aux eaux souterraines. Pour mieux cerner un problème hydrologique il faut une connaissance en hydraulique en hydrogéologie en statistique et en climatologie.

Les données hydrologiques procurent de nombreuses informations de grandes importances à la réalisation des ouvrages.

Un chantier routier exploitera les valeurs des crues exceptionnelles. Ailleurs un constructeur de barrage hydro-électrique sera supposé connaître la rivière sur le plan hydrologique et le bassin de retenue. Une carte pluviométrique d'un bassin sera la bien venue dans un service agronomique : etc...

Le stage dont le thème est l'étude du bassin versant de la région de Waraniéné a duré deux mois (4 juillet au 4 septembre) a été supervisé par Mr P. CHEVALLIER.

II. PRESENTATION DE L'ORSTOM

L'Office de la recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (ORSTOM) est un organisme qui a pour activité la recherche. Cet organisme oriente ses travaux aussi bien sur les sciences de la terre que sur les sciences naturelles. Installé en Côte d'Ivoire depuis l'année 1946 l'ORSTOM d'Adiopodoumé est le plus ancien d'Afrique. Son siège est à Abidjan, il possède plusieurs antennes réparties dans le pays (voir organigramme 1). Evidemment le siège d'Abidjan est une filiale sous la direction générale de celui de France. Comme celle de la Côte d'Ivoire les filiales sont dispersées dans le monde.

La station d'Adiopodoumé regroupe en son sein 11 services et 9 laboratoires parmi lesquels se trouve le laboratoire d'Hydrologie (voir organigramme 2). Le service d'hydrologie de l'ORSTOM est assisté dans ses travaux par la D.C.H. (D.R.E.S.).

Il se charge aussi de la formation des Elèves-ORSTOM des stagiaires-ORSTOM et des stagiaires de vacances. Il admet deux ans de spécialisation des ingénieurs.

Laboratoires

Services

- Bioclimatologie
M. MONTENY
- Génétique
M. CHARRIER
- Pédologie Expérimentale
M. VALENTIN
- Hydrologie
MM. CASENAVE
et CHEVALLIER
- Nématologie
M. CADET
- Phyto Virologie
M. THOUVENEL
- Pédologie
M. LEVEQUE
- Physiologie Végétale
M. CRETIN
- Phytopathologie
M. GEIGER

- * Services Administratifs et Financiers
- * Service Travaux (CAPGRAS)

Garage
Electricité
Mécanique de précision
Entretien
- * Service Expérimentation Biologique
M. NEDELEC
- * Laboratoire d'Analyses (GOUZY)

Sol, eau, végétaux
- * Laboratoire des Radioisotopes
Dépannage électronique (BURGAUD)

Utilisation de substance radioactiv
- * Labo. de Pétrographie
M. HANRION
- * Bibliothèque-Documentation
Mme. CRETIN
- * Hotel
M. DUBREUCQ
- * Centre de Calcul
M. NOIROT
- * Labo Photo.
M. NICOLE
- * Service Cartographie
M. FRITSCH.

En somme le service Hydrologique se compose de deux ingénieurs, de deux techniciens confirmés français, de quatre techniciens ivoiriens, de deux ingénieurs stagiaires (un Français et un Camerounais) et d'un stagiaire de vacances.

III. PRESENTATION DU SUJET

La tâche qui m'a été confiée est l'étude du bassin versant Waraniéne. Cette tâche se subdivise en quatre grandes parties.

La première partie est descriptive, elle met en relief la station géographique et les caractéristiques morphologiques du bassin. La deuxième partie me permettra de décrire les équipements pluviométriques et hydrométriques et de connaître leur fonctionnement. En outre une troisième partie regroupe les mesures de hauteur pluviométrique et la mesure de débit en rivière. En suite une quatrième partie nous permettra d'exploiter les données et un bilan hydrologique s'ensuivra.

La troisième partie est expérimentale et s'est accomplie sur le bassin pendant trois semaines ; cette étude donnera des renseignements intéressants lors de la construction de la piste Korhogo-Doka.

IV. EXPERIMENTATION SUR LE BASSIN VERSANT DE WARANIENE

4.1. Description du bassin versant

4.1.1. Définition

Un bassin versant est la surface topographique délimitée par la ligne des crêtes et drainée par une rivière de telle façon qu'une goutte d'eau tombée dans la région et qui s'écoule passe par l'exutoire.

4.1.2. La situation géographique

Le bassin versant situé à 5 km à l'ouest de la ville de Korhogo et à proximité du village de Waraniéne est facilement accessible.

4.1.3. La morphologie du bassin

Le bassin a une forme de demi-cercle et a les caractéristiques suivantes :

- superficie 2,24 km²
- périmètre 6 km

LA CARTE TOPOGRAPHIQUE DU BASSIN DE WARANIENE



LES STATIONS DE MESURES




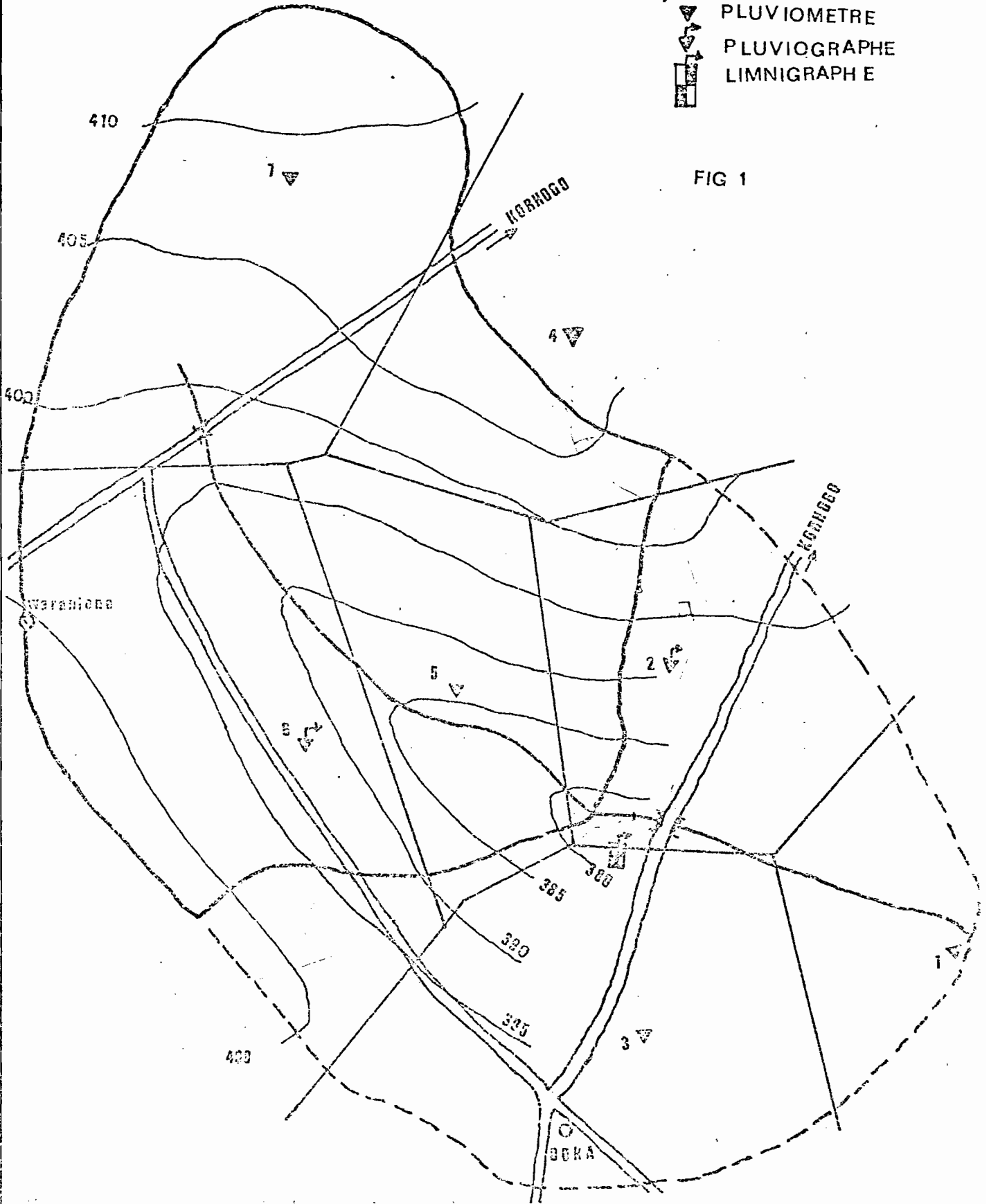
-  PLUVIOMETRE
-  PLUVIOGRAPHE
-  LIMNIGRAPH E

FIG 1



4.1.4. Le rectangle équivalent

Le rectangle équivalent d'un bassin versant est le rectangle qui a la même superficie et le même périmètre que ceux du bassin.

Les dimensions du rectangle sont :

$$l = \frac{P}{4} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{16S}{P^2}} \right)$$

où S est la superficie
et P le périmètre

- Longueur L = 1,6 km
- Largeur l = 1,4 km.

4.1.5. L'indice de Compacité de Gravelius

L'indice de compacité est le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface.

$$I_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{2S}}$$

$$I_c = 1,12$$

Son relief doux d'une vallée classique présente :

- une altitude maximale de 412,9 m
- une altitude minimale de 378,9 m
- une pente moyenne de 21 m/km.

La longueur de la rivière est 1,5 km.

4.1.6. La densité de drainage

C'est la longueur du cours d'eau qui draine le bassin rapportée à la superficie de celui-ci.

$$D_d = \frac{L}{S}$$

$$D_d = 0,669 \text{ km/km}^2$$

4.2. Equipement pluviométrique

4.2.1. Identification des appareils

Le bassin est équipé de 6 appareils de mesure les précipitations :

- deux pluviographes à augets basculeurs, 3 pluviomètres et un snowdon.

Il est parsemé de 5 stations de mesures :

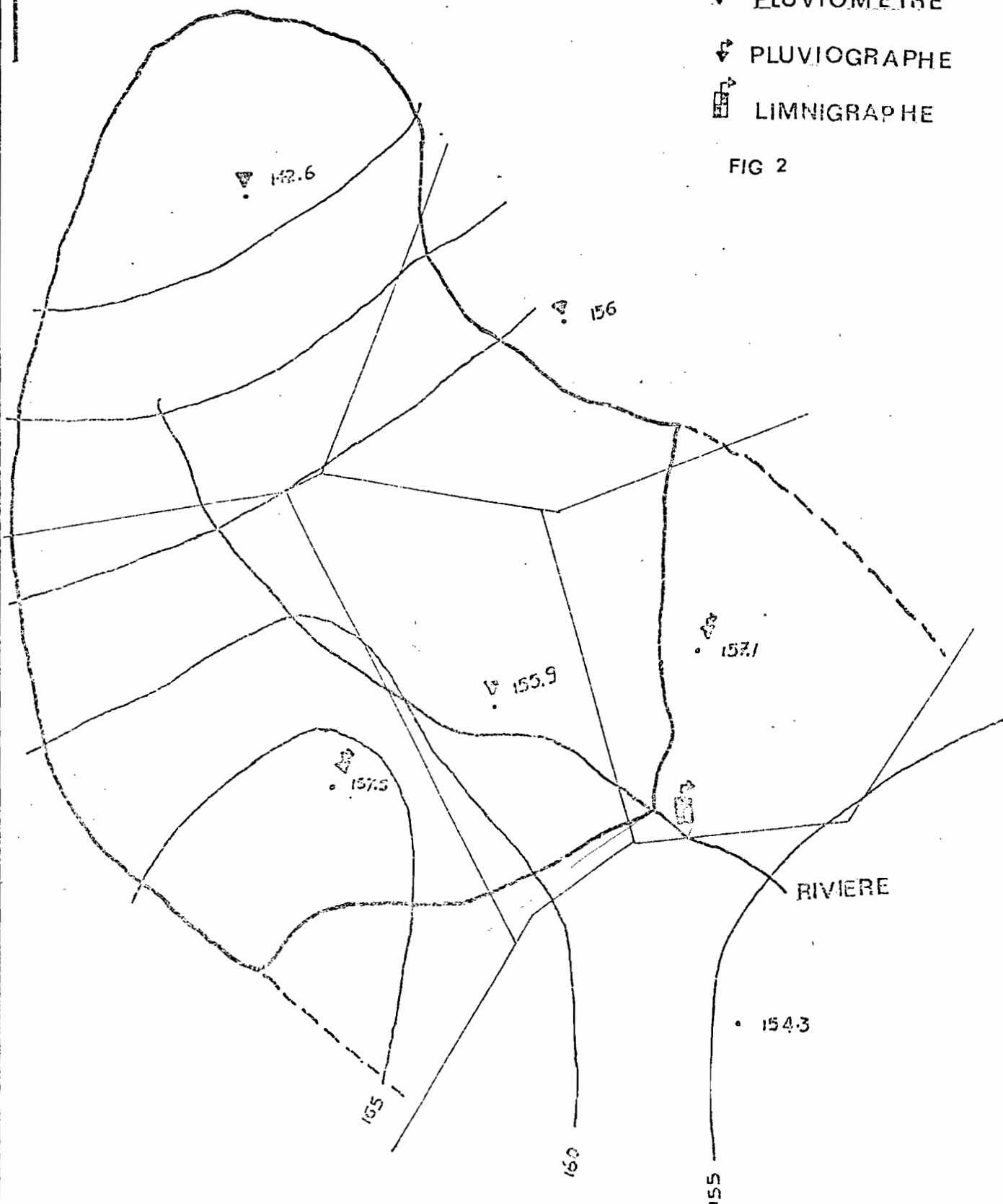
Les stations 4, 5 et 7 disposent d'un pluviomètre chacune. La station 2 a un pluviographe à augets basculeurs et un pluviomètre snowdon.

TRACE DES ISOHYETES DE JUILLET
BASSIN VERSANT de WARANIENE

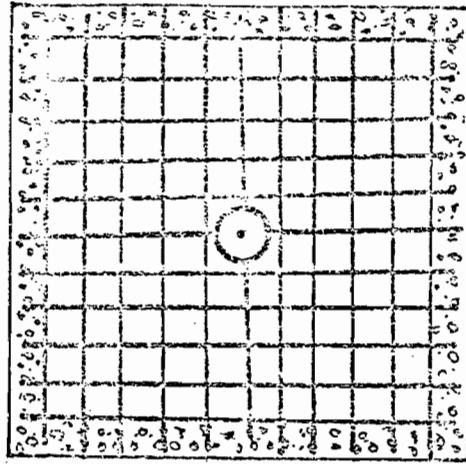


- ▼ PLUVIOMETRE
- ⬇️ PLUVIOGRAPHE
- 🏠 LIMNIGRAPHE

FIG 2

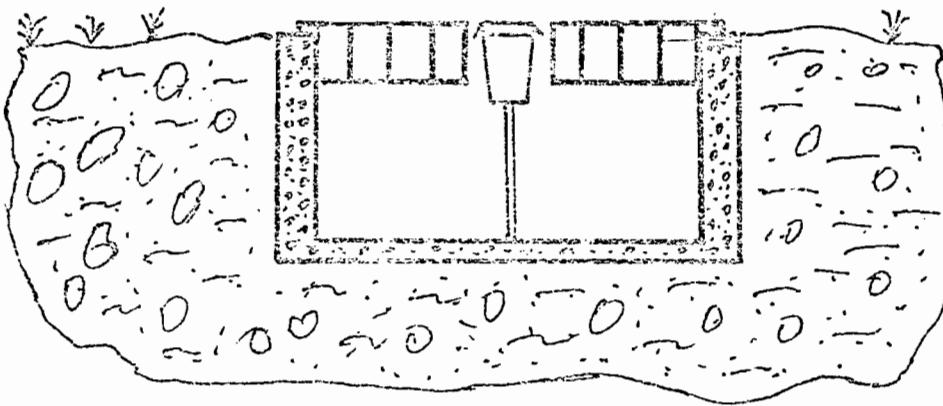


PLUVIOMETRE AU SOL



VUE DE DESSUS

FIG 3



VUE DE FACE

SCHEMA DE FONCTIONNEMENT
DU MOULINET

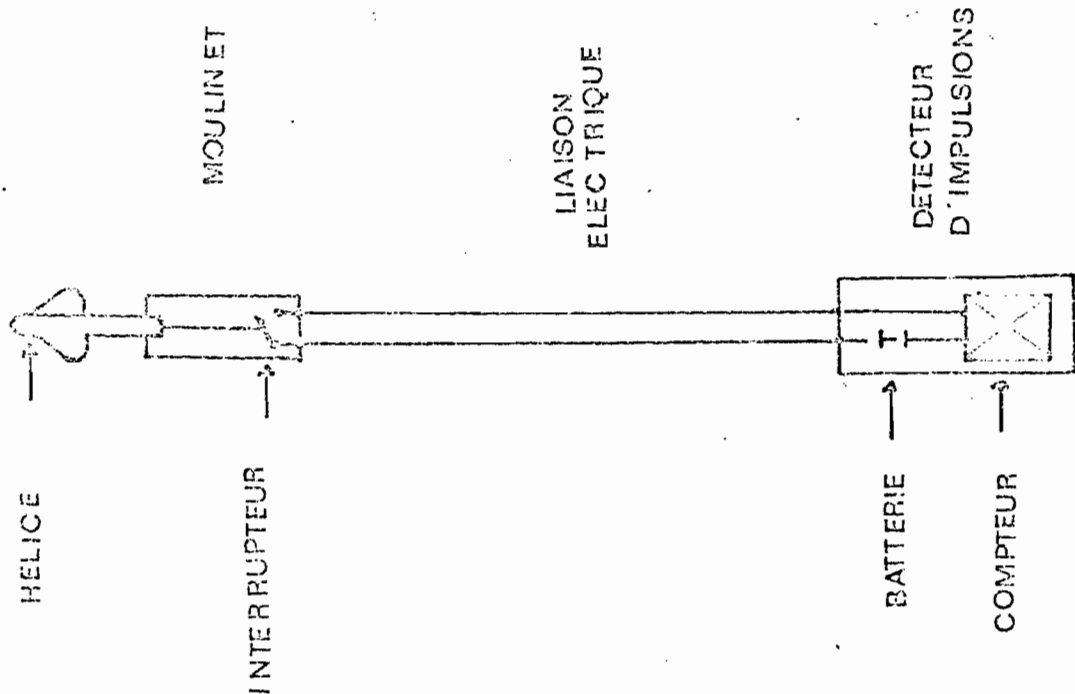


FIG 4

La station 6 possède 1 pluviographe à augets basculeurs.

4.2.2. Description de l'appareillage

4.2.2.1. Le pluviomètre

C'est un seau tronc-conique avec une bague de 400 cm² de section. Monté sur un support à un mètre de hauteur il est placé à une distance raisonnable de tout obstacle. Il sert à mesurer la hauteur d'eau. Des éprouvettes de mesure de hauteur de pluie leur sont affectés. Elles correspondent à la section de la bague.

Les précautions prises pour l'installation d'un pluviomètre sont d'autant plus importantes qu'elles s'opposent aux perturbations dues aux obstacles. En outre le pluviomètre est exposé aux enfants, aux oiseaux et aux insectes etc. C'est pour quoi les utilisateurs doivent l'entretenir soigneusement. En fonctionnement la précipitation est interceptée par la bague et collectée dans le seau. On remarque que la réception peut être perturbée par le vent.

4.2.3. Pluviomètre au sol (ou Snowdon) (fig. 3)

Il a la même forme que le pluviomètre à un mètre du sol sa bague permet de relever la hauteur d'eau au sol. Une grille métallique autour de l'appareil permet d'éviter les rebonds des gouttes d'eau. On a remarque que la hauteur d'eau au sol est supérieure à celle du pluviomètre à un mètre du sol. Cette variation de hauteur d'eau croît avec la latitude en Afrique Occidentale. Cette variation est due au vent (voir fig. 5)..

4.2.4. Le pluviographe à augets basculeurs "précis mécanique"

Il est constitué d'un abri métallique la guérite surmonté par un bague receptrice de 400 cm². Un entonnoir guide les gouttes d'eau jusqu'aux augets. Les augets sont solidaires du corps de l'appareil qui est placé au dessus d'un seau collecteur.

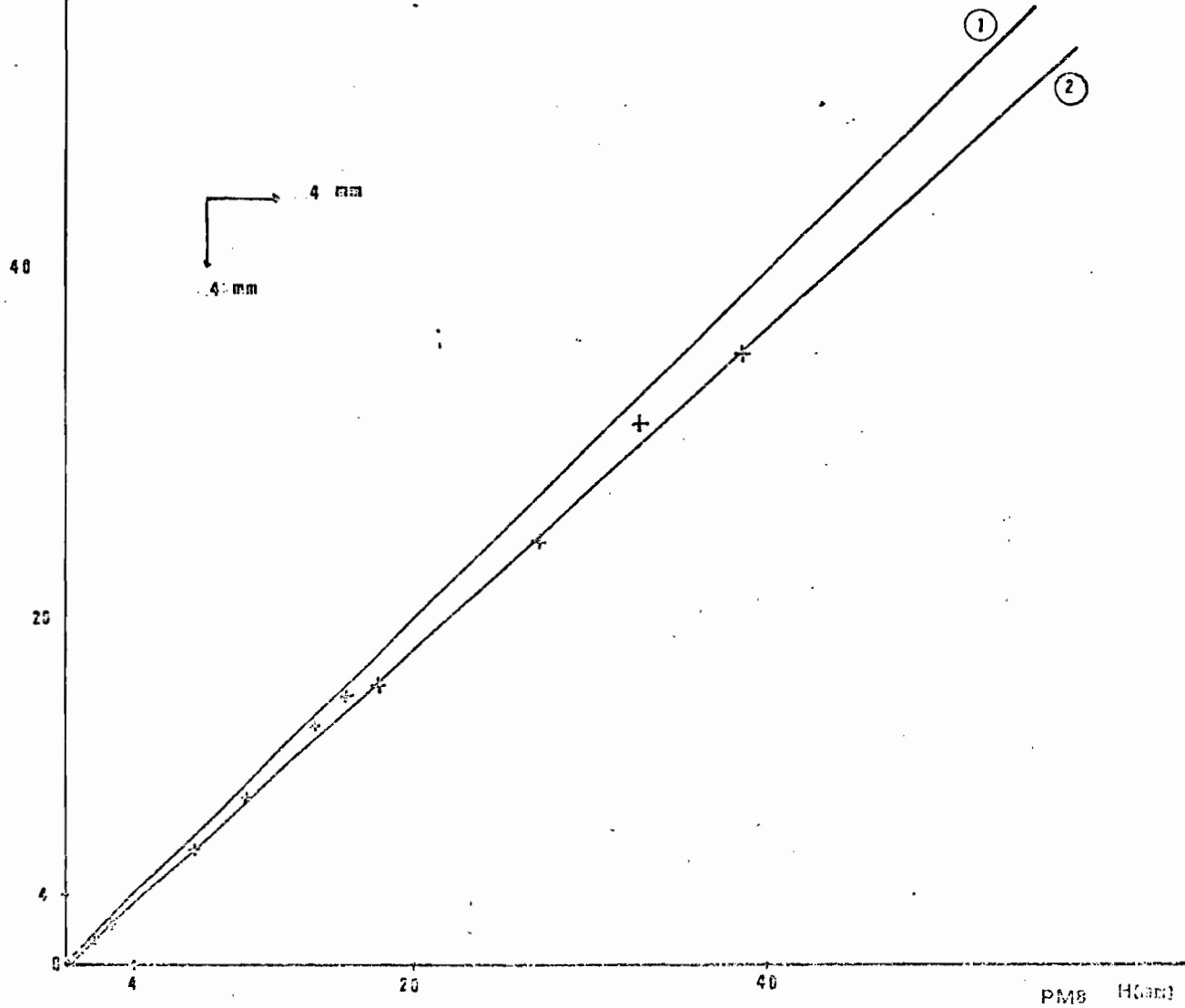
4.2.4.1. Le corps de l'appareil

Deux augets mobiles autour d'un axe horizontal commande une pièce en forme de coeur ; le mouvement est transmis à un stylet qui l'inscrit sur la feuille. Un mouvement d'horlogerie entraine le tambour dans le mouvement de rotation. Le tambour effectue une rotation complète en 24 heures.

4.2.4.2. Le Fonctionnement du Pluviographe

L'un des augets en position haute reçoit de l'entonnoir l'eau de la pluie. Il bascule pour verser son contenu dans le seau (un basculement d'auget correspond à 20 g d'eau pour les bagues de 400 cm²) tandis que le stylet inscrit sa correspondance en hauteur d'eau sur le tambour soit 0,5 mm. Le deuxième auget se met en position de remplissage. On obtient une courbe de hauteur d'eau cumulée en fonction du temps appelé pluviogramme.

H(mm)
PG2



② $H_{PG2} = F(H_{PMS})$

① LA COURBE DE CORRECTION (1^{ère} BISSECTRICE)

LA COMPARAISON DES HAUTEURS DE PLUIE AU SNOWGOM ET AU PLOUVIOMETRE

FIG 5

4.2.4.3. Les difficultés de mesures

On ne peut pas considérer que le premier basculement marque le début de la pluie ni que le dernier coup d'auge correspond à la fin de la pluie. En effet la pluie commence quelques minutes (le temps nécessaire au remplissage) avant le premier basculement. Elle peut se terminer quand l'auge n'est pas plein ou au moment du dernier basculement. On ne peut donc pas donner la durée exacte de la pluie mais celle lue sur le pluviogramme nous servira pour les calculs. A cela il faut ajouter les erreurs de lecteurs et de calculs.

4.3. Pluie moyenne sur le bassin

Les pluies sont classées selon leur intensité et leur effet sur le sol. Les pluies qui intéressent le plus l'hydrologue sont celles qui produisent un écoulement.

4.3.1. La pluie efficace

C'est la partie de la pluie qui a donné lieu à un ruissellement. On lui connaît une hauteur efficace, une durée efficace, une intensité efficace et un volume efficace.

4.3.2. La pluie utile

Sa détermination est à l'appréciation de l'hydrologue. La pluie utile est la partie de l'averse ayant pu raisonnablement donner lieu au ruissellement.

4.3.3. La pluie moyenne sur le bassin

Les averses aux différents endroits du bassin sont de hauteurs différentes ; on entreprend une homogénéisation de la pluie en vue de faciliter l'exploitation des valeurs et de connaître le volume de la précipitation sur le bassin.

4.3.3.1. La méthode de THIESSEN

Elle permet de déterminer la moyenne pluviométrique sur un bassin versant. Soit n le nombre de pluviomètres situés à divers endroits du bassin on définit par la méthode des médiatrices une fraction de la surface du bassin comme étant la zone d'influence du pluviomètre. Ainsi pour n pluviomètres on aura n surfaces élémentaires telles que :

$$\sum_{i=1}^n s_i = S$$

Le rapport de chaque surface élémentaire à la surface totale est le coefficient qui pondère la pluviométrie dans la région de manière à la ramener à l'échelle du bassin.

$$P \text{ moy.} = \frac{P_1 S_1 + P_2 S_2 + \dots + P_n S_n}{S}$$

S est la surface totale du bassin elle vaut 2124 km².

on obtient le tableau suivant en rapportant les surfaces élémentaires à la surface totale.

n° de Station	2	4	5	6	7
si	0,14	0,23	0,39	0,71	0,77
%	6,25	10,27	17,41	31,70	34,37

d'où l'expression de la pluie moyenne est

$$100 P_m = 6,25 P_2 + 10,27 P_4 + 17,41 P_5 + 31,7 P_6 + 34,37 P_7$$

Application voir tableau des hauteurs de pluies page 16.

4.3.4. Intensité de pluie

C'est la quantité de pluie tombée, exprimé en hauteur d'eau par unité de temps. Elle traduit la vitesse d'humectation du sol.

. L'averse n'a pas la même intensité pendant toute sa durée.

4.3.5. L'isohyète

L'isohyète c'est l'ensemble des points de même hauteur pluviométrique. Le tracé s'effectue comme celui de la courbe de niveau topographique. Entre deux stations pluviométriques dont l'écart entre les hauteurs de pluie est appréciable on décide pour réduire cet écart de faire passer une suite d'isohyètes de raison donnée. On divise la distance entre les 2 stations proportionnellement à la hauteur de pluie attribuée à l'isohyète. La même opération s'effectue pour les stations environnantes. La courbe passant par les points de même hauteur de pluie constitue l'isohyète. Lorsque pour un bassin versant tous les isohyètes sont tracés on dit qu'on a établi le réseau d'isohyètes. Le réseau d'isohyètes sert à homogénéiser la pluie sur le bassin. (voir le réseau d'isohyètes sur la fig. 2).

4.3.6. Le Hyétogramme

L'histogramme qui exprime la valeur des intensités instantanées des pluies est dit hyétogramme ($I = f(\Delta t)$). Il met à profit la période de forte pluie et la durée totale. Il sert à expliquer d'autre part l'hydrogramme de la crue correspondante.

Le dépouillement du pluviogramme permet de construire le hyétogramme. On tranche ne intervalles de temps l'axe de la durée, à chaque tranche correspond une variation de la hauteur d'eau. Le rapport de cette hauteur d'eau à l'intervalle de temps est l'intensité de pluie instantanée.
(voir hyétogramme fig. 9,10 et 11.)

4.4. Equipement Hydrométrique

Le bassin de Waraniéné possède une station hydrométrique située à l'exutoire. Elle comporte un limnigraphe "OTT x" et une échelle limnimétrique.

4.4.1. Le limnigraphe "OTTx"

Il est constitué d'un tambour horizontal, d'une longueur utile de 430 mm. Le tambour est relié au chassis pour des paliers à billes. Le limnigraphe enregistre les variations du plan d'eau. Une horloge placée à une extrémité assure la rotation du tambour. La partie imprimante se compose d'un stylet sur un tige horizontale rotative liée au flotteur. La liaison flotteur-palier à billes transmet la fluctuation du plan d'eau au stylet qui l'imprime sur la feuille du tambour. Après une pluie le limnigraphe enregistre les variations en fonction du temps ou limnigramme.

La présence des débris organiques dans le puits du flotteur et le colmatage du canal d'amenée sont à éviter. Il faut vérifier la dérive de l'horloge pour pallier aux erreurs de mesure. Cependant ses applications sont multiples. Il est utilisé pour étudier le niveau des lacs, des fleuves et des nappes souterraines. La lecture des mesures est très facile grâce au plexiglass.

4.4.2. L'échelle limnimétrique

Une échelle limnimétrique est une plaque graduée en métal émaillé installé dans le lit d'un cours d'eau de telle façon que sa partie inférieure trempe toujours dans l'eau lors des étiages les plus sévères. Gradué en centimètres, en noir sur un fond jaune ou blanc, le limnimètre donne la valeur du tirant d'eau dans le lit. Il a le même aspect qu'une mire topographique.

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

Bassin: Waraniéné

Année : 1983

Mois : Juillet

postes	Pml	2	3	4	5	6	7	8	Pluie moyenne	observations
1										
2										
3	12,9	13,9	12,0	14,7	14,2	16,5	14,1	14,3	14,92	
4										
5	29,6	31,2	26,7	33,8	33,7	36,1	28	32,7	32,38	
6										
7										
8	7,5	6,6	11,1	8,9	6,0	9,8	12,2	7,5	9,67	
9										
10										
11	2,5	2,4	2,7	2,6	2,9	1,2	1,3	2,7	1,6	
12										
13										
14	15,3	16,3	15,8	15,8	16,8	17,4	0,9	17,8	11,45	
15										
16										
17	24,3	24,6	21,9	23,7	24,8	24,2	21,1	26,8	24,24	
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25	34,9	35,0	38,1	47,4	30,6	39,2	40,1	38,4	38,6	
26										
27	1,0	1,6	1,7	1,8	1,7	1,4	1,0	1,9	1,37	
28										
29										
30	13,1	15,7	13,9	19	17,2	18,4	19,8	15,9	18,56	
31	12,2	9,8	9,3	5,1	8,8	3,0	1,1	10,3	4,0	
total	153,3	157,1	154,3	156	155,9	167,5	142,6	168,3	156,79	

Hauteur moyenne mensuelle : 156,8 mm

Les présentes hauteurs de pluie moyenne sont celles des stations 3,4,5,6 et 7 car seules ces stations touchent le bassin.

4.4.3. Installation du limnigraphe

On l'installe de préférence au bord du lit du fleuve. Le lit à cet endroit est rectiligne avec une pente assez faible. Pour l'installation proprement dite, on fait une fouille horizontale qui conduit l'eau au droit du puits à flotteur ; ce qui engendre un système de vase communicant. Le puits à flotteur a une partie supérieure qui est soit métallique soit en béton selon la durée de mesure. Des précautions sont prises pour éviter les envasements.

Une échelle de contrôle limnimétrique est placée à proximité du limnigraphe pour vérifier le niveau de l'eau. On évitera de l'installer sur une pile de pont.

4.4.4. L'installation du limnimètre

Il est installé dans un lit rectiligne pour qu'on puisse choisir une station de jaugeage. Il est enfoncé suivant la verticale dans le sol et dans une fondation qui le maintient dans sa position. Il est placé en amont d'un ouvrage pour éviter les perturbations et dans un endroit accessible pour faciliter les relevés. Son emplacement tient compte de l'édification des futurs ouvrages. On nivelera son zéro par rapport à un ouvrage fixe. On évitera les piles de pont et les zones de remous pour son installation.

4.5. La mesure de débit.

L'étude du régime d'une rivière se résume à la détermination du débit de celle-ci à une période donnée, afin de s'assurer des variations notoires aussi bien en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Pour ce faire on entreprend des mesures de débit.

En effet on jauge la rivière pour différentes hauteurs d'eau dans le lit. On établit alors la courbe du débit en fonction de la hauteur limnimétrique ($Q = f(h)$) appelé courbe de tarage. Cette courbe définit pour une hauteur d'eau donnée, un débit. Elle permet de prévoir le débit des crues exceptionnelles, après une étude statistique.

4.5.1. Débit

Le débit d'une rivière en une section donnée, est la quantité d'eau qui traverse cette section par unité de temps. Son unité dépend de son importance :
Les débits volumiques très importants sont exprimés en m^3/s tandis que les moins importants sont exprimés en m^3/h ou l/s .

4.5.2. Le jaugeage

Afin de déterminer le débit dans une section de la rivière on procède par des mesures de vitesses d'écoulement. L'ensemble des jaugeages de la rivière pour différentes hauteurs d'eau conduit au tracé de la courbe de tarage.

4.5.2.1. Principe de jaugeage au moulinet

La mesure de vitesse implique l'usage de multiples appareils aux fonctions complémentaires. Un moulinet fixé sur une perche permet d'obtenir le nombre de tours de l'hélice grâce à un compteur. Le choix de la section est telle qu'en ces lieux les lignes de courant sont parallèles entre elles. L'intérêt de ce parallélisme rend la vitesse de rotation de l'hélice uniforme. La largeur au miroir étant choisie et mesurée. On choisit des verticales de mesures. Sur chaque verticale on fait une mesure ponctuelle pour différentes valeurs de la profondeur. Par double intégration on en tire d'abord le débit par unité de largeur à chaque verticale et ensuite le débit de la rivière. Plus il aura de points sur la verticale plus la parabole des vitesses se rapprochera de la réalité.

4.5.2.2. Méthode du jaugeage au moulinet

Sur chaque verticale on choisit de faire un certain nombre de mesures selon la profondeur de la rivière. Suivant la verticale on trempe le moulinet orienté parallèlement au courant. On relève sur un carnet de jaugeage le nombre de tours au compteur et le temps. On refait la même mesure pour une autre position du moulinet sur la même verticale. Ce type de jaugeage est dit jaugeage point par point.

4.5.2.3. Le carnet de jaugeage (voir page 21)

Il doit comporter toutes les informations pour faciliter le dépouillement. Il indique la date, le nom de l'opérateur, le numéro et le pas de l'hélice, la nature du lit, la largeur au miroir, la profondeur de chaque verticale la profondeur à laquelle est le moulinet, le nombre de tours par seconde, la distance à la rive de départ et la hauteur limnimétrique.

4.5.2.4. Jaugeage sur passerelle.

On construit une passerelle pour des grandes crues ; crues dont les hauteurs et les débits sont importants.

Un support placé sur la passerelle permet de faire coulisser une perche graduée et de placer le moulinet en un point précis de la section mouillée. La passerelle étant graduée donne la position de la perche par rapport à la rive.

4.5.3. Le moulinet

4.5.3.1. Description

Le moulinet est un des outils premiers de l'hydrologie. Il mesure le chemin parcouru par le fluide pendant une durée t . On obtient alors la vitesse moyenne du tube de courant dont la section est balayée par l'hélice du moulinet lors de la prise de temps.

Le moulinet hydrométrique utilisé est du type OTT C1 ; il se compose de deux parties essentielles le corps du moulinet et l'hélice.

4.5.3.2. L'hélice

C'est la partie mobile du moulinet. Elle s'emboîte dans le corps de l'appareil et tourne autour de l'axe. Elle balaye ainsi un champ proportionnel à son rayon. Une hélice a un pas qui la caractérise et régit la fonction de tarage. Le pas de l'hélice est la distance parcourue par le moulinet placé sur un chariot dans une eau calme lorsque l'hélice a fait exactement un tour. On remarquera que la sensibilité est d'autant plus forte que le pas est plus petit. Un petit courant pourra faire tourner une hélice à faible pas ; on ne l'utilisera pas pour de très forts courants à cause de leur sensibilité. Ainsi on choisira le pas selon la force du courant. On détermine la formule de tarage du moulinet en tenant compte du pas de l'hélice et de la vitesse de frottement soit :

$$\bar{v} = an + b$$

ou \bar{v} = est la vitesse

a le pas de l'hélice

$n = \frac{N}{T}$ le nombre de tours par seconde

b la vitesse de frottement.

4.5.3.3. Le corps du moulinet

Le moulinet se compose d'un corps qui donne accès au branchement du compteur, d'un aimant de commande, d'une hélice, d'un émetteur d'impulsions d'un axe fixe et d'une vis de blocage.

4.5.3.4. Fonctionnement d'un moulinet (schéma fig. 4)

L'hélice actionne l'interrupteur qui transmet les effets au détecteur d'impulsions. Lorsque l'hélice fait un tour elle ferme le circuit, il se produit une impulsion qui est conduit au détecteur.

L'utilisation du moulinet nécessite un support (perche, saumon) de manière à ce que l'appareil trempe dans l'eau.

L'hélice 23350 - 3.

$$n < 1,25 \quad v = 0,2309 n + 0,038$$

$$n > 1,25 \quad v = 0,2580 n + 0,004$$

L'hélice 23344-1

$$n < 5,6 \quad v = 0,0565 n + 0,034$$

$$n > 5,6 \quad v = 0,054 n + 0,048$$

4.6. Depouillement du jaugeage par points

Le dépouillement de jaugeage est la méthode qui consiste à déterminer le débit d'une rivière à partir des mesures de vitesse faites dans la section de mesure. Le calcul du débit se fait par une double intégration de la vitesse : la première nous donnera le débit par unité de largeur ; la deuxième nous conduit au débit total. Pour ce faire on dispose de la feuille jaugeage laquelle renferme tous les renseignements concernant la rivière en ces lieux. On fera attention au moulinet qui ont plusieurs formules de tarage. On procédera au calcul de la vitesse angulaire de l'hélice N/J en chaque point de la verticale et ensuite la vitesse linéaire. On utilisera la méthode des paraboles, pour ce faire on établira les paraboles de vitesses pour chaque verticale. L'axe des ordonnées (profondeur) dirigé positivement vers le bas tandis que l'axe des abscisses (vitesse) est horizontal. Ils sont gradués selon un repère convenable et ils donneront la parabole des vitesses dont la surface est le débit par unité de largeur du lit. Signalons que la valeur de la vitesse au fond du lit dépend de la nature du lit. Dans notre cas la courbe aboutira au fond presque horizontalement pour l'unique raison que les vitesses sont assez faibles et le fond du lit est lisse. Lorsque les débits élémentaires de toutes les verticales de la section de la rivière sont définis on entreprend la détermination du débit. On trace une droite horizontale représentant le plan d'eau et en ordonnée on a les débits élémentaires en planimétrant la courbe ($q = f(x)$) ensuite on obtient le débit (Q) de la rivière. Le même axe des abscisses nous permet de tracer la courbe des vitesses de surface $V_s = f(x)$ et la section mouillée (S).

Pour connaître parfaitement le lit à cet instant on calculera des paramètres complémentaires dits paramètres hydrauliques. On calculera :

- la section mouillée du lit par planimétrage de la courbe P (profondeur) = $f(x)$
- la largeur au miroir est mesurée sur l'axe des abscisses. On distinguera la largeur au miroir utile de la largeur au miroir. La largeur au miroir utile est la largeur du lit pour laquelle on constate au moulinet qu'il y a écoulement.
- la vitesse moyenne $u = Q/S$.

Rivière de Kgo-WR Station Limnigraphie

Jaug. n°

10

Date 19/7/83 Moulinet C1-19355 Hélice 23344-1

Hauteurs

Observations Station encombrée
d'HERBESD. 8^H 59

0.11

Heure F. 9^H 38

0.11

Distances	Profond.	co	N	T	Observations
R 60.0	0,8cm				
0.10 m	10cm		0	30"	Herbes
0.20 m	34				
	4		6	30"	
	12		30	"	
	19		18	"	
	29		0	30"	
0.30 m	39				
	34		3	30"	
	29		9	"	
	19		18	"	
	9		72	"	
	4		67	30"	
0.40 m	39				
	4		151	30"	
	9		86	"	
	19		0	"	
	29		6	"	
	34		2	30"	

Rivière Kgo-WR Station Limnigraphie

Jaug. n°

10

Date 19-7-83 Moulinet C1-19355 Hélice 23344-1

Hauteurs

Observations STATION
ENCOMBRÉE d'HERBESD. 8^H 59

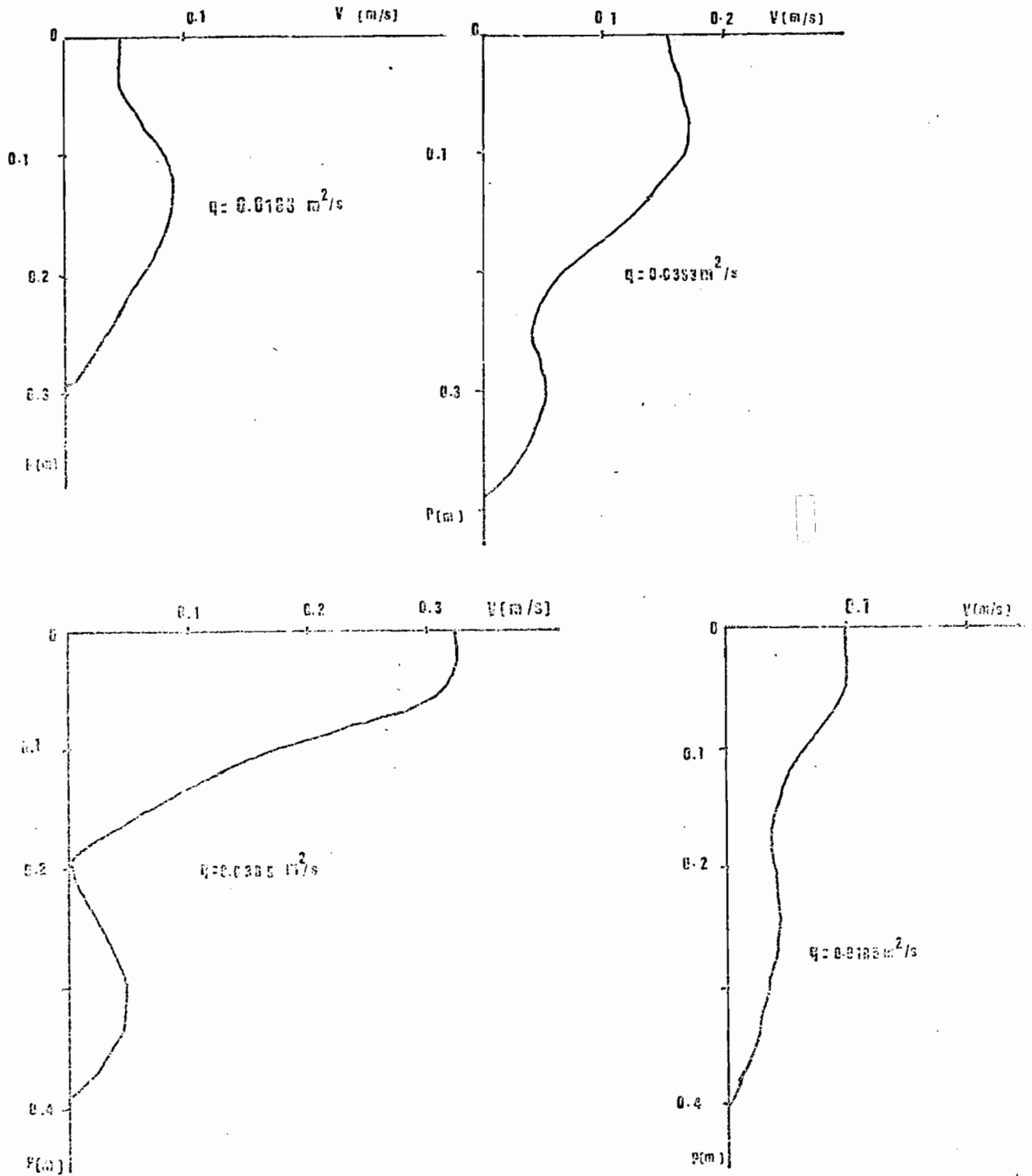
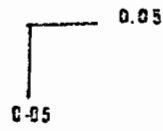
0.11 m

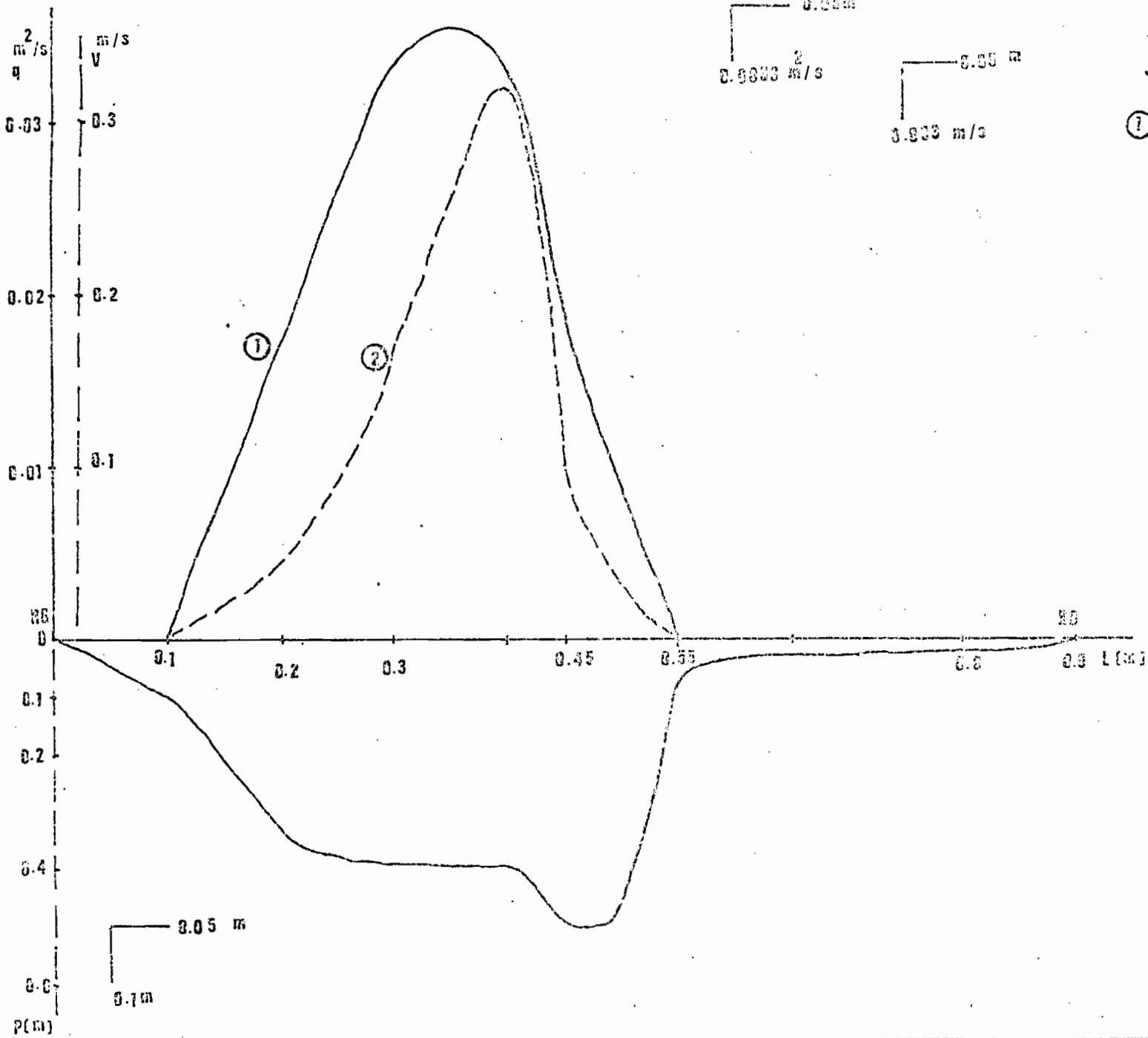
Heure

F. 9^H 38

0.11 m

Distances	Profond.	co	N	T	Observations
0.05	40cm				
	5		53	30"	
	10		17		
	20		4		
	30		2		
0.55					
0.45 m	5.5cm		0	30"	
0.80	2		0	30"	
0.90	Rive droite				





18/7/53
 JAUGEAGE N°10

① COURSE DES DEBITS

$Q = 0.11 L/s$

LARGEUR UTILE

$L = 0.43 m$

② COURSE DES VITESSES

DE SURFACE

$V_{s moy} = 0.122 m/s$

SECTION MODULÉE

$S = 0.170 m^2$

VITESSE MOYENNE

$V = Q/S = 0.65 m/s$

$U/V_{s moy} = 0.42$

Fig 7

(V_{ms}) la vitesse moyenne de surface c'est l'aire de la courbe de vitesse de surface rapportée à la largeur au miroir utile.

On établit le rapport U/V_{ms} qui présente un intérêt particulier pour le jaugeage au flotteur ; c'est la vitesse moyenne spécifique qui assure le déplacement du flotteur. (voir dépouillement jaugeage).

4.7. La courbe de tarage

Par le biais des dépouillements des jaugeages des rivières à différentes hauteurs d'eau, on établit la relation $Q = f(H)$ appelée courbe de tarage ; cette courbe de tarage caractérise la rivière pendant la période d'observation. La configuration du lit peut varier dans le temps et modifier ainsi la courbe de tarage.

Pour tracer une courbe fiable on observera plusieurs fois la rivière. Cette précision dépendra de la variation du plan d'eau.

A chaque hauteur correspond un débit ainsi on connaît le régime de la rivière. En cas de crue la courbe contribue à la détermination de l'hydrogramme de crue.

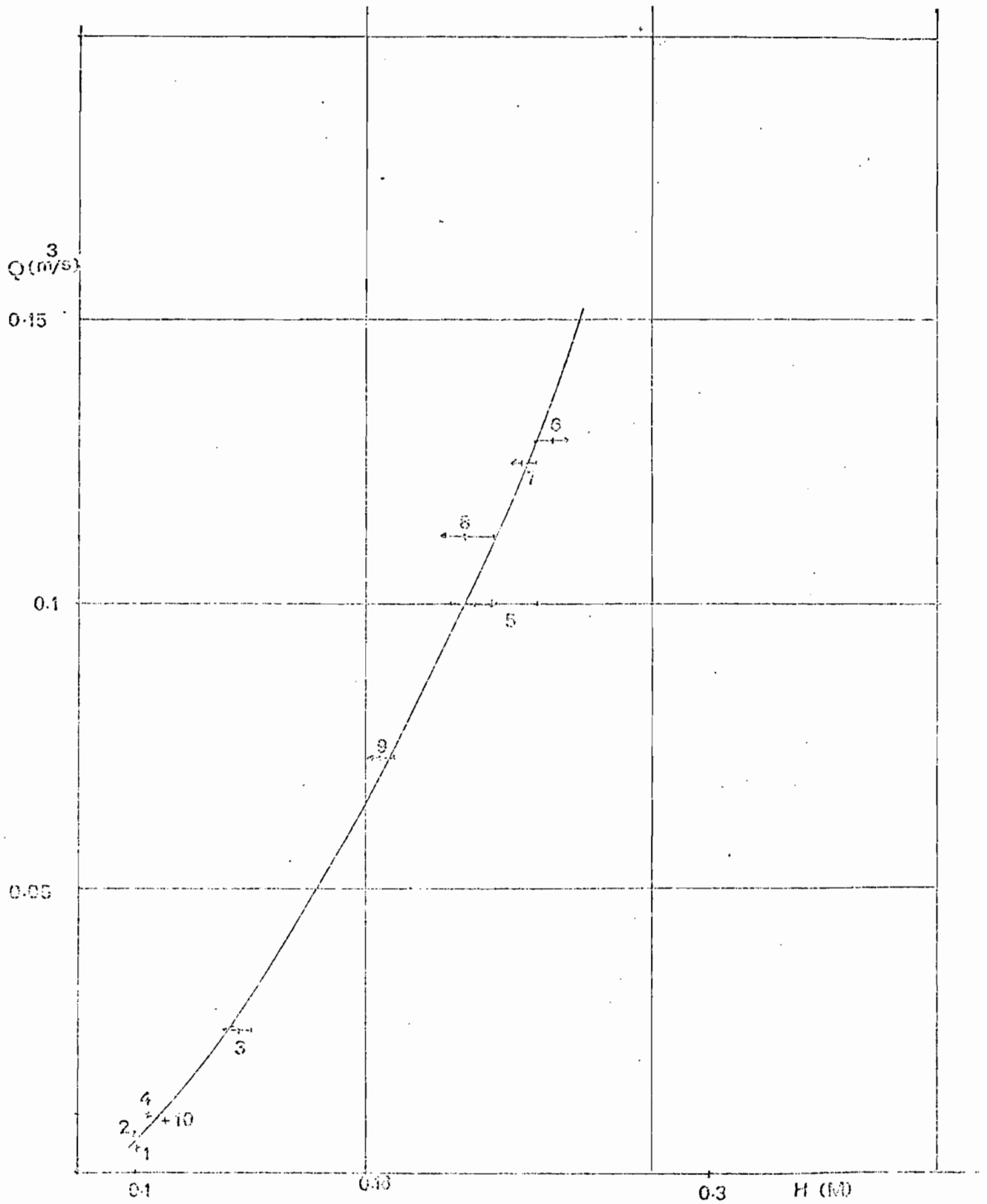
Dans la période du mois de juillet, les observations ont été faites sur la rivière de Waraniéné. Pour des hauteurs d'eau variant de 9,5 à 28,5 cm j'ai établi la courbe d'étalonnage à l'exutoire du bassin de Waraniéne (voir fig. 5). Les différents jaugeages ont donné les résultats suivants.

n° du Jaugeage	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Hauteur d'eau H(m)	0,1	0,1	0,135	0,105	0,225	0,245	0,235	0,215	0,185	0,11	
débit	m ³ /s	0,0045	0,006	0,025	0,0106	0,1	0,129	0,125	0,112	0,043	0,0091
	l/s	4,5	6	25	10,6	100	129	125	112	73	9,1

LA COURBE DE TARAGE DE JUILLET 1983

LA RIVIERE DE WARANIENE

FIG 8



V. EXPLOITATION DES RESULTATS

Le bassin de Waraniéné est un bassin d'expérimentation car d'une superficie assez petite il donne d'importants moyens de le cerner. On utilisera quantitativement et qualitativement les données pluviométriques et hydrométriques.

5.1. Les précipitations

Toutes les précipitations observées ont une hauteur d'eau moyenne à l'échelle du bassin inférieure à 40 mm. On notera que la hauteur maximale de pluie enregistrée est 38,6 mm. L'intérêt des stations pluviométriques c'est qu'elles nous offrent un réseau d'isohyète nous défessant les zones de fortes hauteurs de pluies cumulées pendant la période d'observation. Les hauteurs cumulées de pluie varient de 142,6 à 167,5 mm dans le mois de juillet et cela du nord au sud. La hauteur moyenne des pluies cumulées est 156,8 mm (voir tableau de précipitations page 16).

Le hyétogramme donné par le pluviogramme (PG6) sur la fig (10) traduit la pluie du 30.07.85. C'est une averse d'une intensité moyenne de 9,8 mm/h pendant deux heures et six minutes avec une gamme d'intensités instantanées très réparties. Cette averse de hauteur 18,4 mm a une intensité instantanée maximale de 21 mm/h. Cette intensité survenue 13 mn après le début de la pluie a suffi pour atteindre la pluie efficace et la pluie utile.

5.2. L'hydrogramme de crue.

L'hydrogramme des crues est la courbe du débit en fonction du temps $Q = f(t)$. En effet après une averse utile, le ruissellement fait varier le niveau dans la rivière. A l'exutoire un limnigraphe donne la hauteur d'eau en fonction du temps qui traduit l'allure du plan d'eau dans le temps. En se servant de la courbe de tarage et du limnigramme on construit l'hydrogramme de la crue. Pour reconstituer la crue d'une averse on opère par tranche verticale sur le limnigramme. A chaque tranche correspond un tirant d'eau lequel est reporté sur la courbe de tarage pour déduire le débit. Chaque hauteur est assortie alors d'un débit. On construit ainsi la courbe ($Q = f(t)$). Cette courbe offre le temps le volume d'eau ruissellée, le temps de montée et le temps de base.

- le temps de base est la durée totale de ruissellement
- le temps de montée est le temps qui s'écoule entre le début de la crue et le sommet de la crue. On déduira la lame d'eau et le coefficient de ruissellement.
- la lame d'eau est le rapport du volume d'eau ruissellée à la surface du bassin
- le coefficient de ruissellement est le rapport de la lame d'eau à la hauteur pluviométrique.

5.3. Interprétation de l'hydrogramme fig 10. de la crue du 30.07.83

Il a la forme en cloche de l'hydrogramme classique.

La pointe de la crue a un débit de 0,048 m³/s. L'averse a eu une intensité assez forte dans les 25 premières minutes, le ruissellement s'est déclenché très tôt. Le début de la crue est survenu 14 minutes après le début de la pluie. La petitesse de ce temps s'explique par la taille du bassin, sa forme circulaire, sa densité de drainage et par la forte intensité instantanée au début de l'averse.

Le temps de montée est de deux heures et le temps de base de 7 heures avec un coefficient de ruissellement de 0,011.

A priori vu la taille du bassin (2,24 km²) le ruissellement doit se faire aussitôt avec un temps de base assez court. Mais il n'en est rien ; les espaces cultivés ont facilité l'infiltration. D'autre part le marécage en amont couvert d'une végétation herbacée retarde le ruissellement. Pour une pluie d'une intensité moyenne de 9,2 mm/h pendant 2 heures 6 minutes on a collecté un volume ruissellé de 457,2 m³ sur un temps de base de 7 heures. La lame d'eau est de 0,204 mm. La hauteur d'eau correspondant au débit de pointe est 15,8 cm. La hauteur à l'échelle limnimétrique varie de 10 cm à 12 cm à la fin du temps de base.

Le volume d'eau ruissellée donnée par l'hydrogramme c'est un terme important dans l'établissement du bilan.

5.4. Séparation Ecoulement - Ruissellement

Après chaque pluie l'eau s'écoule. Une partie visible à la surface du bassin constitue les eaux de ruissellement et l'autre partie s'infiltré. L'eau infiltrée est restituée en surface, à la rivière, elle constitue l'écoulement de base.

A l'exutoire un hydrogramme nous permet de séparer les différents écoulements : Une décrue rapide engendre le ruissellement direct et se différencie du ruissellement hypodermique que caractérise une décrue lente. (fig. 10 pluie du 5.7.83).

5.4.1. Méthode du repère en ordonnées "semi-log"

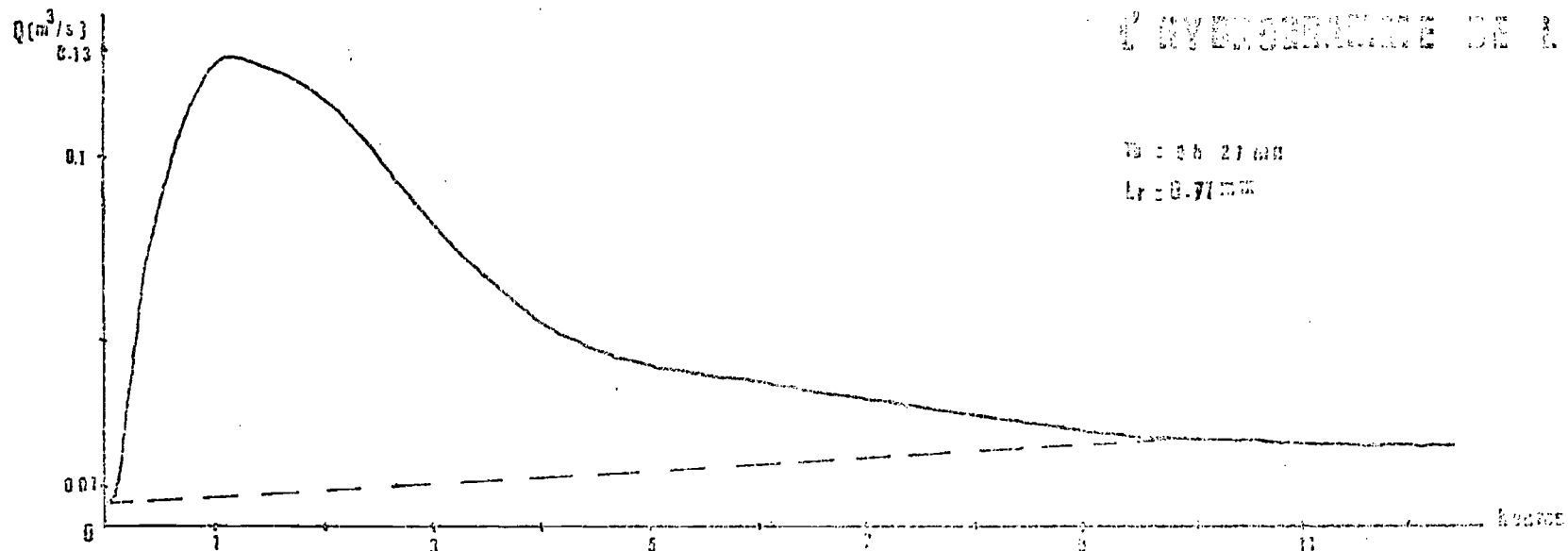
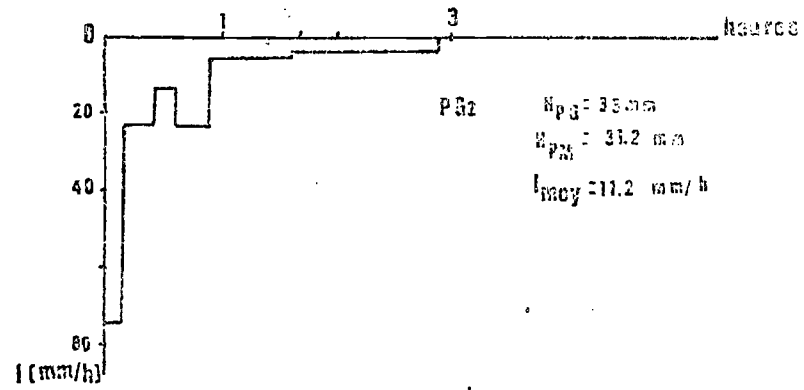
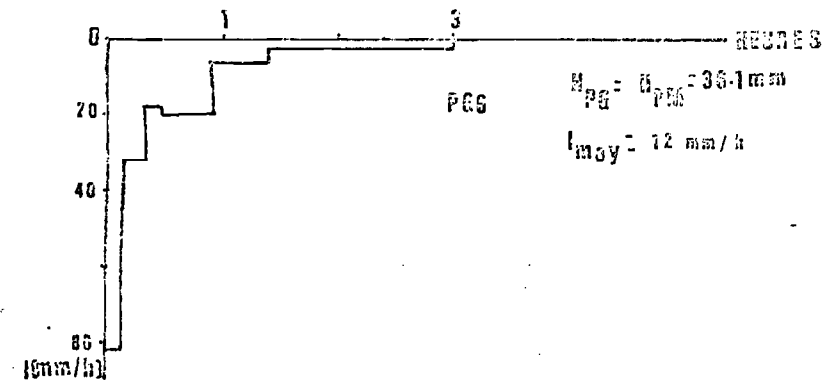
On reporte sur du papier semi-log l'hydrogramme de la décrue. On constate deux variations de courbe, la première marque le ruissellement direct, la deuxième marque la fin du ruissellement hypodermique. En joignant d'une droite le début de la montée au deuxième point de variation de courbure de l'hydrogramme on obtient le volume ruissellé fig 10.

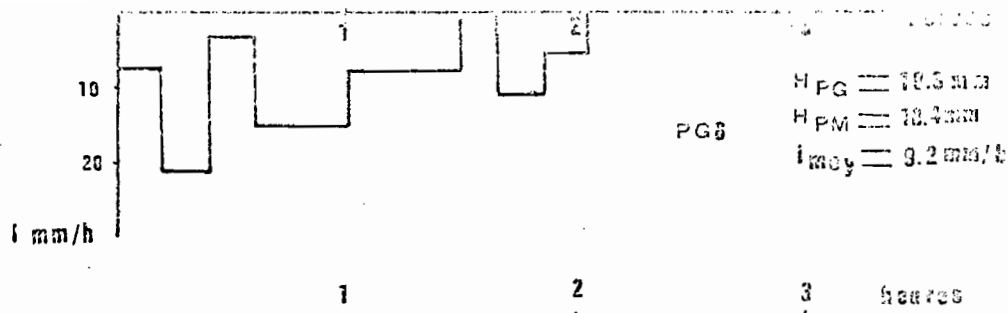
PROFIL DU SILLON

LES HYDROGRAMMES

DES STATIONS 3 ET 2

Fig 3





LES HYETOGRAMMES DES STATIONS 1 ET 2
 PLUIE DU 08/7/20

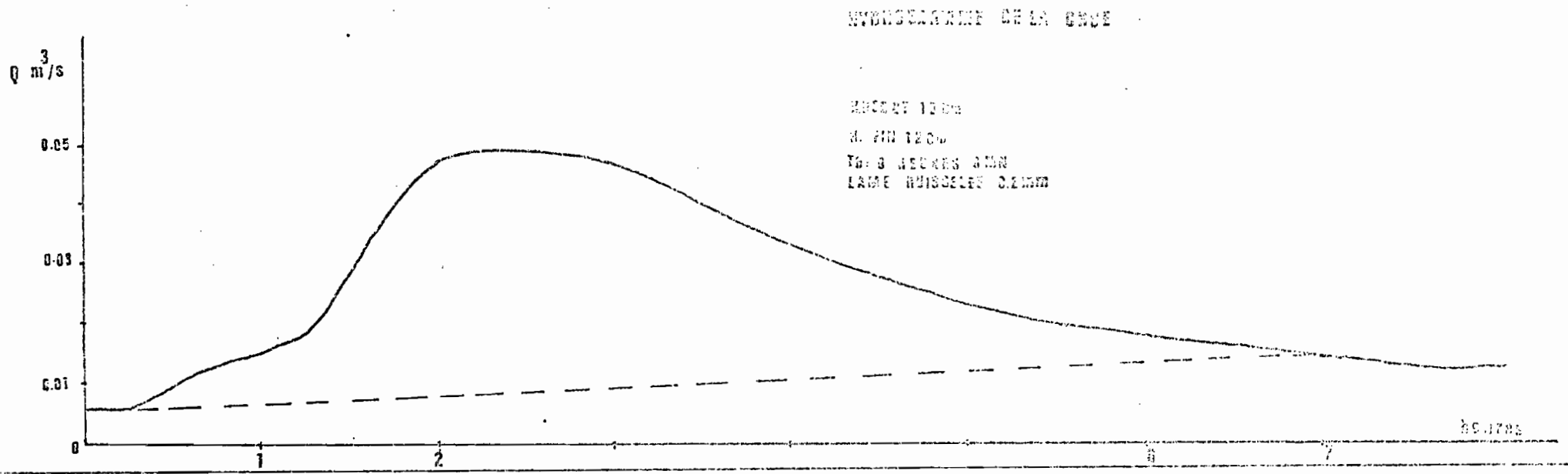
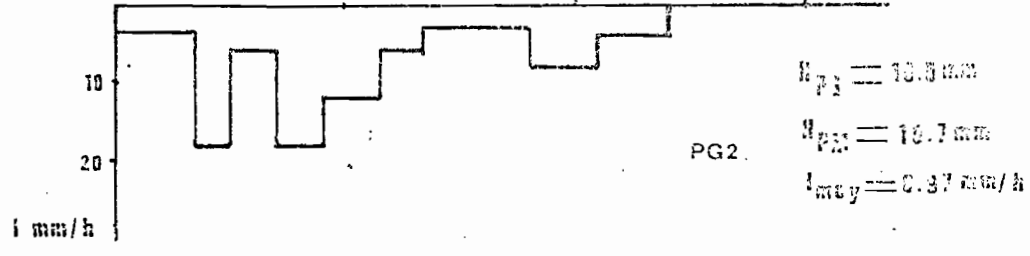


FIG 10

Service Pédagogique - Université de la Méditerranée - Marseille - France

PLUIE DU 31/7/83

LES HYETROGRAPHES

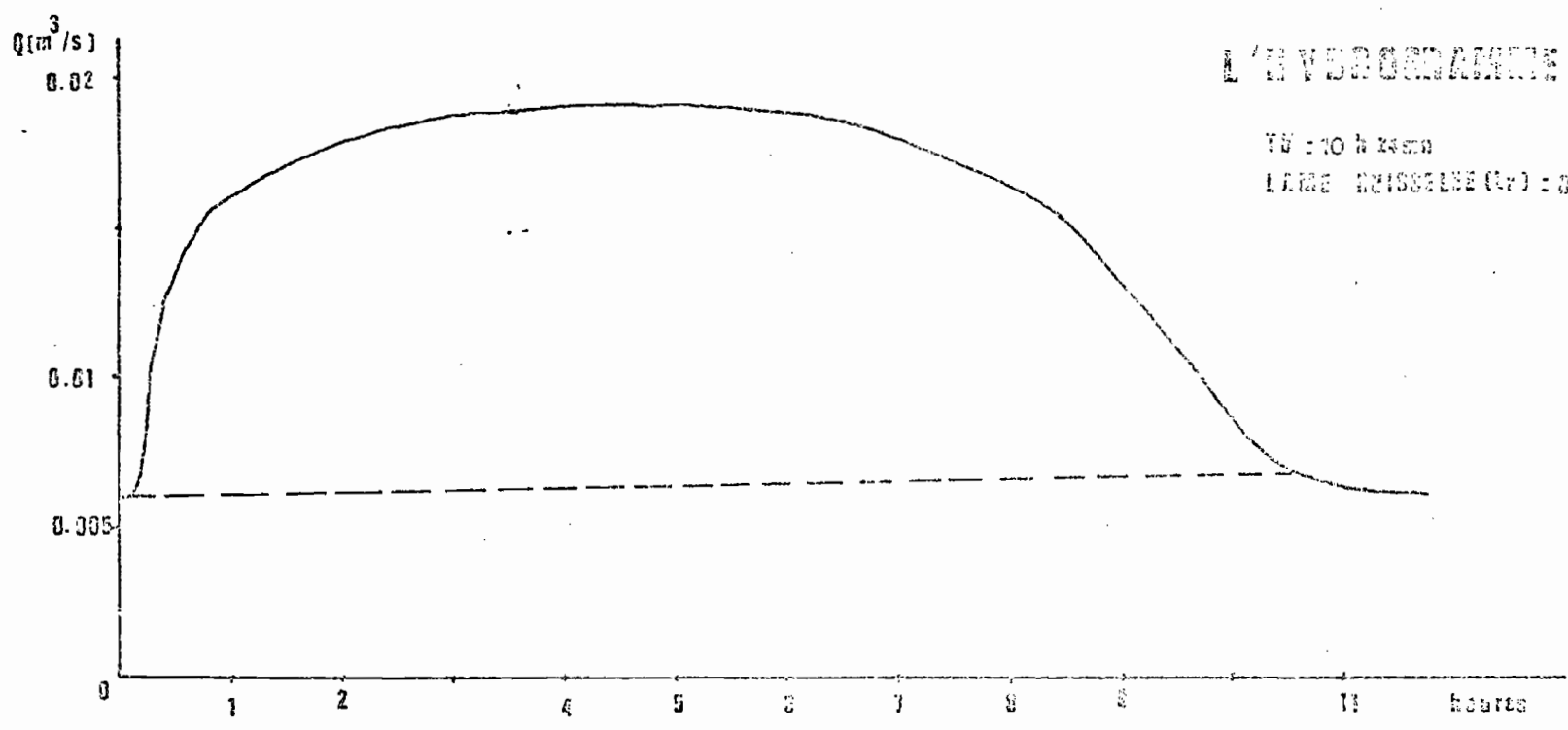
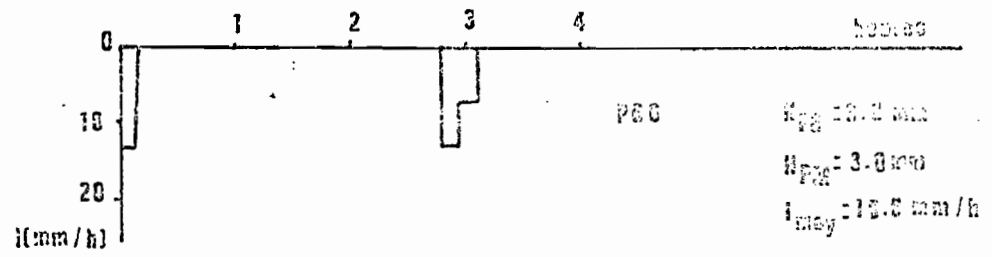
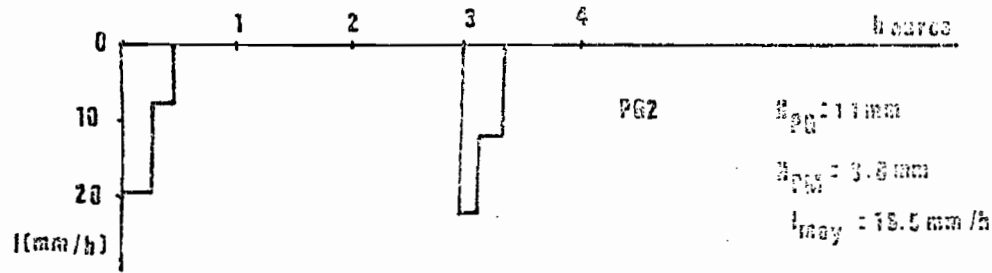
DES STATIONS 2 ET 6

L'HYDROGRAMME DE LA CRUE

$T_D = 10$ h 45mn

LAME BRUSSELE (Q_r) = 0.10 m³/s

Fig 11



5.5.5. Bilan

Sur un total de 10 averses dans le mois seules 8 ont donné lieu à des crues dont la valeur maximal du débit est 134 l/s. Le débit d'étiage est de 2,5 l/s avec une hauteur d'eau de 9,5 cm à l'échelle. Le volume de pluie tombée dans le mois est le produit de la hauteur moyenne des pluies cumulées par la surface.

$$\text{soit } v = 0,1568 \times 2,24 \cdot 10^6 = 351232$$

$$= 351000 \text{ m}^3.$$

Le volume d'eau ruisselée est la somme des volumes d'eau ruisselés pendant chaque pluie. On l'obtient en planimétrant les différents hydrogrammes des crues. Le volume d'eau ruisselée est de 8072 m³ soient une lame d'eau ruisselée de 2,8 mm et un coefficient de ruissellement de 2,3 % dans le mois.

Le débit moyen journalier est la moyenne des débits journaliers observés sur une période donnée. Celui du mois de juillet est 8,9 l/s, d'où le volume d'eau écoulée dans le mois par le débit de base.

$$\begin{aligned} V_e &= Q \cdot t \\ &= 8,9 \times 60 \times 60 \times 24 \times 31 \\ &= 23837,76 \cdot 10^3 \text{ l.} \\ &= 23800 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

Ce qui correspond à une lame d'eau mensuelle de 10,6 mm.

Le déficit d'écoulement désigné par la lettre D, pour une période d'observation est la différence entre la pluie moyenne sur le bassin et la lame totale écoulée dans la période.

$$D = P - l_e.$$

$$156,8 - (2,8 + 10,6) = 143,4 \text{ mm.}$$

Le déficit d'écoulement renferme les infiltrations l'évaporation et l'évapotranspiration. Ce bilan met en relief la hauteur d'eau écoulée et le déficit d'écoulement.

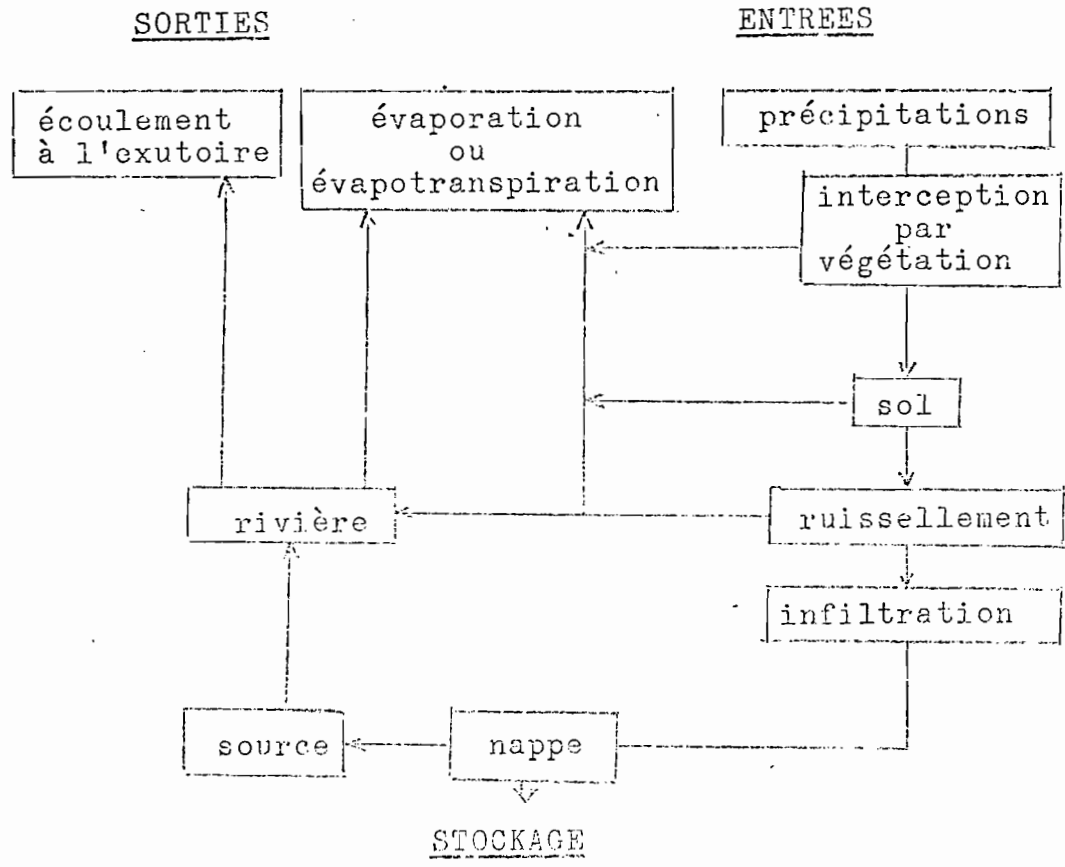
Le bilan hydrologique à l'échelle du bassin versant regroupe trois termes : les entrées, les sorties et les stocks.

- Les entrées renferment les précipitations. En ce qui me concerne ce sont les pluies.

- Les sorties regroupent l'évaporation, l'évapotranspiration et l'écoulement à l'exutoire.

La connaissance de ces différents termes donne des informations sur les travaux de génie civil (aménagement hydraulique construction de route, pont etc...).

SCHEMA SIMPLIFIE DU BILAN HYDROLOGIQUE



Date juillet 83	3	5	8	14	17	25	30	31
Hauteur de pluie mm	13,9	32,4	9,7	11,5	24,2	38,6	18,6	4,0
m ³ Volume d'eau ruisselée	440,1	1584	325	1036,8	1156,5	878,4	457,2	352,03
mm Lame d'eau ruisselée	0,20	0,21	0,15	0,46	0,52	0,39	0,20	0,16
Coefficient de ruissellement %	1,4	2,2	1,5	4,0	2,1	1,0	1,1	4,0

Les pluies du 11 et du 27 n'ont pas donné lieu à des ruissellements mais on en tient compte pour déterminer la hauteur d'eau tombée sur le bassin le mois soit 156,8 mm

La lame d'eau est 2,8

Le coefficient de ruissellement du mois : $K_r = 0,018 = 1,8 \%$.

VI. CONCLUSION

Le stage que j'ai effectué est un complément au cours à l'ENSTP. Il m'a permis d'avoir une vue plus large de certaines pratiques hydrologiques : le jaugeage point par point les appareils l'organisation d'une campagne de mesure etc...

Il est le stade où la théorie et la pratique se côtoient et se complètent pour de fiables résultats. Ce stage constitue une introduction à la recherche et une ouverture sur l'explication des phénomènes naturels par des méthodes scientifiques.

L'étude du bassin versant a fourni de nouvelles données sur les infiltrations et le ruissellement qui ont confirmé les modifications du comportement du bassin.

La connaissance des différents appareils hydrométriques et pluviométriques ont facilité les mesures sur le terrain. Au vu et au su de toutes ces connaissances je peux affirmer que le stage est d'un apport satisfaisant : il assure environ la moitié de notre formation.