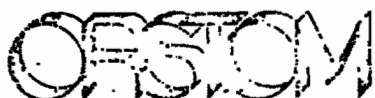


**ETUDE ET ANALYSE
HYDRO-PLUVIOMETRIQUE
D'UN BASSIN TROPICAL
BOORO-BOROTOU COTE D'IVOIRE**

Rapport de stage

Responsable de stage : A. GIODA

Février 1985



**INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION**

**CENTRE D'ADIPODOUME - COTE D'IVOIRE
B.P. 511 - APIDJAN**

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

(O.R.S.T.O.M.)

CENTRE D'ADIPODOUME

BP. V-51 ABIDJAN (Côte d'Ivoire)

Laboratoire d'Hydrologie

U.R. B 12

RAPPORT DE STAGE

ÉTUDE ET ANALYSE HYDRO-PLUVIOMÉTRIQUE D'UN BASSIN TROPICAL
(BOORO - BOROTOU ; COTE D'IVOIRE)

par

A.S. KOUROUMA

Responsable de stage : A. GIODA

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
I. <u>PRÉSENTATION DU BASSIN DE BOORO-BOROTOU</u>	7
1. <u>CADRE REGIONAL</u>	7
2. <u>DESCRIPTION</u>	7
2.1. Situation	7
2.2. Morphométrie	7
2.3. Relief et végétation	7
2.4. Réseau hydrographique	7
2.5. Sols	7
II. <u>PLUVIOMÉTRIE</u>	10
1. <u>GENERALITES</u>	10
2. <u>ETUDE DE LA PLUVIOMETRIE</u>	10
2.1. Equipement	10
2.1.1. Pluviomètres	10
2.1.1.1. Pluviomètre à 1 m du sol	10
2.1.1.2. Pluviomètre au sol	10
2.1.2. Pluviographe	10
2.2. Données pluviométriques	11
3. <u>ANALYSE PLUVIOMETRIQUE</u>	11
3.1. Tracé des polygones de THIESSEN	11
3.2. Calcul des superficies	11
3.2.1. Surfaces des polygones	11
3.2.2. Surface du bassin	12
3.3. Détermination de la pluie moyenne sur le bassin	12
3.3.1. Méthode des polygones de THIESSEN	13
3.3.2. Méthode des isohyètes	13
3.3.3. Abattement	14
III. <u>HYDROMÉTRIE</u>	15
1. <u>EQUIPEMENT</u>	15
1.1. Section de mesure	15
1.2. Section de contrôle	15
2. <u>DETERMINATION DES DEBITS A PARTIR DES VITESSES</u>	15
2.1. Différentes méthodes de mesure	15
2.1.1. Modalités de mesure sur chaque verticale	16
2.1.1.1. Mesures complètes	16
2.1.1.1.1. Méthode par points	16
2.1.1.1.2. Méthode par intégration	16
2.1.1.1.3. Calcul des vitesses	16
2.1.1.2. Mesures incomplètes	17
2.1.2. Mesure en fonction de la rapidité de la variation du plan d'eau	17
2.2. Dépouillement du jaugeage	17
2.2.1. Calcul des vitesses	17
2.2.2. Paraboles des vitesses et calcul des débits	19
3. <u>EXPLOITATION DES JAUGEAGES : TRACE DE LA COURBE DE TARAGE</u>	20

	Pages
4. <u>RESULTATS D'OBSERVATIONS HYDROLOGIQUES</u>	
4.1. Exploitation normale d'une échelle	23
4.2. Relevé limnigraphique	23
IV. <u>ANALYSE DU RUISSELLEMENT</u>	24
1. <u>ETUDE DES AVERSES INDIVIDUALISEES</u>	24
1.1. Etude de l'intensité de pluie	24
1.1.1. Calcul du coefficient de correction	24
1.1.2. Segmentation du temps	24
1.2. Corps de l'averse	30
2. <u>ETUDE DES CRUES</u>	32
2.1. Limnimétrie	32
2.2. Caractéristiques des crues	32
3. <u>FACTEURS DU RUISSELLEMENT : ETAT DE SATURATION DU SOL</u>	33
3.1. Mesure de l'humidité	33
3.1.1. Méthode directe	33
3.1.1.1. Méthode gravimétrique	33
3.1.1.2. Méthode de sonde à neutrons	33
3.1.2. Mesure indirecte	34
3.1.2.1. Méthode de laboratoire	34
3.1.2.2. Indice d'humidité	34
3.1.2.3. Indice de pluie antérieure	34
3.2. Mesure de perméabilité	34
3.2.1. Méthode PORCHET	34
3.2.2. Méthode de MUNTZ	34
3.3. Mesure de l'infiltration	35
3.3.1. Méthode de submersion	35
3.3.2. Méthode de simulation de pluie	35
3.3.3. Méthode des anneaux	35
V. <u>RÉSULTATS GÉNÉRAUX</u>	36
1. <u>DEBITS JOURNALIERS</u>	36
2. <u>DISTRIBUTION MENSUELLE DE L'ÉCOULEMENT</u>	36
3. <u>REPARTITION ANNUELLE</u>	36
3.1. Pluviosité, écoulements et déficits d'écoulement	36
3.2. Caractéristiques des crues	37
4. <u>ETUDE STATISTIQUE (LOI NORMALE D'ANALYSE)</u>	37
4.1. Analyse des données hydro-pluviométriques	37
4.2. Estimation d'un débit pour une probabilité donnée	37
4.2.1. Analyse de l'échantillon	38
4.2.2. Test d'adéquation	38
<u>CONCLUSION</u>	40
<u>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	41

J'exprime ici toute ma reconnaissance à l'ORSTOM Centre d'Adiopodoumé. pour avoir contribué à ma formation en hydrologie.

Je profite de l'occasion pour adresser mes remerciements au personnel du Service de l'Hydrologie, tout particulièrement à M. Alain GIODA qui a mis tout en oeuvre pour me guider dans la réalisation de ce stage ; ainsi qu'à M. Alain CASENAVE pour les sages conseils et l'accueil bienveillant qu'il m'a réservé. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude

J'adresse également ma considération distinguée à M. Pierre CHEVALLIER qui devait être à l'origine mon maître de stage, pour les marques de sympathie qu'il m'a accordé et pour m'avoir montré les premiers pas de l'informatique en hydrologie.

Je remercie également M. Jacques ETIENNE et F. SAKLY.

Mes remerciements vont aussi à M. Jean LAUNAY, Directeur du Centre d'Adiopodoumé, et à M. Johan Ari Van KEKEN de l'Institut d'Ecologie Tropicale.

INTRODUCTION

Le présent rapport a pour objectif de présenter les données recueillies et les principaux résultats des études hydrologiques effectuées.

La recherche hydrologique a pour but de recueillir les données et de les interpréter pour résoudre des problèmes d'aménagements. Ces recherches se font le plus souvent sur des bassins représentatifs ou expérimentaux.

Ces études permettent de connaître les relations entre les composantes du cycle de l'eau ainsi que la prévision et l'évaluation de ces composantes.

Les bassins représentatifs sont des bassins choisis comme étant caractéristiques d'une région hydrologique à caractère supposée homogène.

Les bassins expérimentaux sont ceux dont on modifie volontairement l'une des caractéristiques pour pouvoir étudier son effet sur le comportement hydrologique du bassin.

Ce rapport concerne l'organisation et le fonctionnement du bassin de Booro-Borotou. Il vise à montrer ce que sont les méthodes hydrologiques et les orientations de recherches. Cette recherche vise à définir les corrélations entre les organisations de la végétation/de la surface/de la couverture et leur comportement vis-à-vis de l'eau.

L'objectif essentiel de ce type d'étude est d'établir une relation entre les études détaillées des processus physiques (exemple : le bassin de Booro) et celles des bassins moins connus, dans le cadre d'un projet régional de développement.

I. PRÉSENTATION DU BASSIN DE BOORO-BOROTOU

1. Cadre régional

Le bassin de Booro est un bassin représentatif de savane boisée très peu cultivée. Il se situe au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. Cette zone a un climat tropical correspondant à l'isohyète annuelle 1300 mm. Le drainage est assuré par un cours d'eau dont l'écoulement est assez faible au mois de janvier et probablement nul au mois de février.

Cela peut dénoter l'existence d'une nappe aux limites qui sont à peu près les mêmes que celles du bassin hydrographique limitée à l'aval par le seuil rocheux où l'écoulement de surface est contrôlé.

Touba est une région de grands plateaux, traversée par des cours d'eau affluents du Sassandra : le Bafing, la Bagbé... Elle a une altitude moyenne d'à peu près 500 m.

2. Description

2.1. Situation (coordonnées de l'exutoire : 8°28'53" N - 7°34'43" W)

Le bassin de Booro est situé à 25 km de la Sous-Préfecture de Touba, à proximité du village de Booro-Borotou (fig. 1) environ à 1,5 km à l'Ouest de ce village. Son exutoire est situé au droit d'un affleurement rocheux. Cet exutoire est normalisé par un ouvrage ayant deux postes limnigraphiques et deux échelles de crue permettant de mesurer avec exactitude l'écoulement du bassin.

2.2. Morphométrie

Le bassin de Booro a une superficie de 1,36 km² pour un périmètre de 4,92 km. Un nivellement a permis de déterminer des limites du bassin et d'en chiffrer les dimensions. Au moment où nous étions sur le bassin, les travaux de topographie et de pédologie avaient été déjà effectués.

La fig. 2 représente l'ensemble du bassin.

Un indice est calculé théoriquement pour avoir une idée sur le degré de compacité du bassin. Cet indice appelé indice de compacité est déterminé par la formule ci-après. Il s'appelle encore coefficient de GRAVELIUS.

$$K_C = \frac{P}{2 \sqrt{\pi A}}$$

P - périmètre du bassin

A - superficie du bassin

ce qui donne pour le bassin de Booro $K_C = 1,18$. Cet indice, proche de 1, signifie que le bassin est très compact.

2.3. Relief et végétation

Le bassin est situé dans une zone représentative des régions du plateau. La cote la plus élevée du bassin est de 474,5 m, celle de l'exutoire de 426 m. Le bassin est d'une classe de relief R₁ et est orienté dans le sens Sud-Nord.

La végétation est de type savane arbustive avec une galerie forestière le long du cours d'eau. Cette savane arbustive est parcourue par des feux de brousse. Environ 21,5% (jachère comprise) de la surface du bassin sont en culture (manioc, coton...). Le couvert végétal diminuant en saison sèche par l'action des feux de brousse, cela peut être favorable à une réduction de l'évapotranspiration et à une augmentation du ruissellement immédiat.

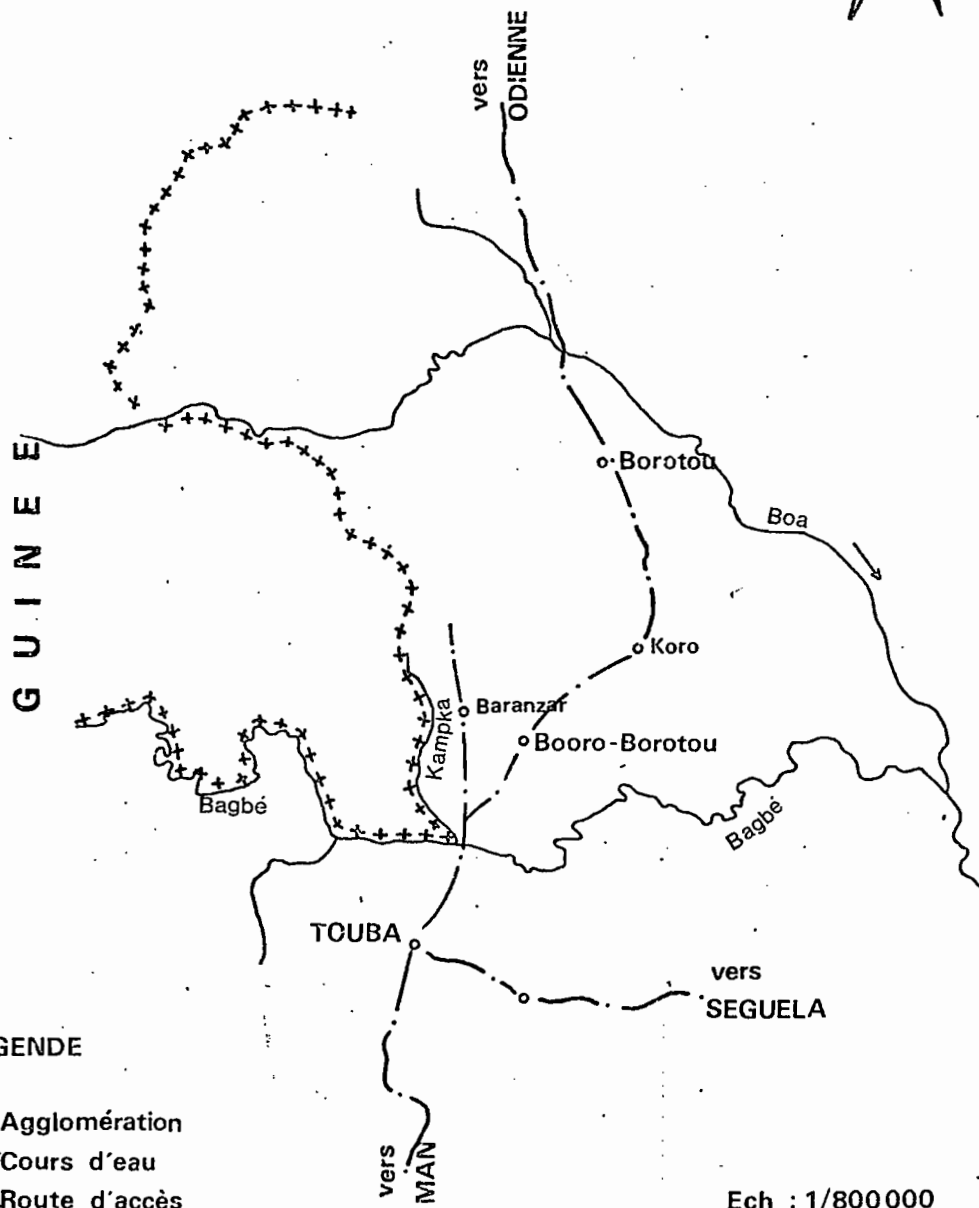
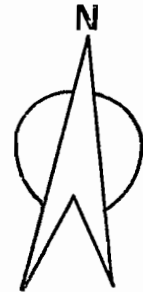
2.4. Réseau hydrographique

Un seul cours d'eau (marigot) traverse le bassin dans le centre sur le sens de la longueur. En saison des pluies, il est alimenté par de petits ruisseaux provenant des pentes du bassin à travers des ravines mais celles-ci présentent l'originalité de ne pas rejoindre le bas-fonds.

2.5. Sols

L'étude pédologique effectuée par le Laboratoire de Pédologie de l'ORSTOM (Adiopodoumé) représenté par M. CAMARA et D. BOA donne les résultats suivants:

Fig.1 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE BOORO-BOROTOU

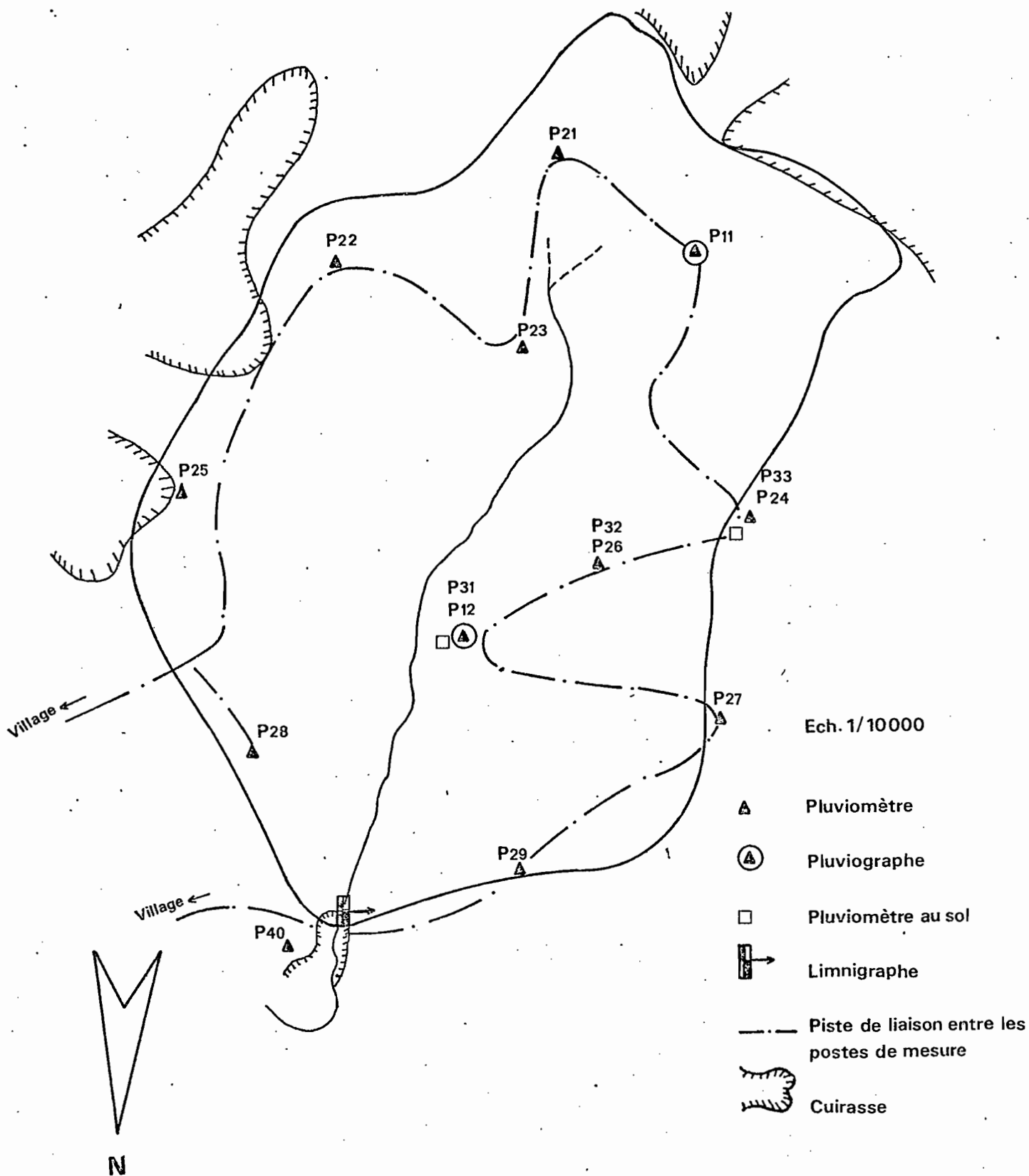


LEGENDE

- Agglomération
- ~~~~~ Cours d'eau
- Route d'accès
- - - - - Limite d'état

Ech : 1/800000

Fig.2 : BASSIN DE BOORO-BOROTOU



Ech. 1/10000

- ▲ Pluviomètre
- ⊙ Pluviographe
- Pluviomètre au sol
- ▮ → Limnigraphe
- Piste de liaison entre les postes de mesure
- ⌘ Cuirasse

Selon l'étude pédologique de la région de Touba (nord-ouest de la Côte d'Ivoire) réalisée par VIENNOT (1983), à l'échelle de 1/200.000e, le bassin versant de Booro-Borotou concerné par la présente étude correspond au paysage morpho-pédologique 1 caractérisé par des plateaux ou témoins cuirassés bien individualisés. Du sommet de l'interfluve au bas de pente, les unités cartographiques d'après la typologie suivie par ESCHENBRENNER et BADARELLO (1978) sont : UC 11, UC 13, UC 14.

A l'échelle du présent travail (1/2.500e), en plus du paysage 1, on reconnaît les paysages 3 et 5. Le paysage morpho-pédologique 3 est un paysage de collines gravillonnaires convexes à plan convexe ; les unités cartographiques sont : UC 15, UC 16, UC 17.

Le paysage morpho-pédologique 5 présente le modelé suivant : le sommet est convexe ou plan convexe et le versant convexe à plan convexe puis rectiligne. Les unités cartographiques sont : UC 4, UC 6, UC 7 et UC 22.

Au cours de ce chapitre, nous allons d'abord décrire l'aspect de la surface des sols et, ensuite, classer les sols qui ont été observés sur le bassin versant.

A. ASPECT DE LA SURFACE DES SOLS

Les caractéristiques de l'aspect de la surface des sols ont été déterminées en suivant la piste faisant le tour du bassin en partant de l'exutoire (N-NE du bassin). Le trajet suivi part du point le plus bas (exutoire) à la butte cuirassée au sud-est ; de cette butte, le cheminement s'est poursuivi sans tenir compte de la variation de pente pour aboutir à nouveau à l'exutoire.

Sur une même position topographique, l'aspect de la surface du sol du bassin versant ne varie pas. Fort de cette constatation, nous baserons nos descriptions sur les grandes parties d'un interfluve.

Bas de pente : sur le tiers inférieur et médian du bas de pente, le sol est sableux en surface avec une coloration grise plus ou moins foncée. Sur le tiers supérieur du bas de pente, si le sol reste toujours sableux, sa coloration devient nettement rosée.

Mi-pente : sur toute la partie médiane du versant, on observe des gravillons en surface avec un gradient décroissant de la base vers le sommet de la mi-pente. Le sol, en surface, a une couleur brun rose et une texture sableuse dominante.

Tiers supérieur : à ce niveau du versant, on n'observe plus de gravillons en surface. Le sol a toujours une couleur brun rose et une texture qui devient limono-sableuse.

Sommet : sur le tiers inférieur du sommet, les gravillons apparaissent à nouveau en surface en plus des gros blocs de cuirasse (quand il s'agit du paysage 1). Le sol a une texture sableuse dominante et une coloration brune. Sur le tiers médian et supérieur du sommet, les gravillons se raréfient. Cependant, on continue d'observer en surface (comme sur le tiers inférieur toujours en ce qui concerne le paysage 1), de gros blocs de cuirasse dont les uns sont pisolitiques et les autres vacuolaires. Au niveau des zones marquées par des rigoles d'érosion, on note un déchaussement des racines et l'existence de gravillons essentiellement brunifiés. Localement, subsistent quelques blocs de granite à ferromagnésiens. Le sol, en surface, reste limono-sableux avec une coloration brun foncé.

Au sommet de pente du paysage morpho-pédologique 3, on n'observe pas de gravillons en surface. Le sol a une texture limono-sableuse et une coloration brun foncé en surface.

Au sommet de pente du paysage morpho-pédologique 5, on observe un affleurement de roche leucocrate comportant des lits noirs. De taille moyenne, cet affleurement se présente sous forme de dos de baleine.

B. CLASSIFICATION DES SOLS OBSERVES

Les sols classés, à partir de 96 profils, ont été observés le long de neuf toposéquences

La classification qui fait référence au CPCS (version 1967) est basée essentiellement sur les caractéristiques morphologiques des sols concernés. Le fait d'accorder une grande importance aux caractéristiques morphologiques traduit le caractère appliqué de ce travail.

Les sols observés appartiennent à quatre classes :

- la classe des sols minéraux bruts ;
- la classe des sols peu évolués ;
- la classe des sols hydromorphes ;
- la classe des sols ferrallitiques.

Dans la classe des sols minéraux bruts, les sols appartiennent à la sous-classe des sols minéraux bruts non climatiques, au groupe des sols minéraux bruts d'érosion et au sous-groupe des lithosols, et enfin, à la famille des granites à faciès migmatitique marqué.

Dans la classe des sols peu évolués, deux sous-classes ont été reconnues :

- la première sous-classe reconnue est celle des sols peu évolués non climatiques, le groupe est celui des sols d'apport colluvio-alluvions, le sous-groupe est hydromorphe et, enfin, la famille est celle des sols colluvio-alluvions ;

- la seconde sous-classe observée est celle des sols peu évolués humifères, le groupe celui des rankers, le sous-groupe à müll et la famille celle des granites à faciès migmatitique marqué. On observe ces sols au contact du dôme granitique (paysage 5) et du versant.

Dans la classe hydromorphe, les sols correspondent à la sous-classe des sols hydromorphes peu humifères ou de sols minéraux bruts, au groupe à pseudogley, au sous-groupe à pseudogley de surface et enfin, à la famille colluvio-alluvions. Le faciès est appauvri en surface.

Les sols ferrallitiques sont très largement représentés sur le bassin versant. Ils regroupent plus de 95 % des sols observés. Les quatre groupes (typique, appauvri, remanié et rajeuni) de cette classe ont été reconnus. Les sous-groupes sont pour :

- * le groupe remanié :
 - modal ;
 - induré ;
 - appauvri ;
 - rajeuni ;
- * le groupe rajeuni :
 - avec érosion et remaniement ;
- * le groupe appauvri :
 - modal ;
 - hydromorphe ;
- * le groupe typique :
 - modal ;
 - rajeuni ;
 - remanié.

La famille des sols ferrallitiques est essentiellement granitique. Les faciès sont rajeunis, remaniés, appauvris en surface et d'hydromorphie ancienne.

Comme on peut le constater, nous n'avons pas défini les caractéristiques des sols classés dans les divers classes, sous-classes, groupes, sous-groupes et familles. Ces définitions sont identiques à celles déjà mentionnées dans un précédent rapport de BOA et CAMARA (1984).

II. PLUVIOMÉTRIE

1. Généralités

Le climat de Booro-Borotou est de type tropical de transition caractérisé par deux saisons bien distinctes. La saison des pluies longue de 5 à 6 mois va de juin à novembre ; au cours de cette saison les précipitations sont abondantes et fréquentes. La saison sèche dure 7 mois, de novembre à mai; les précipitations pendant cette période sont rares.

2. Etude de la pluviométrie

2.1. Equipement

La mesure de la précipitation se fait par des pluviomètres usuels. N'importe quel récipient ouvert peut servir de pluviomètre. Toutefois, pour obtenir des données d'observations précises, il est nécessaire et indispensable d'utiliser des pluviomètres normalisés.

La station de Booro est équipée dans l'ensemble de neuf pluviomètres à 1 m du sol, trois pluviomètres au sol et de 2 pluviographes (voir fig. 3 et 4).

La répartition spatiale de ces instruments est indiquée sur la fig. 2.

2.1.1. Pluviomètres

Les relevés sont effectués tous les matins et les résultats sont cumulés par journée de 24 heures (8 h le jour J-1 à 8 h le jour J).

Il existe deux sortes de pluviomètres.

2.1.1.1. Pluviomètre à 1 m du sol

C'est un pluviomètre de type "association" monté sur un support et dont l'arête de la bague réceptrice est à 1 m au-dessus du sol. La surface de réception est nécessairement horizontale et a une valeur de 400 cm². La fig. 3 montre une vue de ce type de pluviomètre. Il doit son nom à l'"Association Scientifique de France" qui l'a répandu autrefois.

Il est composé de trois parties :

- Un seau en zinc où s'accumule la pluie recueillie ;
- Un entonnoir de même métal formant surface réceptrice ;
- Une bague circulaire à bords tranchants de 22,6 cm de diamètre, limitant une surface réceptrice de 400 cm².

2.1.1.2. Pluviomètre au sol

Il est de type SNOWDON adapté dit type "ORSTOM" (fig. 4). Il est placé de telle manière que la bague soit au même niveau que le sol et entouré d'un bâti à lamelles pour éviter les éclaboussures de pluie.

L'association des pluviomètres au sol et à 1 m du sol sert à mettre en évidence l'effet du principal facteur d'erreur en pluviométrie : l'action du vent sur la trajectoire des gouttes d'eau.

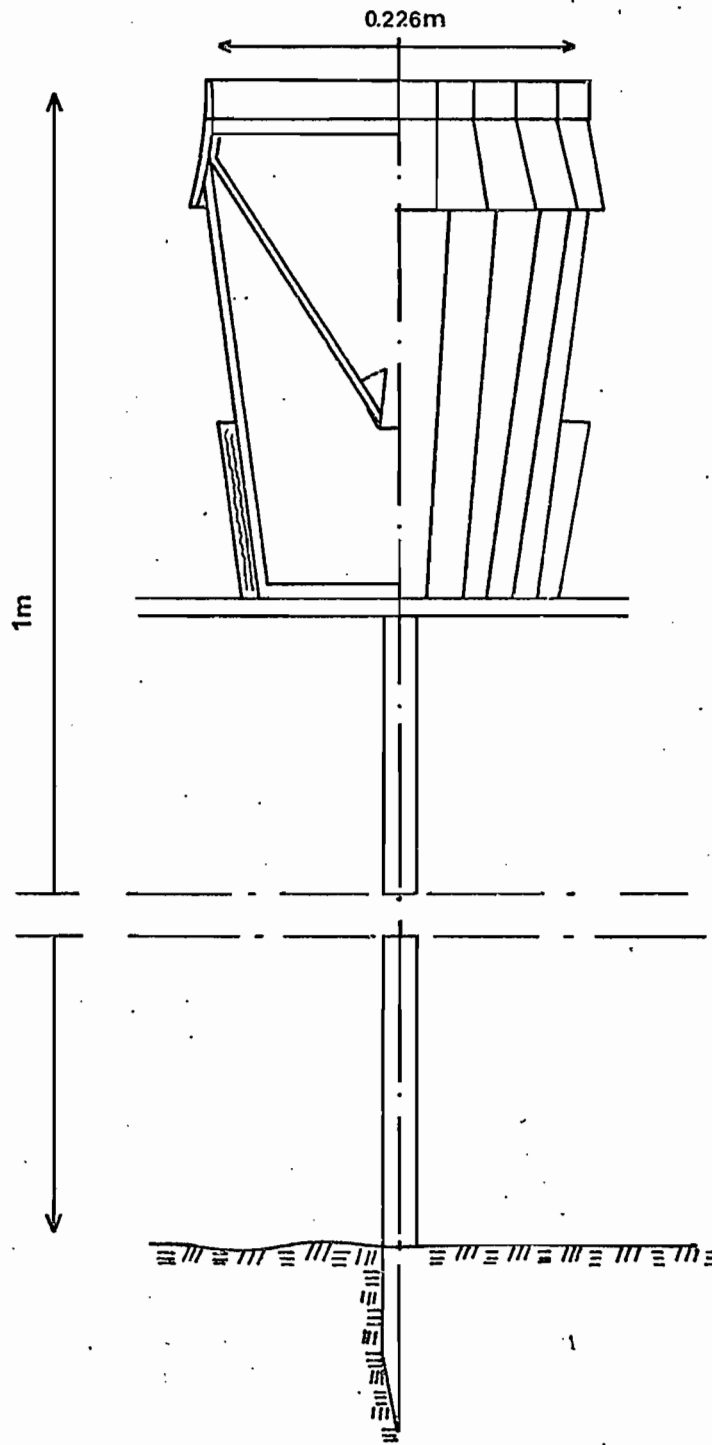
2.1.2. Pluviographe

Dans de nombreuses études hydrologiques (prévision du débit de crue par exemple), il est indispensable de connaître non seulement la hauteur totale de précipitation afférente à une période calendaire assez longue (journée), mais aussi l'intensité de ces précipitations exprimée en mm par heure à chaque instant au cours d'une averse.

On utilise à cet effet des pluviomètres enregistreurs ou pluviographes. Ils permettent de tracer sur un diagramme une courbe représentative des hauteurs de précipitations cumulées en fonction du temps.

Le type utilisé sur le bassin de Booro est le pluviographe à augets basculants de type "Précis Mécanique" (fig. 4) à tambour à rotation journalière (24 heures). La bague réceptrice a une surface de 400 cm² également.

Fig.3 : VUE D'ENSEMBLE D'UN PLUVIOMETRE



Demi - coupe dans l'axe

Fig. 4 a : PLUVIOMETRE AU SOL

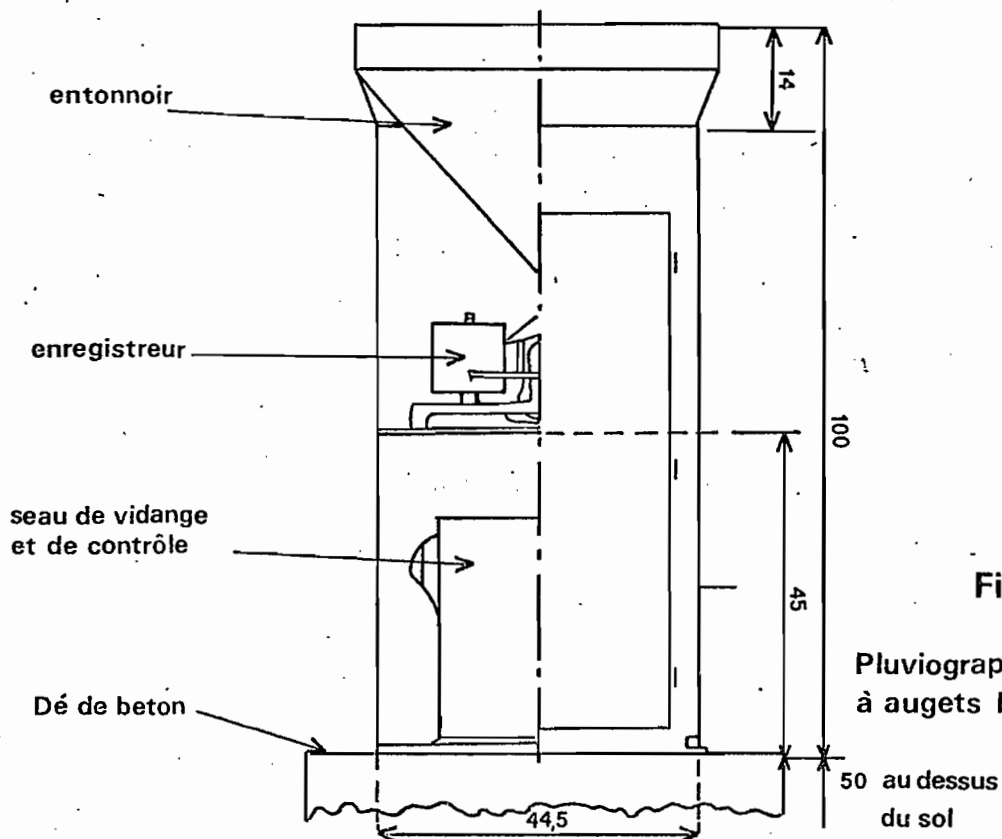
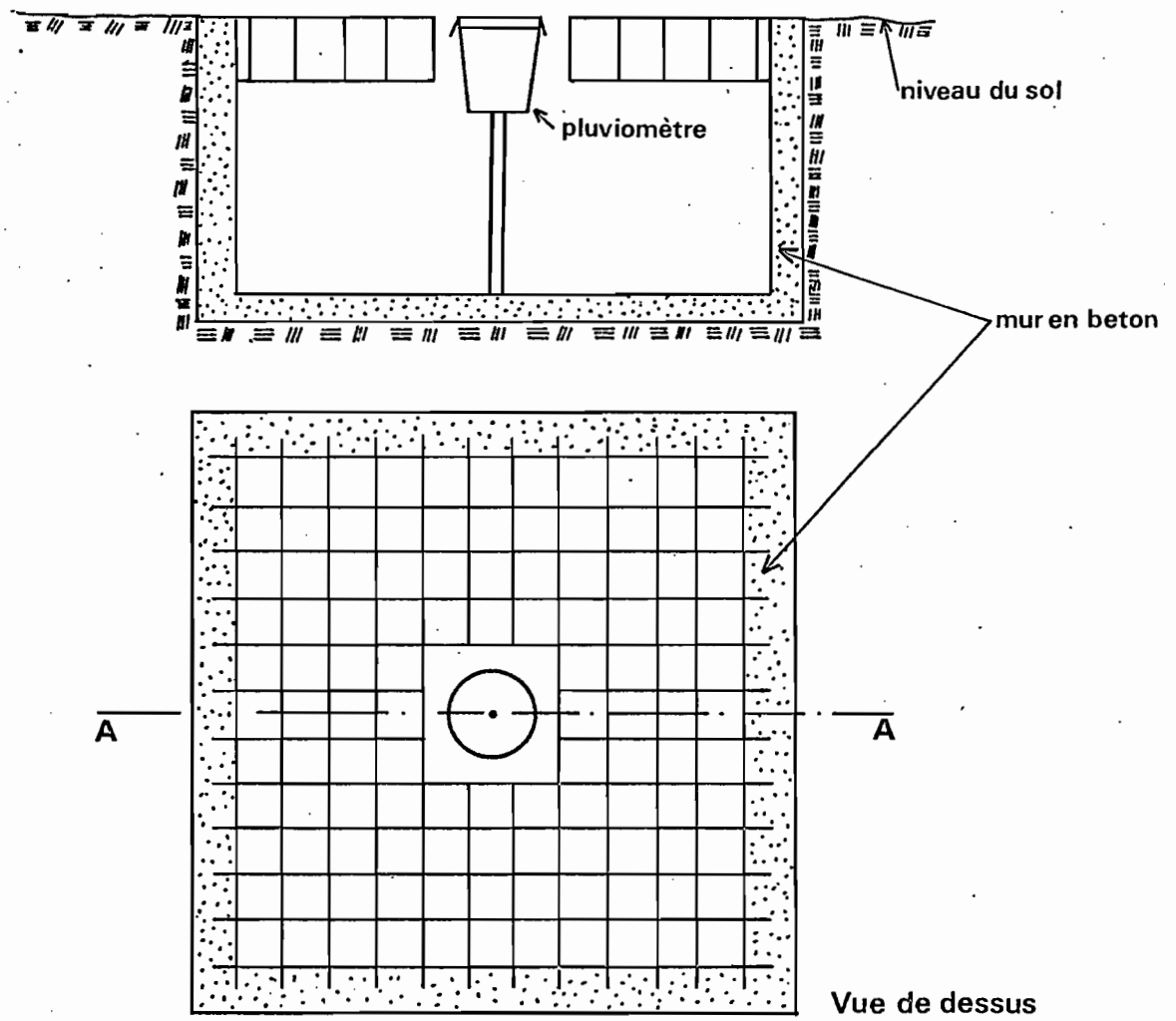


Fig. 4 b

Pluviographe "précis mécanique"
à augets basculants

2.2. Données pluviométriques

La hauteur de précipitation est l'épaisseur comptée suivant la verticale de la lame d'eau qui s'accumulerait sur une surface horizontale si toutes les précipitations reçues par celle-ci s'y trouvaient immobilisées.

Les hauteurs de précipitations présentées dans ce rapport n'ont pas été recueillies sur le terrain par le stagiaire. Elles sont le résultat d'observations d'autres chercheurs. Cela a pour cause l'arrivée tardive du stagiaire sur les lieux de travail.

Ainsi les données pluviométriques et hydrologiques pourront être de bassins différents. Elles restent valables à titre d'exemple et de plus ont été recueillies sur des bassins de la même zone climatique.

3. ANALYSE PLUVIOMETRIQUE

Du point de vue théorique, une telle analyse permet :

- . de représenter le bassin par une série de paramètres quantitatifs, de façon à pouvoir transposer les résultats des recherches à d'autres bassins ;
- . de définir avec le maximum de précisions possible le dit bassin et ses caractéristiques climatiques ;
- . d'élaborer des modèles mathématiques caractérisant en totalité ou en partie les processus hydrologiques dont les bassins représentatifs sont le siège ;
- . de préciser, dans certains cas, les bilans hydriques du bassin.

3.1. Tracé des polygones de THIESSEN.

Comme leur nom l'indique ce sont des polygones tracés autour des emplacements de postes pluviométriques dits stations pluviométriques.

Ils se font en joignant les stations représentées sur un plan par des segments de droite. Ainsi sont obtenus des triangles avec des stations à chaque sommet. Des perpendiculaires sont élevées à partir du milieu de chaque segment. Toutes les perpendiculaires d'un même triangle se rejoignent en un point. Ces lignes perpendiculaires ainsi tracées délimitent des figures qui sont les polygones. Chaque station donne avec plus ou moins de précision la pluviométrie moyenne du polygone correspondant. (fig.5).

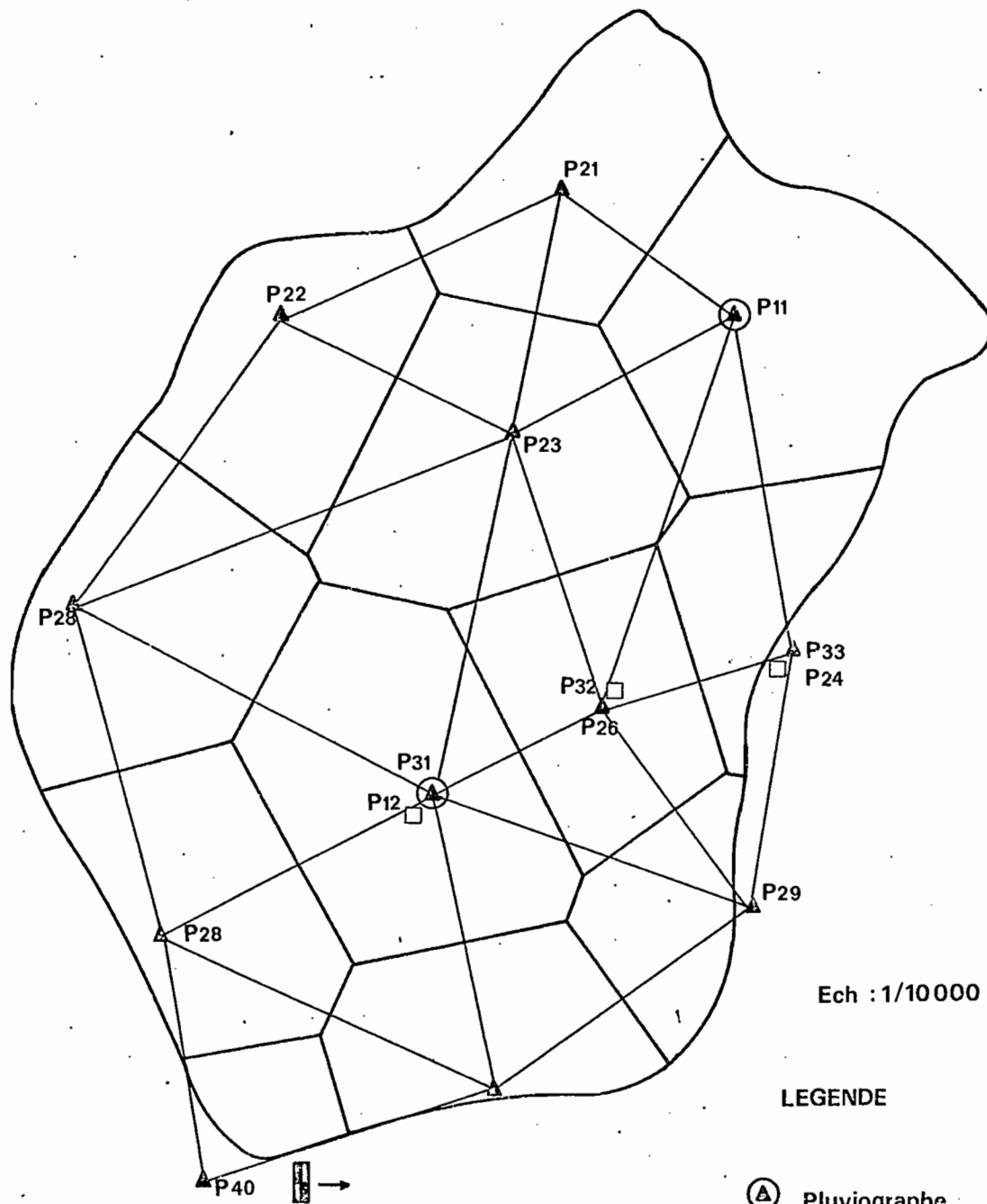
3.2. Calcul des superficies

3.2.1. Surfaces des polygones.

A la suite du tracé des polygones pour chaque station, on procède à la mesure (planimétrage) de la surface de chacun des polygones. On pratique trois fois le planimétrage pour chaque surface, ce qui permet de procéder à un contrôle, et la moyenne des trois mesures donne un chiffre approchant de la réalité.

Fig. 5 : BASSIN DE BOORO-BOROTOU

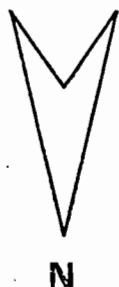
Division en polygones et équipement
hydro - pluviométrique



Ech : 1/10000

LEGENDE

- ⊙▲ Pluviographe
- ▲ Pluviomètre
- Pluviomètre au sol
- ▭→ Limnigraphe



P ₂₁	1.	0771	.0655	11,6	11,73
	2.	0940	.0822	11,8	
	3.	4385	.4267	11,8	
P ₁₁		2600	2425	17,5	17,80
		2778	2600	17,8	
		2959	2778	18,1	
P ₂₂		2011	1891	12,0	11,96
		2129	2011	11,8	
		2250	2129	12,1	
P ₂₃		2419	2258	16,1	16,33
		2582	2419	16,3	
		2748	2382	16,6	
P ₃₃ P ₂₄		3548	3481	06,7	06,63
		3612	3548	06,4	
		3680	3612	06,8	
P ₂₅		2122	1978	14,4	14,36
		2272	2122	15,0	
		2412	2272	14,0	
P ₃₁ P ₁₂		3025	2848	17,7	17,70
		3203	3025	17,8	
		3379	3203	17,6	
P ₃₂ P ₂₆		3735	3623	11,2	11,16
		3845	3735	11,0	
		3958	3845	11,3	
P ₂₇		4649	4587	06,2	06,10
		4710	4649	06,1	
		4770	4710	06,0	
P ₂₉		4787	4687	10,0	10,10
		4939	4837	10,2	
		5040	4939	10,1	
P ₂₈		4909	4789	12,0	12,03
		5030	4909	12,1	
		5150	5030	12,0	
P ₄₀		5180	5150	03,0	03,00
		5210	5180	03,0	
		5220	5210	03,0	

Totale 138,90 ha = 1,389 km²

3.2.2. Détermination de la surface du bassin

6623	5240	138,3	138,63 ha = 1,386 km ²
8011	6623	138,8	
9399	8011	138,8	

3.3. Détermination de la pluie moyenne sur le bassin

3.3.1. Méthode des polygones de THIESSEN

La détermination de la pluie tombée sur chaque polygone sera :

Pour le polygone P₂₁ au cours du mois de juillet 1984

$P =$ pluviométrie mensuelle de la station x surface du polygone

P ₂₁	$P = 238,5 \times 11,73$	$= 2797,605$
P ₁₁	$P = 220,8 \times 17,80$	$= 3930,240$
P ₂₂	$P = 242,4 \times 11,96$	$= 2899,104$
P ₂₃	$P = 232,8 \times 16,33$	$= 3801,624$
P ₃₃ P ₂₄	$P = 222,9 \times 6,69$	$= 1477,827$
P ₂₅	$P = 235,1 \times 14,36$	$= 3376,036$
P ₃₁ P ₁₂	$P = 222,8 \times 17,70$	$= 3943,560$
P ₃₂ P ₂₄	$P = 222,15 \times 11,16$	$= 2479,194$
P ₂₇	$P = 209,5 \times 6,10$	$= 1277,250$
P ₂₉	$P = 212,6 \times 10,10$	$= 2147,260$
P ₂₈	$P = 218,8 \times 12,03$	$= 2632,164$
P ₄₀	$P = 46,9 \times 3$	$= 140,700$

Ce qui permet de déterminer la pluie comme suit :

$$P_m = \frac{P_{21} + P_{11} + P_{22} + P_{23} + P_{33} P_{24} + P_{25} + P_{31} P_{12} + P_{32} P_{26} + P_{27} + P_{25} + P_{28} + P_{40}}{\text{Surface totale du bassin}}$$

$$P_m = \frac{30 \ 303,264}{138,90} = 222,286 \approx 222,3 \text{ mm}$$

Pour un travail de routine, on adopte, pour chaque averse, des coefficients de pondération appelés coefficients de THIESSEN. Ce sont des coefficients qui lient les polygones au bassin.

$$\text{Coefficient (\%)} = \frac{\text{surface polygone considéré}}{\text{surface du bassin}} \times 100$$

Tableau Ia-Coefficient de THIESSEN

Polygone	Surface	Coefficient de THIESSEN
	cm ²	%
P21	11.73	8.4
P11	17.80	12.8
P22	11.96	8.6
P23	16.33	11.8
P33 P24	6.63	4.8
P25	14.36	10.3
P31 P12	17.70	12.7
P32 P26	11.16	8
P27	6.10	4.4
P29	10.10	7.3
P28	12.03	8.7
P40	3	2.2

Ce qui permet de calculer la pluie moyenne beaucoup plus précisément sur le bassin qu'en faisant la moyenne des postes. Il s'agit de considérer la pluviométrie journalière de chaque station et la multiplier par le coefficient de THIESSEN qui est un coefficient correctif.

Tableau Ib - Pluie moyenne pour le mois d'août 1984

Date	P21	P11	P22	P23	P33 P24	P25	P31 P12	P32 P26	P27	P29	P28	P40	Pm (mm)
1	123,48	186,88	117,82	153,4	67,2	136,99	167,64	105,6	62,92	101,47	120,06		13,4
3	168	258,56	180,6	233,64	98,16	229,69	276,22	158,4	103,4	162,06	214,02		20,8
6	113,4	152,32	128,14	158,12	59,76	145,23	178,43	103,6	58,52	99,28	111,36		13,1
16	175,56	218,88	191,78	238,36	85,2	234,84	232,41	152	73,48	124,83	77,43		18
18	279,72	348,16	282,94	342,2	128,64	233,81	304,8	194,8	83,16	143,81	176,61		25,2
20	103,32	162,56	109,22	169,92	50,16	147,29	147,32	91,2	33,88	62,78	105,27		11,8
26	121,80	197,12	129,86	180,54	74,88	163,77	231,77	79,44	76,12	135,78	154,86		15,5
31	367,92	554,24	374,96	527,46	216,72	428,48	563,45	359,2	198,44	325,58	384,54	103,18	44

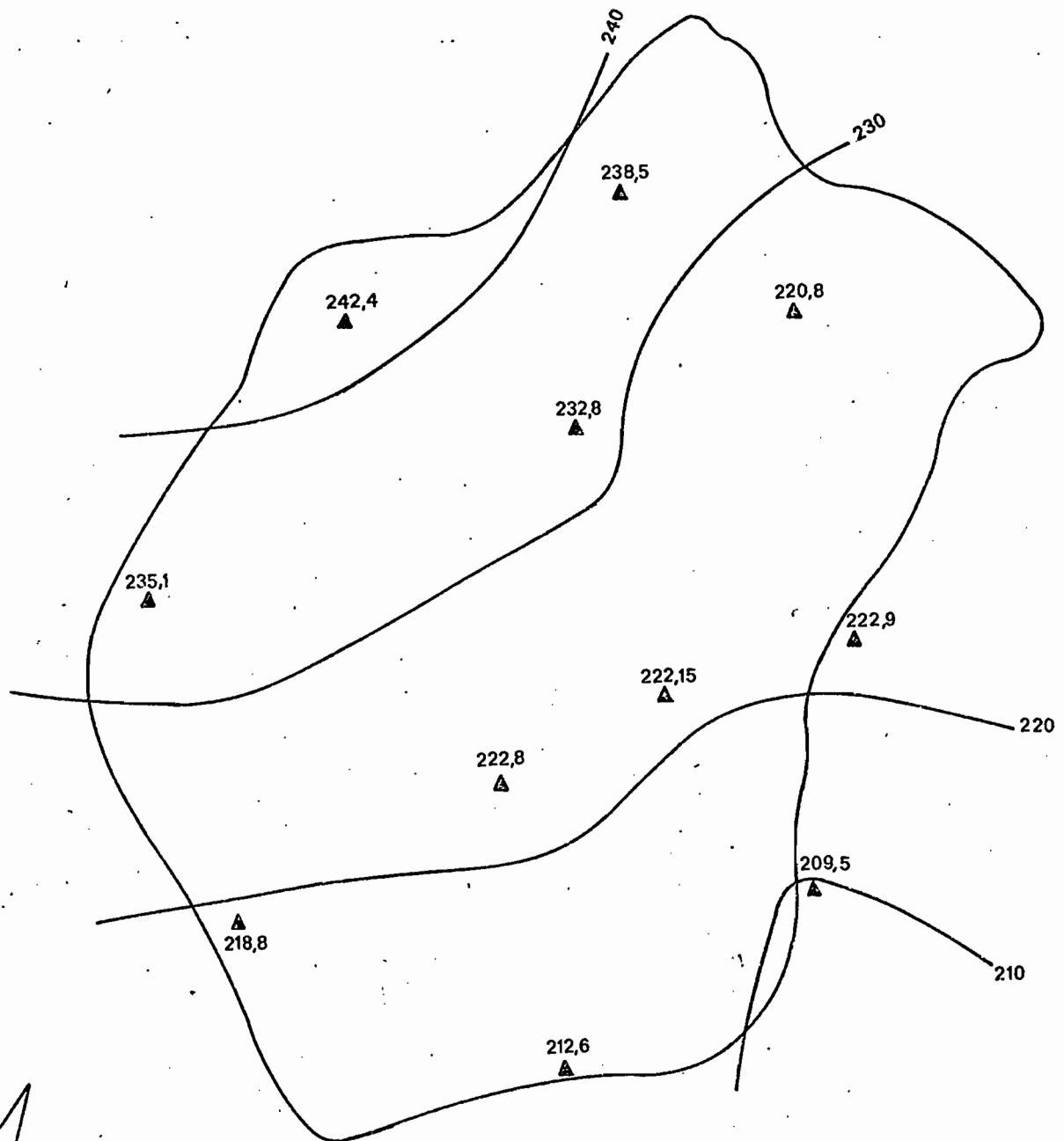
3.3.2. Méthodes des isohyètes

Elle permet de tracer sur la carte de bassin des lignes d'égale pluviométrie et de matérialiser les zones d'influence de ces pluviomètres (fig. 6).

On peut aussi déterminer la surface des zones délimitées par les isohyètes.

Fig.6 : BASSIN DE BOORO-BOROTOU

Isohyètes
(mois d'août 1984)



Ech. 1/10000

Le tableau ci-après nous donne ces superficies en fonction des isohyètes de la figure 6.

Hauteur de pluie	Surface	Pourcentage de la surface par rapport à la surface totale
mm	cm ²	S %
> 240	7.7	5.5
> 230	46.4	33.4
> 220	106.7	76.8
> 210	138.3	99.7
> 200	138.9	100.0

A partir des données, on établit un graphique sur lequel on porte le pourcentage en fonction des isohyètes. La courbe cumulée ainsi obtenue sera celle de répartition de la hauteur de la précipitation sur le bassin.

Il est nécessaire d'avoir des hauteurs de pluies différenciées pour pouvoir tracer les isohyètes et de recommencer, à chaque pluie, leur traçage à l'inverse des polygones de THIESSEN qui eux sont dessinés une seule fois.

Cela signifie que, dans ce dernier cas, l'aire d'influence des pluviomètres ne varie jamais. Ceci confine la méthode des polygones aux régions planes ou de plateaux où la pluviométrie est relativement homogène.

3.3.3. Abattement

L'abattement est représenté par un coefficient K qui est le rapport de la pluie moyenne sur une surface S donnée à la pluie ponctuelle P. Il est fonction de la récurrence de la précipitation, de la surface de bassin et de la pluviométrie annuelle.

$$K = 1 - (9 \log r - 22.10^{-3} P + 152 \pm 10) 10^{-3} \log S. \text{ (VUILLAUME, 1974)}$$

r = récurrence en années de l'évènement étudié ;

P = pluviométrie moyenne interannuelle du bassin (mm) ;

S = surface du bassin (en km²).

Pour le bassin de Korhogo K = 1 (abattement nul).

III. HYDROMÉTRIE

"Si un économiste se donne un jour la peine d'estimer le capital que constitue pour un pays une station limnimétrique bien placée et bien exploitée sur une rivière importante ou susceptible d'aménagements intéressants, capital qui prend chaque année une plus value sans commune mesure avec les frais d'exploitation, il sera pris de panique à l'idée qu'on a laissé perdre tant de valeurs potentielles en négligeant d'installer de telles stations le plus tôt possible.

Il sera étonné que l'action des hydrologues n'ait pas été plus souvent prise au sérieux...."

M. ROCHE (1963).

1. EQUIPEMENT

L'équipement pour la mesure hydrométrique est situé à l'exutoire du bassin. Il comprend :

1.1. Une section de mesure

Elle est constituée par deux murs en agglomérés encadrant un déversoir à seuil large de 3,46 m de largeur sur 8,22 m de longueur. Ce seuil est à une cote de 1,77 m plus basse que celle du repère à proximité du site. Un limnigraphe OTT X à révolution journalière permet de relever la hauteur de l'eau au niveau du seuil. Cette section est munie d'une passerelle qui permet la mesure des forts débits. Une échelle de crue y a été installée pour les observations en corrélation avec le limnigraphe.

1.2. Une section de contrôle

Cette section dispose d'un déversoir à paroi mince de 1,45 m de largeur. Une échancrure en V facilite la mesure des faibles débits. Un limnigraphe OTT X également à révolution journalière permet de mesurer la hauteur sur le seuil du déversoir. Un limnimètre pour le calage et la surveillance du limnigraphe y est également implanté.

A l'aval de ce système, est construite une passerelle pour mesurer éventuellement des débits à l'aval. (fig. 7 : a et b).

2. DETERMINATION DES DEBITS A PARTIR DE LA MESURE DE VITESSES

Par définition, le débit est le produit de la vitesse V d'un fluide par la surface S de la section qu'il traverse.

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = V \text{ (m/s)} \cdot S \text{ (m}^2\text{)}$$

D'où la nécessité de connaître la vitesse moyenne. La vitesse n'étant pas constante à l'intérieur d'une section donnée. Elle varie d'un point à un autre. Il y a lieu de mesurer des vitesses en plusieurs points au sein de l'écoulement.

Le nombre de points de mesure doit être le plus important possible.

Cette mesure de vitesse est réalisée à partir des déplacements horizontaux et verticaux d'un appareil, appelé moulinet, capable de détecter cette vitesse en différents points définis par les dits déplacements.

Le tableau II donne un cas de cette mesure effectuée pour la rivière du bassin de Waraniéncé.

Cette exploration du champ des vitesses est le jaugeage. Il se fait de plusieurs manières :

- Jaugeage en moulinet ;
- Jaugeage au flotteur ;
- Jaugeage chimique ;

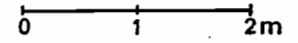
2.1. Différentes méthodes de mesure

Elles peuvent être classées en deux grandes catégories :

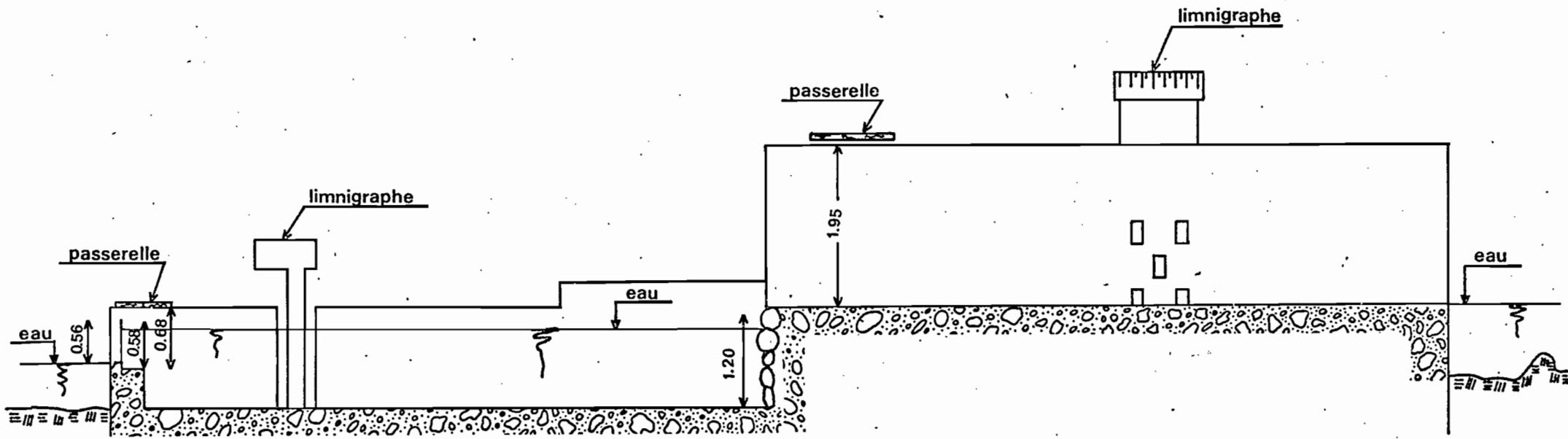
- + la répartition des points et les modalités de mesures
- + la répartition des verticales en fonction des variations rapides du plan d'eau.

Fig.7b : BASSIN DE BOORO - BOROTOU

Station limnigraphique



Coupe AA



2.1.1. Modalités de mesures sur chaque verticale

2.1.1.1. Mesures complètes

2.1.1.1.1. Méthode par points

L'appareil (le moulinet) est placé successivement en différents points sur la verticale repérés en ordonnées (profondeur).

Le résultat d'une telle méthode pratiquée sur le bassin de Waraniéné est présenté dans le tableau II.

La fig. 8 nous montre la topographie de la section mouillée, ainsi que les différentes verticales de mesure.

Le tableau des résultats de terrain nous aide à connaître la vitesse du courant en divers points d'une section de rivière dont on veut déterminer le débit (Tableau II).

La précision dans les mesures est de rigueur.

2.1.1.1.2. Méthode par intégration.

Elle consiste à faire un déplacement du moulinet à vitesse très lente et constante (1/100 de celle du courant) le long de la verticale, ce qui donne directement la vitesse moyenne sur cette verticale.

$$V = \frac{1}{P} \int_0^P v \, dp$$

V = vitesse

P = profondeur

v = vitesse du courant

2.1.1.1.3. Calcul des vitesses.

Il se fait à l'aide d'une formule d'étalonnage de l'hélice montée sur le moulinet.

$$V = an + b$$

où V = vitesse du courant (m/s)

a = constante ou pas réel de l'hélice

n = vitesse de rotation de l'hélice (tours/s)

b = constante due aux frottements

a et b étant des constantes de l'hélice, elles sont données par les constructeurs de ces appareils. A chaque hélice correspond un numéro.

Exemples de formules de calcul de vitesse

Micro-moulinet-Hélice

n° 3 - 25750

$$n < 1,25 \quad V = 0,2309 \quad (N/T) + 0,038$$

$$n > 1,25 \quad V = 0,258 \quad (N/T) + 0,004$$

où N = nombre de tours de l'hélice mesuré pendant le temps considéré

n° 4 - 24019

$$n < 0,3 \quad V = 0,378 \quad (N/T) + 0,068$$

$$0,3 < n < 1,17 \quad V = 0,484 \quad (N/T) + 0,036$$

$$n > 1,17 \quad V = 0,514 \quad (N/T) + 0,001$$

T = Temps considéré fixe de 30, 50 ou 100 secondes

n = N/T.

n° 1 - 23344

$$n < 5,6 \quad V = 0,0565 \quad (N/T) + 0,034$$

$$n > 5,6 \quad V = 0,054 \quad (N/T) + 0,048$$

Moulinet-Hélice

n° 1 - 41898 $n < 0,63 \quad V = 0,2483 \quad (N/T) + 0,014$

$n > 0,63 \quad V = 0,261 \quad (N/T) + 0,006$

n° 4-8 10919 $n < 0,88 \quad V = 0,127 \quad (N/T) + 0,032$

$n > 0,88 \quad V = 0,135 \quad (N/T) + 0,025$

n° 1-7 0406 (plastique) $n < 0,58 \quad V = 0,2238 \quad (N/T) + 0,018$

$n > 0,58 \quad V = 0,2464 \quad (N/T) + 0,005$

Fig.8 : PROFIL EN TRAVERS DE LA RIVIERE LOSERIGUE (WARANIENIE) ECH.1:5

JAUGEAGE DU 19.7.83 SECTION MOUILLEE

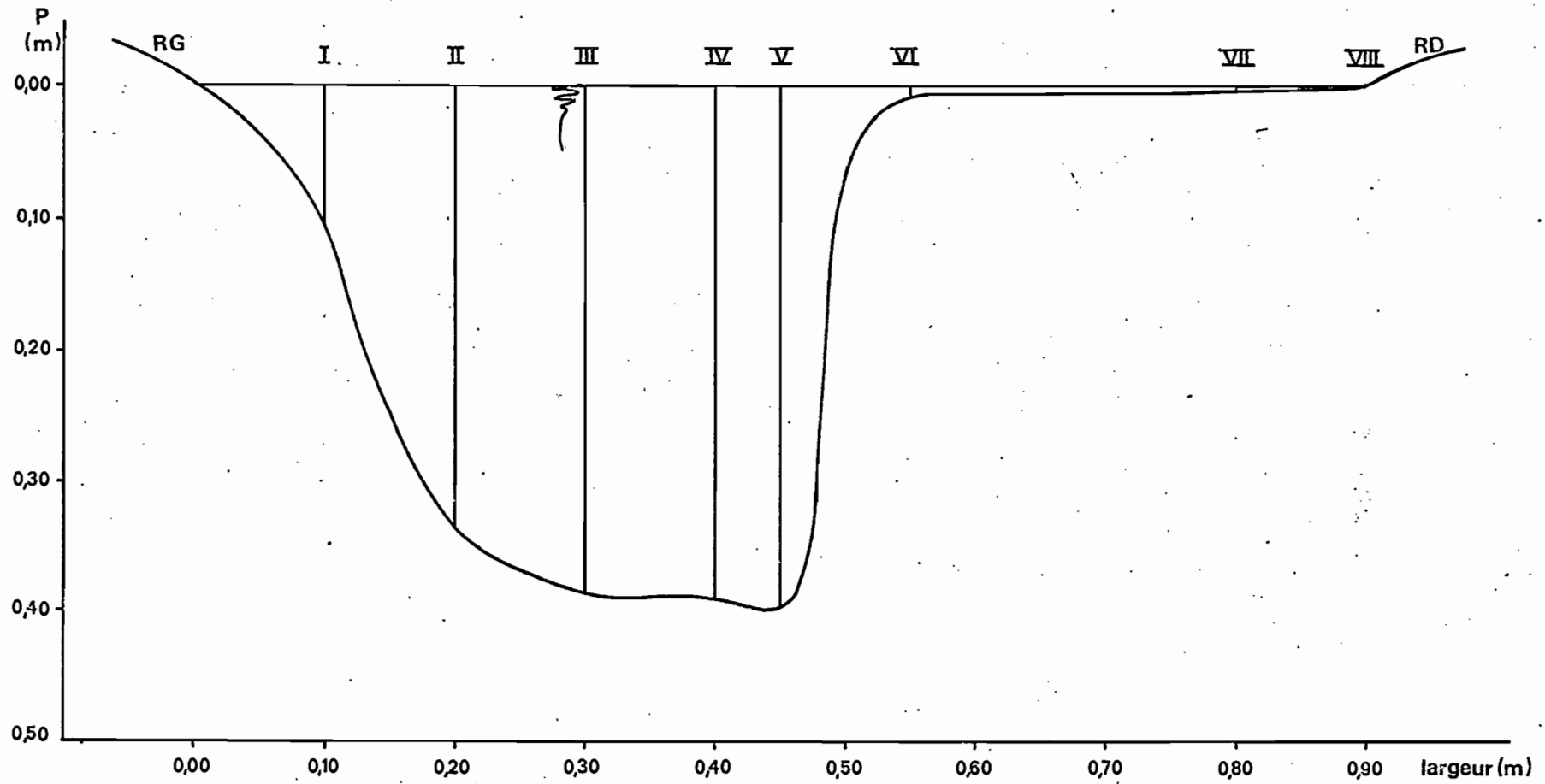


Tableau II - Jaugeage du 19.07.1983 - Bassin de Waraniéné

Rivière : Loserigue		Station : Waraniéné		Hélice : 1.23344		Jaug.N°10
Date : 19.07.1983		Moulinet C ₂ + Perche		Heure : D. 8 h 58		Hauteur : 0,11 m
Observation : Chronométrage T = 30 s				F. 9 h 38		0,11 m
Distances m	Profondeur	∞	N	T	Observations	
R.G. 0.80 R.D. 1.70					Rive Gauche Rive Droite 0,90 m largeur du lit	
0.90 (0.10)	0.10 0.05		0	30		
1.00 (0.20)	0.34 0.05 0.15 0.22 0.30		0 18 30 6	30 30 30 30		
1.10 (0.30)	0.39 0.05 0.10 0.20 0.30 0.35		3 9 18 72 67	30 30 30 30 30		
1.20 (0.40)	0.39 0.05 0.10 0.20 0.30 0.35		2 6 0 86 151	30 30 30 30 30	∞ = angle d'inclinaison du câble utilisé lors des jaugeages faits avec saumon. Ici ∞ = 0 car le jaugeage a été fait à la perche et aucune correction n'est à faire.	
1.25 (0.45)	0.40 0.10 0.20 0.30 0.35		2 4 17 53	30 30 30 30		
1.35 (0.55)	0.055 0.03		0	30		
1.60 (0.80)	0.02				Pas d'écoulement	

2.1.1.2. Mesures incomplètes.

Elles consistent à faire des mesures en un ou deux points sur chaque verticale ou des mesures de surface lors des crues importantes.

2.1.2. Mesures en fonction de la rapidité de la variation du plan d'eau.

Lors des crues extrêmement pointues (montée de plusieurs dizaines de cm par minute), il y aura peu de temps pour faire un jaugeage complet. Il faut essayer d'obtenir une mesure de débit correspondant à la variation la plus faible possible de la cote à l'échelle, établir une courbe d'étalonnage pour chaque verticale et en déduire celle de la section pour différentes hauteurs à l'échelle.

2.2. Dépouillement du jaugeage

2.2.1. Calcul des vitesses

Le calcul des vitesses à partir des relevés pour la rivière de Waraniéné donne pour l'hélice utilisée (n° 1 - 23344) pour

$$(1) \quad N/T < 5,6 \quad V = 0,0565 (N/T) + 0,034 \quad \text{avec } (N/T) = n$$

$$(2) \quad N/T > 5,6 \quad V = 0,054 (N/T) + 0,048$$

n dans ce cas est déterminé comme suit :

Soit le premier point à une distance D = 0,10 m de la rive gauche et à une profondeur P = 0,05 m.

Le nombre de tours à cet point étant nul (voir le tableau II) n sera nul et la vitesse aura une valeur ramenée à la constante b de la formule (1) égale à 0,034.

Pour le point D = 0,20
 P = 0,05 n = 0 d'ou V = 0,034 m/s
 P = 0,15 n = $\frac{18}{30} = 0,6$ t/s
 V = 0,0565 x 0,6 + 0,034 = 0,068 m/s
 P = 0,22 n = 1 V = 0,091
 P = 0,30 n = 0,2 V = 0,045

Pour D = 0,30 m P totale = 0,39
 P = 0,05 n = 0,1 V = 0,040
 P = 0,10 n = 0,3 V = 0,051
 P = 0,20 n = 0,6 V = 0,068
 P = 0,30 n = 8,4 V = 0,170
 P = 0,35 n = 2,23 V = 0,160

Pour D = 0,40 m P totale = 0,39
 P = 0,05 n = 0,07 V = 0,038
 P = 0,10 n = 0,2 V = 0,045
 P = 0,20 n = 0 V = 0,034
 P = 0,30 n = 2,87 V = 0,196
 P = 0,35 n = 5,03 V = 0,318

Pour D = 0,45 m P totale = 0,40
 P = 0,10 n = 0,07 V = 0,038
 P = 0,20 n = 0,13 V = 0,042
 P = 0,30 n = 0,57 V = 0,066
 P = 0,35 n = 1,77 V = 0,134

Pour D = 0,55 m P totale = 0,055
 P = 0,03 n = 0 V = 0,034

Pour D = 0,80 m Pas d'écoulement.

Tableau III - Récapitulatif des données du jaugeage du 19.07.1983. Bassin de Waraniéné.

POINTS	PROFONDEUR		DISTANCE		VITESSE
	N°	Totale	Partielle	Partielle	
		m	m	m	m
		m	m	m	m/s
R.G		0.00			0.000
I		0.10	0.05	0.10	0.034
II		0.32	0.05 0.15 0.22 0.30	0.20	0.034 0.068 0.091 0.045
III		0.39	0.05 0.10 0.20 0.30 0.35	0.30	0.040 0.051 0.068 0.170 0.160
IV		0.39	0.05 0.10 0.20 0.30 0.35	0.40	0.038 0.045 0.034 0.196 0.318
V		0.40	0.10 0.20 0.30 0.35	0.45	0.038 0.042 0.066 0.134
VI		0.055	0.03	0.55	0.034
VII		0.02		0.80	Pas d'écoulement
R.D		0.00		0.90	0.00

2.2.2. Paraboles des vitesses et calcul du débit

En mettant en abscisses les vitesses et en ordonnées les profondeurs, on obtient une succession de points que l'on lie par une courbe. On choisit une échelle de réduction pour le graphique, appelé parabole des vitesses, de telle façon que la figure dessinée ait une surface d'au moins 25 cm². Ici, le dessin original a été réduit.

La figure 9 représente les paraboles des vitesses pour le jaugeage effectué le 19.07.83 sur le bassin de Waraniéné.

Le planimétrage des paraboles obtenus nous donne les valeurs suivantes :

I	1189	- 1095	= 9,4	9,2 cm ²
	1277	1189	8,8	
	1370	1277	9,8	
II	1746	1560	18,6	18,6 cm ²
	1932	1746	18,6	
	2118	1932	18,6	
III	2494	2123	37,1	36,9 cm ²
	2862	2494	36,8	
	3230	2862	36,8	
IV	2314	1877	43,7	43,7 cm ²
	2750	2314	43,6	
	3187	2750	43,7	
V	2601	2365	23,6	23,7 cm ²
	2838	2601	23,7	
	3076	2838	23,8	
VI	3610	3599	11	11 cm ²
	3721	3610	11	
	3939	3928	11	

Il faut procéder au préalable au contrôle du planimètre qui consiste à mesurer la surface d'un carré de 5 x 5 ; 10 x 10 ou 25 x 25 cm deux fois et faire le rapport entre les deux valeurs obtenues. Le coefficient ainsi obtenu est un coefficient de correction des valeurs du planimétrage.

Le coefficient correctif obtenu pour notre mesure est de 1,1 %. Ce qui nous donne pour le calcul du débit unitaire sur la verticale.

$$Q = S \times (\text{valeur du cm}^2 \text{ sur le dessin du diagramme})$$

$$Q_I = 9,2 \times 0,0002 = 0,00184 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Q_{II} = 18,6 \times 0,001 = 0,0186 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Q_{III} = 36,9 \times 0,001 = 0,0369 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Q_{IV} = 43,7 \times 0,001 = 0,0437 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Q_V = 23,7 \times 0,001 = 0,0237 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Q_{VI} = 11 \times 0,0001 = 0,001 \text{ m}^2/\text{s}$$

Ensuite, on procède au calcul du débit. On représente sur une feuille de papier millimétré le profil en travers du cours d'eau à la section de jaugeage. Les verticales sont positionnées et numérotées. Ensuite on trace la courbe du débit suivant les verticales à une échelle choisie. La figure 10 montre la représentation des courbes de la vitesse superficielle et du débit.

On procède aussi au planimétrage du diagramme de la section mouillée.

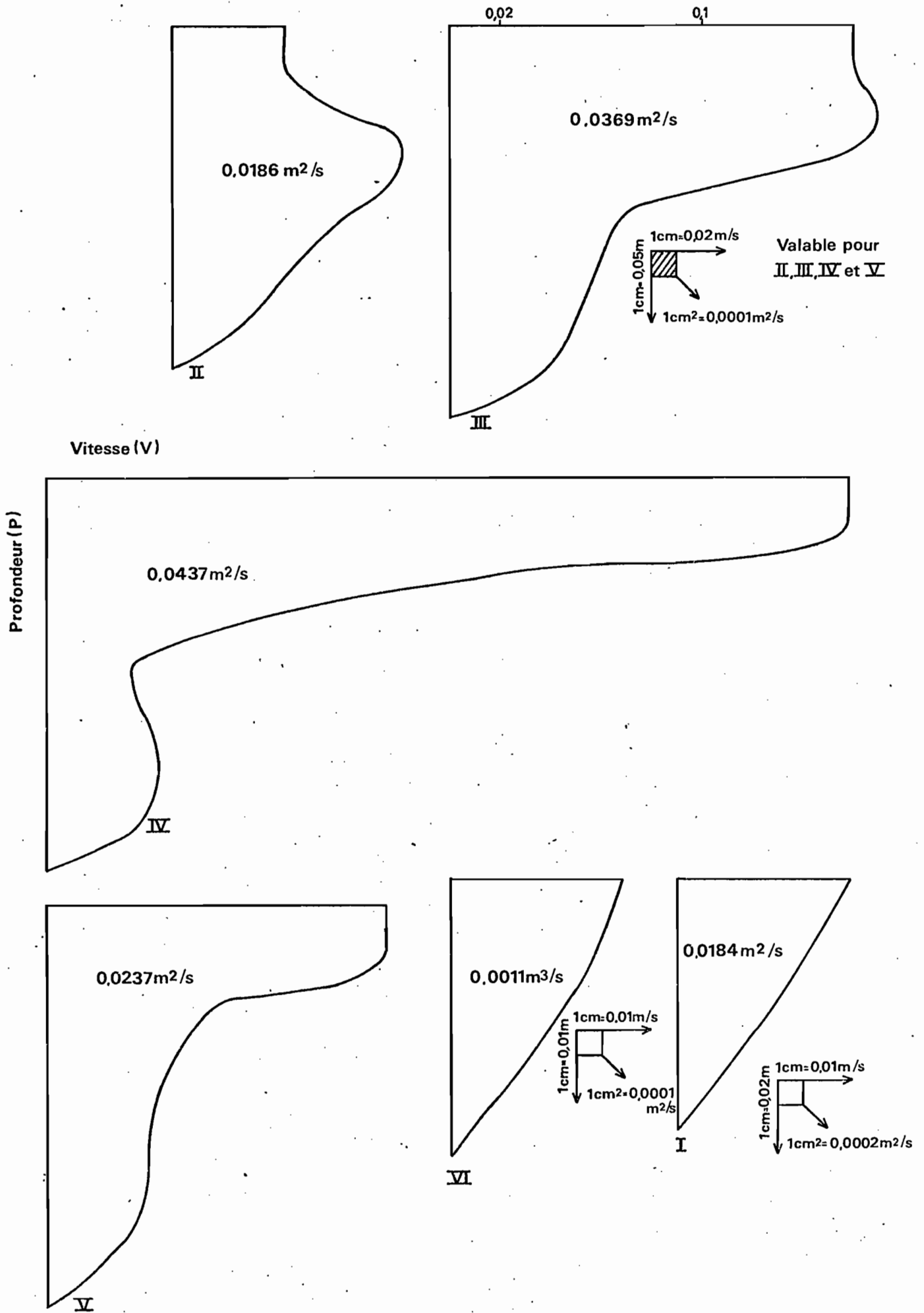
Ensuite, en tête de feuille, on porte les renseignements obtenus.

Fig. 9 : PARABOLES DES VITESSES

Ech. V. 1:5

H.1:2

JAUGEAGE DU 19. 7. 83

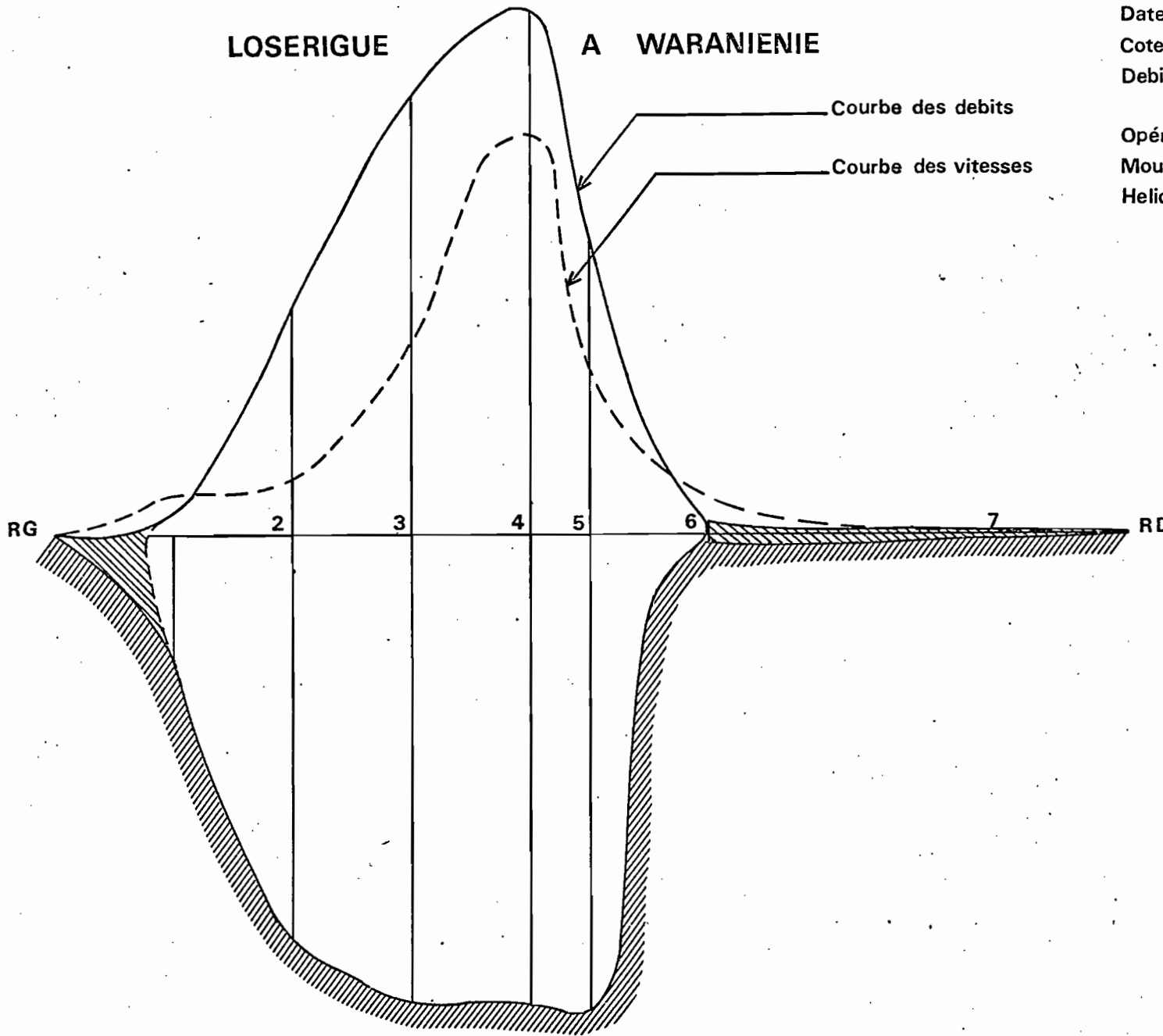


Ech. 1:5

Fig.10 DEPOUILLEMENT DU JAUGEAGE DU 19.7.83

LOSERIGUE

A WARANIENIE



Date le 19.7.83

Cotes debut. 0,11m

Debit 0,0105m³/s

Opérateur :GIODA A

Moulinet C.2

Helice 1.23344

Section mouillée 0,14m²

Fin 0,11m Largeur 0,90m

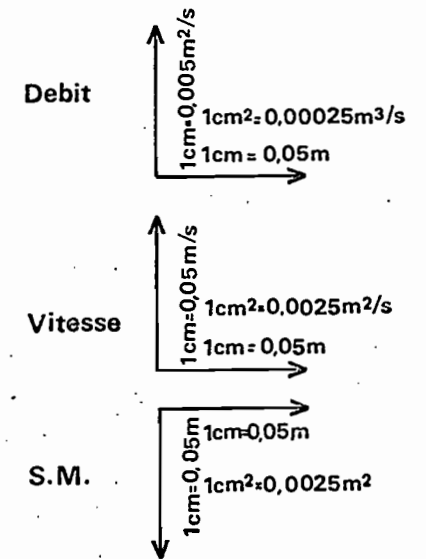
Profondeur moyenne:0,155m

Vitesse max. 0,318m/s

Vitesse moy. $U_s = 0,075$ m/s

Vitesse moy. superficielle
0,078 m/s

Rapport $\frac{U}{V_{ms}} = 0,96$

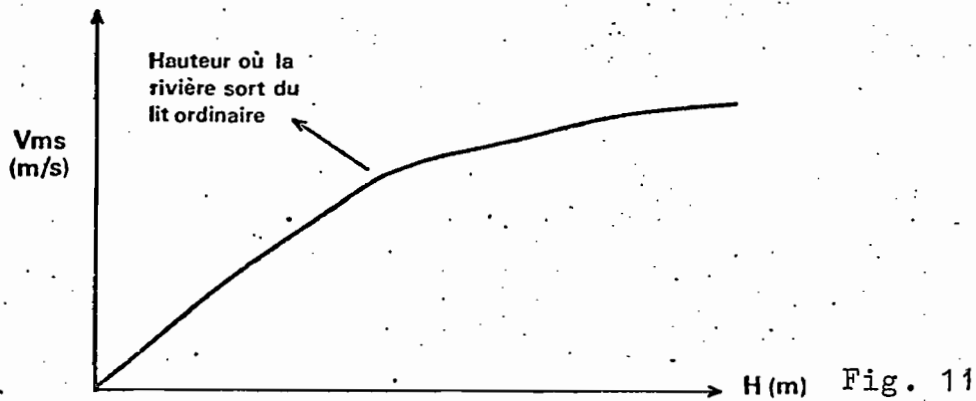


Le rapport K est défini comme le quotient entre la vitesse moyenne U et la vitesse moyenne superficielle V_{ms} .

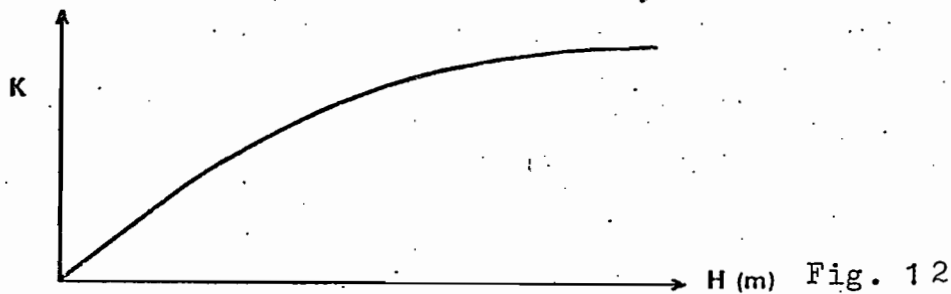
$$K = \frac{U}{V_{ms}}$$

On peut alors, après plusieurs séries de jaugeages, procéder à la représentation de :

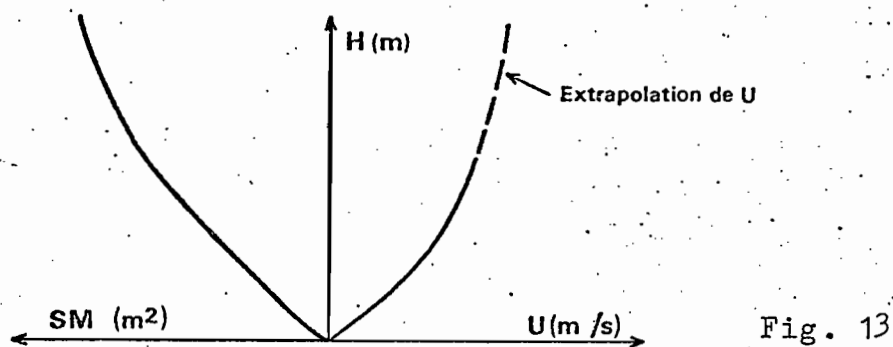
- La courbe de la vitesse moyenne superficielle en fonction de la hauteur



- La courbe de K en fonction de la hauteur



- Les courbes de SM (section mouillée) et de U en fonction de H



3. EXPLOITATION DES JAUGEAGES

Tracé de la courbe de tarage (Waraniéné)

Après une série de nombreux jaugeages qui ont déterminé plusieurs débits en fonction de diverses hauteurs, il est possible d'établir la courbe de tarage servant à la traduction des relevés limnigraphiques en débits.

Cette courbe est une représentation de Q par rapport à H (hauteur). Les points obtenus n'étant pas alignés, on pourra procéder en lissage pour obtenir une courbe régulière. Cette nouvelle courbe obtenue pourra servir à établir un barème d'étalonnage du bassin étudié pendant la période considérée.

La figure 14 représente la courbe de tarage du Loségrigue et le tableau IV est le barème déduit.

Il peut y avoir plusieurs courbes de tarage par année (fig. 14). Les causes de détarage d'une section sont multiples.

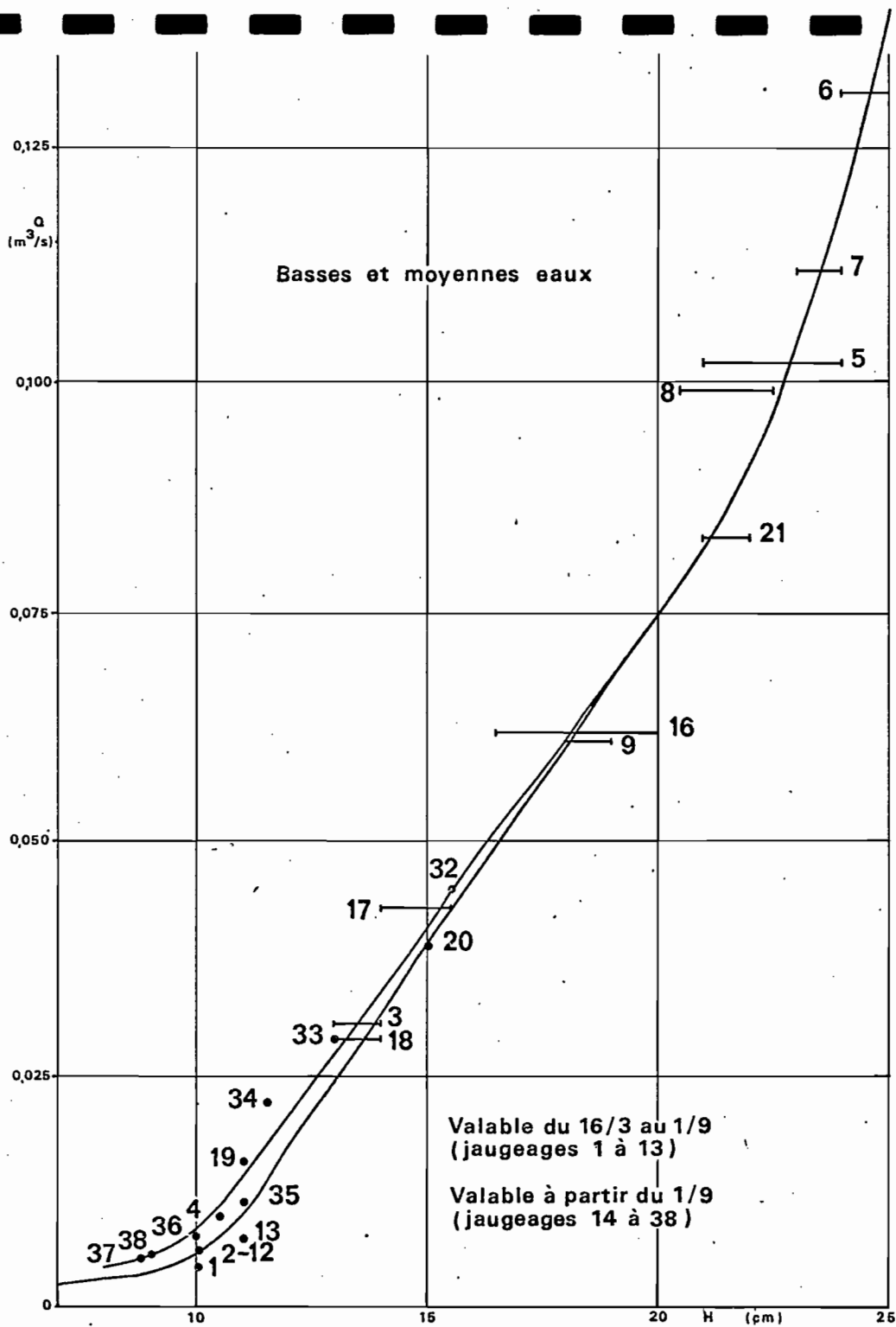


Fig.14.

COURBES DE TARAGE

ANNEE 1983

Moyennes et hautes eaux

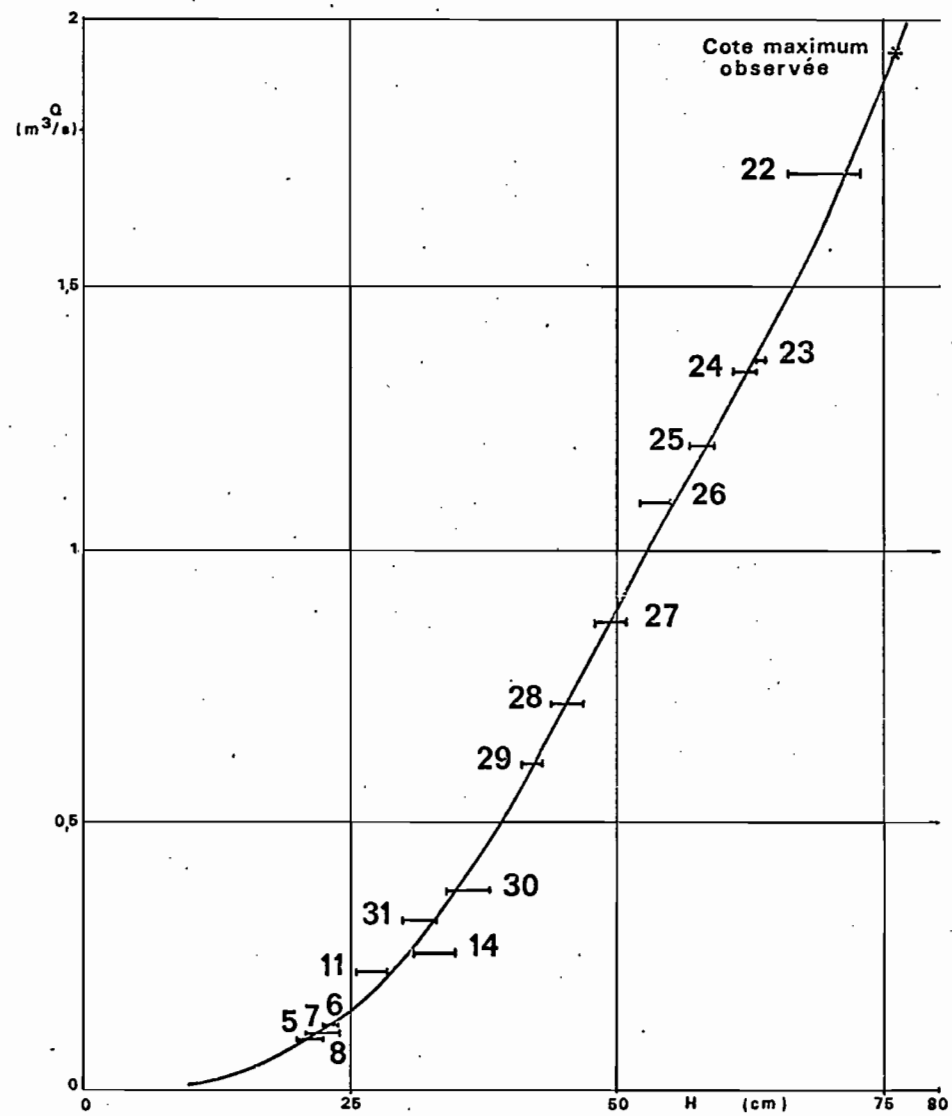


Tableau IV - Courbe de tarage/barème centimétrique - Losérigue à Waraniéné.

1. Courbe de tarage (16.3 à 0 H au 1.9.83 à 9 H 59)

H (m)	Q (l/s)
0,07	0,75
0,08	2
0,09	4
0,10	6
0,11	10,5
0,12	17,5
0,13	25
0,14	32
0,15	38
0,16	46
0,17	54
0,18	61
0,19	68
0,20	75
0,21	82
0,22	91
0,23	104
0,24	120
0,25	140
0,26	160
0,27	180
0,28	200
0,29	220
0,30	242
0,31	263
0,32	283
0,33	313
0,34	341
0,35	373
0,36	405
0,37	437
0,38	469
0,39	501
0,40	533
0,41	565
0,42	594
0,43	634
0,44	670
0,45	706
0,46	743
0,47	779
0,48	815
0,49	851
0,50	888
0,51	924
0,52	960
0,53	996
0,54	1030
0,55	1070
0,56	1110
0,57	1140
0,58	1180
0,59	1210
0,60	1250
0,61	1290
0,62	1320
0,63	1360
0,64	1400
0,65	1430
0,66	1470
0,67	1500
0,68	1540
0,69	1590
0,70	1640
0,71	1690
0,72	1740
0,73	1790
0,74	1840
0,75	1890
0,76	1940

2. Courbe de tarage (valable du 1.9.83 à 10 H00 au 11.05.84 à 0 H06)

H (m)	Q (l/s)
0	
0,01	0,05
0,02	0,15
0,03	0,25
0,04	0,5
0,06	1,25
0,07	2
0,08	3
0,09	5
0,10	8
0,11	14
0,12	21
0,13	27
0,14	34
0,15	41
0,16	48
0,17	55
0,18	62
0,19	68
0,20	75
....

Loserigue à Waraničné
Barème centimétrique des débits

(valable du 11.05.84 à 0 H 07 jusqu'au 30.10.84 à 24 H 00)

H (m)	Q (l/s)	H (m)	Q (l/s)
0		0,81	2160
0,01		0,82	2210
0,02		0,83	2250
0,03		0,84	2300
0,04		0,85	2340
0,05		0,86	2390
0,06		0,87	2440
0,07		0,88	2480
0,08	2	0,89	2520
0,09	3	0,90	2570
0,10	4	0,91	2610
0,11	6	0,92	2660
0,12	8	0,93	2710
0,13	11	0,94	2760
0,14	17	0,95	2810
0,15	28,5	0,96	2860
0,16	40	0,97	2910
0,17	51,5	0,98	2960
0,18	65	0,99	3010
0,19	82	1,00	3060
0,20	99	1,01	3110
0,21	116	1,02	3160
0,22	133	1,03	3210
0,23	149	1,04	3260
0,24	166	1,05	3310
0,25	183	1,06	3360
0,26	200	1,07	3410
0,27	219	1,08	3460
0,28	240	1,09	3510
0,29	260	1,10	3560
0,30	280	1,11	3610
0,31	306	1,12	3660
0,32	331	1,13	3710
0,33	356	1,14	3760
0,34	382	1,15	3810
0,35	408	1,16	3860
0,36	434	1,17	3900
0,37	459	1,18	3950
0,38	485	1,19	4000
0,39	511	1,20	4050
0,40	537	1,21	4100
0,41	570	1,22	4160
0,42	610		
0,43	650		
0,44	695		
0,45	730		
0,46	765		
0,47	803		
0,48	840		
0,49	878		
0,50	915		
0,51	953		
0,52	990		
0,53	1030		
0,54	1070		
0,55	1100		
0,56	1140		
0,57	1180		
0,58	1220		
0,59	1250		
0,60	1290		
0,61	1330		
0,62	1370		
0,63	1400		
0,64	1440		
0,65	1480		
0,66	1520		
0,67	1550		
0,68	1590		
0,69	1640		
0,70	1680		
0,71	1710		
0,72	1760		
0,73	1800		
0,74	1840		
0,75	1890		
0,76	1930		
0,77	1980		
0,78	2020		
0,79	2070		
0,80	2120		

4. RESULTATS D'OBSERVATIONS HYDROLOGIQUES

Relevés limnimétriques

Ils doivent être traités consciencieusement par l'hydrologue.

4.1. Exploitation normale d'une échelle

Elle ne doit pas en principe poser de problème. Il faut trouver un observateur sachant lire et écrire, et surtout fiable.

4.2. Relevés limnigraphiques

Lorsque la station est équipée d'un limnigraphe, l'observateur change régulièrement les feuilles. Nécessairement, le zéro de l'appareil correspond à celui de l'échelle de contrôle.

A chaque pose de feuille, l'observateur porte sur le diagramme l'heure et la date de mise en place et la cote de l'échelle. Il en est de même quand il enlève la feuille de l'appareil.

IV. ANALYSE DU RUISSELLEMENT

Elle concerne l'ensemble des crues individualisées sur les relevés limnigraphiques.

Rappelons que l'écoulement est la somme des écoulements de base et du ruissellement immédiat et retardé, ces derniers étant liés aux crues.

1. Etude des averses individualisées

L'analyse de l'information pluviographique, permet d'individualiser les averses constituant le total journalier (24 h) de précipitations.

1.1. Etude de l'intensité de pluie

Elle est effectuée sur les enregistrements des pluviographes PG₂ et PG₆ (équipement du bassin de Waraniéné).

1.1.1. Calcul du coefficient de correction

C'est le rapport qui lie la pluie mesurée au seau qui sert de référence à la pluie enregistrée par le pluviographe.

$$\text{Exemple choisi : } Ca = \frac{43.8}{45.5} = 0,962$$

1.1.2. Segmentation du temps

On procède à la lecture de la pluie sur l'enregistrement du pluviographe pour chaque tranche de temps considérés (5 mn) et l'on calcule l'intensité suivant la formule.

$$I = \frac{P}{t} \times 60 \text{ mn}$$

I = intensité de pluie (mm/h) ;

P = pluie enregistrée pour la tranche de temps (mm) ;

t = tranche de temps (mn) .

On calcule aussi l'intensité corrigée Ic en multipliant la valeur de I par le coefficient Ca.

$$Ic = I \cdot Ca$$

et la pluie corrigée $Pc = \frac{Ic \cdot t}{60 \text{ mn}}$

Tableau V - Valeurs de l'intensité et de la pluie corrigée pour la station PG₆ (Waraniéné)

Exemple		PG ₆					PG ₆								
Heures	Tranche de temps t	Pluie P	Pluie cumulée	Intensité I	Intensité corrigée	Pluie corrigée	Heures	Tranche de temps t	Pluie P	Pluie cumulée	Intensité I	Intensité corrigée	Pluie corrigée		
h. mn	mn	mm	mm	mm/h	mm/h	mm	h. mn	mn	mm	mm	mm/h	mm/h	mm		
20.	33	2	0.4	0.4	12	11,5	0.4	21.	35	5	0.6	34.1	7,2	6,9	0.6
-	35	5	2.1	2.5	25,2	24,2	2	.	40	5	0.9	35.0	10,8	10,4	0.9
-	40	5	0.5	3.0	6	5,8	0.5	.	45	5	1.0	36.0	12	11,5	1.0
-	45	5	0.0	3.0	0	0	0	.	50	5	1.0	37.0	12	11,5	1
-	50	5	0.0	3.0	0	0	0	.	55	5	0.8	37.8	9,8	9,4	0.8
-	55	5	1.5	4.5	18	17,3	1.4	22.	00	5	0.0	37.8	0	0	0
21.	00	5	6.5	11.0	78	75	6.3	.	05	5	0.0	37.8	0	0	0
-	05	5	6.5	17.5	78	75	6.3	.	10	5	0.0	37.8	0	0	0
.	10	5	3.5	21.0	42	40,4	3.4	.	15	5	0.4	38.2	4,8	4,6	0.4
.	15	5	3.5	24.5	42	40,4	3.4	.	20	5	0.0	38.2	0	0	0
-	20	5	5.0	29.5	60	57,7	4.8	.	25	5	0.0	38.2	0	0	0
.	25	5	2.0	31.5	24	23,1	1.9	.	30	5	0.0	38.2	0	0	0
-	30	5	2.0	33.5	24	23,1	1.9	.	35	5	0.0	38.2	0	0	0
.	35							.	40						

Tableau V - (suite)

Heures	Tranche de temps t	Pluie P	PG6			Pluie corrigée
			Pluie cumulée	Intensité I	Intensité corrigée	
22. 40						
. 45	5	0.7	38.9	8,4	8,1	0.7
. 50	5	0.0	38.9	0	0	0
. 55	5	0.0	38.9	0	0	0
23. 00	5	0.4	39.3	4,8	4,6	0.4
. 05	5	0.0	39.3	0	0	0
. 10	5	0.6	39.9	7,2	6,9	0.6
. 15	5	0.0	39.9	0	0	0
. 20	5	0.0	39.9	0	0	0
. 25	5	0.5	40.4	6	5,8	0.5
. 30	5	0.0	40.4	0	0	0
. 35	5	0.5	40.9	6	5,8	0.5
. 40	5	0.5	41.4	6	5,8	0.5
. 45	5	0.0	41.4	0	0	0
. 50	5	0.5	41.9	6	5,8	0.5
. 55	5	0.3	42.2	3,6	3,5	0.3
00. 00	5	0.5	42.7	6	5,8	0.5
. 05	5	0.0	42.7	0	0	0
. 10	5	0.5	43.2	6	5,8	0.5
. 15	5	0.0	43.2	0	0	0
. 20	5	0.4	43.6	4,8	4,6	0.4
. 25	5	0.0	43.6	0	0	0

Heures	Tranche de temps t	Pluie P	PG6			Pluie corrigée
			Pluie cumulée	Intensité I	Intensité corrigée	
00. 25						
. 30	5	0.0	43.6	0	0	0
. 35	5	0.0	43.6	0	0	0
. 40	5	0.4	44.0	4,8	4,6	0.4
00. 45	5	0.0	44.0	0	0	0
. 50	5	0.4	44.4	4,8	4,6	0.4
. 55	5	0.0	44.4	0	0	0
1. 00	5	0.4	44.8	4,8	4,6	0.4
. 05	5	0.0	44.8	0	0	0
. 10	5	0.0	44.8	0	0	0
. 15	5	0.5	45.3	6	5,8	0.5
. 20	5	0.0	45.3	0	0	0
. 25	5	0.0	45.3	0	0	0
. 28	3	0.2	45.5	4,0	3,8	0.2

Tableau VI- Valeurs d'intensité et de la pluie pour la station PG₂ du 02.10.1984 au 03.10.84

Ca = 0,968

Heures	Tranche temps t	PG ₂				
		Pluie P	Pluie cumulée	Intensité I	Intensité corrigée	Pluie corrigée
h. mm	mn	mm	mm	mm/h	mm/h	mm
20. 10						
. 15	5	4.0	4.0	48	46,5	3.9
. 20	5	3.5	7.5	42	40,7	3.4
. 25	5	2.9	10.4	34,8	33,7	2.8
. 30	5	1.1	11.5	13,2	12,8	1.1
. 35	5	0.3	11.8	3,6	3,5	0.3
. 40	5	0.0	11.8	0,0	0,0	0.0
. 45	5	0.0	11.8	0,0	0,0	0.0
. 50	5	0.4	12.2	4,8	4,6	0.4
. 55	5	0.0	12.2	0,0	0,0	0.0
21. 00	5	0.0	12.2	0,0	0,0	0.0
. 05	5	0.0	12.2	0,0	0,0	0.0
. 10	5	0.0	12.2	0,0	0,0	0.0
. 15	5	0.0	12.2	0,0	0,0	0.0
. 20	5	0.0	12.2	0,0	0,0	0.0
. 25	5	0.0	12.2	-	-	-
. 30	5	0.0	12.2	-	-	-
. 35	5	0.0	12.2	-	-	-
. 40	5	0.0	12.2	-	-	-
. 45	5	0.0	12.2	-	-	-
. 50	5	0.0	12.2	-	-	-
. 55	5	0.0	12.2	-	-	-
22. 00	5	0.0	12.2	-	-	-
. 05	5	-	-	-	-	-
. 10	5	-	-	-	-	-
. 15	5	-	-	-	-	-
. 20	5	-	-	-	-	-
. 25	5	-	-	-	-	-
. 30	5	-	-	-	-	-
. 35	5	-	-	-	-	-
. 40	5	-	-	-	-	-
. 45	5	-	-	-	-	-
. 50	5	0.0	12.2	-	-	-
. 55	5	-	-	-	-	-
23. 00	5	-	-	-	-	-
. 05	5	-	-	-	-	-
. 10	5	-	-	-	-	-
. 15	5	-	-	-	-	-
. 20	5	-	-	-	-	-

Heures	Tranche temps t	PG ₂				
		Pluie P	Pluie cumulée	Intensité I	Intensité corrigée	Pluie corrigée
h. mm	mn	mm	mm	mm/h	mm/h	mm
23. 20						
. 25	5	-	-	-	-	-
. 30	5	-	-	-	-	-
. 35	5	-	-	-	-	-
. 40	5	0.0	12.2	-	-	-
. 45	5	0.0	12.2	-	-	-
. 50	5					
. 55	5					
24. 00	5					
. 05	5					
. 10	5					
. 15	5					
. 20	5					
. 25	5					
. 30	5	0.0	12.2			
. 35	5					
. 40	5					
. 45	5					
. 50	5					
. 55	5					
01. 00	5					
. 05	5					
. 10	5					
. 15	5					
. 20	5	0.0	12.2			
. 25	5	0.0	12.2			
. 30	5					
. 35	5					
. 40	5					
. 45	5					
. 50	5					
. 55	5					
02. 00	5					
. 05	5					
. 10	5					
. 15	5	0.0	12.2			
. 20	5					
. 25	5					
. 30	5					

Heures	Tranche temps t	PG ₂				
		Pluie P	Pluie cumulée	Intensité I	Intensité corrigée	Pluie corrigée
		mm	mm	mm/h	mm/h	mm
02. 30						
. 35	5					
. 40	5					
. 45	5					
. 50	5					
. 55	5					
03. 00	5					
. 05	5	0.0	12.2			
. 10	5	0.0	12.2	-	-	-
. 15	5	0.0	12.2	-	-	-
. 20	5	0.0	12.2	-	-	-
. 25	5	0.0	12.2	-	-	-
. 30	5	0.0	12.2	-	-	-
. 35	5	0.0	12.2	-	-	-
. 40	5	0.5	12.7	6	5,8	0.5
. 50	5	1.8	14.5	21,6	20,9	1.7
. 55	5	3.4	20.7	40,8	39,5	3.3
04. 00	5	3.4	24.1	40,8	39,5	3.3
. 05	5	1.8	25.9	21,6	20,9	1.7
. 10	5	2.2	28.1	26,4	25,6	2.1
. 15	5	1.2	29.3	14,4	13,9	1.2
. 20	5	0.5	29.8	6	5,8	0.5
. 25	5	1.0	30.8	12	11,6	1.0
. 30	5	0.6	31.4	7,2	7	0.6
. 35	5	0.4	31.8	4,8	4,6	0.4
. 40	5	1.0	32.8	12	11,6	1.0
. 45	5	0.5	33.3	6	5,8	0.5
. 50	5	0.5	33.8	6	5,8	0.5
. 55	5	0.0	33.8	0	-	-
05. 00	5	0.5	34.3	6	5,8	0.5
. 05	5	0.5	34.3	0	-	-
. 10	5	0.0	34.3	0	-	-
. 15	5	0.6	34.9	7,2	7	0.6
. 20	5	0.6	35.5	7,2	7	0.6
. 25		0.0	35.5	-	-	-
. 30		0.5	36.0	6	5,8	0.5
. 35		0.7	36.7	8,4	8,1	0.7
. 40		0.4	37.1	4,8	4,6	0.4
. 45		0.6	37.7	7,2	7	0.6
. 50		0.4	38.1	4,8	4,6	0.4
. 55		0.6	38.7	7,2	7	0.6
		0.0	38.7	-	-	-

Heures	Tranche temps t	PG ₂				
		Pluie P	Pluie cumulée	Intensité I	Intensité corrigée	Pluie corrigée
		mm	mm	mm/h	mm/h	mm
06. 00						
. 05		0.4	39.1	-	-	-
. 10		0.0	39.1	-	-	-
. 15		0.0	39.1	-	-	-
. 20		0.6	39.7	7,2	7	0.6
. 25		0.0	39.7	-	-	-
. 30		0.6	40.3	7,2	7	0.6
. 35		0.0	40.3	-	-	-
. 40		0.0	40.3	-	-	-
. 45	5	0.6	40.9	7,2	7	0.6
. 50	5	0.0	40.9	0	-	-
. 55	5	0.0	40.9	0	-	-
07. 00	5	0.5	41.4	0	-	-
. 05	5	0.0	41.4	0	-	-
. 10	5	0.7	42.1	8,4	8,1	0.7
. 15	5	0.0	42.1	0	-	-
. 20	5	0.5	42.6	6	5,8	0.5
. 25	5	0.0	42.6	0	-	-
. 30	5	0.5	43.1	6	5,8	0.5
. 35	5	0.0	43.1	0	-	-
. 40	5	0.0	43.1	0	-	-
. 45	5	0.0	43.1	0	-	-
. 50	5	0.4	43.5	4,8	4,6	0.4
. 55	5	0.0	43.5	0	-	-
08. 00						

Tableau VI - Valeurs de l'intensité et de la pluie corrigée par la station PG6 du 2 au 3.10.84

Heures	Tranche temps t	Pluie P	Pluie cumulée	Intensité I	Intensité corrigée	Pluie corrigée	Heures	Tranche temps t	Pluie P	Pluie cumulée	Intensité I	Intensité corrigée	Pluie corrigée
h. mm	mn	mm	mm	mm/h	mm/h	mm	h. mm	mn	mm	mm	mm/h	mm/h	mm
20. 18							23. 45						
. 20	3	0.3	0.3	6	5,8	0.3	. 50				-		
. 25	5	1.0	1.3	12	11,6	1.0	. 55				-		
. 30	5	2	3.3	24	23,2	1.9	24. 00				-		
. 35	5	0.7	4.0	8,4	8,1	0.7	. 05				-		
. 40	5	-		-	-	-	. 10				-		
. 45	5	-		-	-	-	. 15				-		
. 50	5	-		-	-	-	. 20				-		
. 55	5	-		-	-	-	. 25				-		
21. 00	5	-		-	-	-	. 30				-		
. 05	5	-		-	-	-	. 35				-		
. 10	5	-		-	-	-	. 40				-		
. 15	5	-		-	-	-	. 45				-		
. 20	5	-		-	-	-	. 50				-		
. 25	5	-		-	-	-	. 55				-		
. 30	5	-		-	-	-	01. 00				-		
. 35	5	-		-	-	-	. 05				-		
. 40	5	-		-	-	-	. 10	0.3	4.3	3,6	3,5	0.3	
. 45	5	-		-	-	-	. 15				-		
. 50	5	-		-	-	-	. 20				-		
. 55	5	-		-	-	-	. 25				-		
22. 00	5	-		-	-	-	. 30				-		
. 05							. 35				-		
. 10							. 40				-		
. 15							. 45				-		
. 20							. 50				-		
. 25							. 55				-		
. 30							02. 00				-		
. 35							. 05				-		
. 40							. 10				-		
. 45							. 15				-		
. 50							. 20				-		
. 55							. 25				-		
23. 00							. 30				-		
. 05							. 35				-		
. 10							. 40				-		
. 15							. 45				-		
. 20							. 50				-		
. 25							. 55				-		
. 30							03. 00				-		
. 35							. 05				-		
. 40							. 10				-		
. 45							. 15				-		

Heures	Tranche temps t	Pluie P	Pluie cumulée	Intensité I	Intensité corrigée	Pluie corrigée
h. mn	mn	mm	mm	mm/h	mm/h	mm
03. 15						
. 20	5			-		
. 25	5					
. 30	5					
. 35	5					
. 40	5	0.7	5.0	8,4	8,1	0.7
. 45	5	5.3	18.6	63,6	61,5	5.1
. 50	5	4.5	14.8	54	52,2	4.4
. 55	5	2.0	16.8	24	23,2	1.9
04. 00	5	3.0	19.8	36	34,8	2.9
. 05	5	1.9	21.7	22,8	22	1.8
. 10	5	1.1	22.8	13,2	12,8	1.1
. 15	5	1.0	23.8	12	11,6	1.0
. 20	5	1.0	24.8	12	11,6	1.0
. 25	5	0.6	25.4	7,2	7,0	0.6
. 30	5	1.0	26.4	12	11,6	1.0
. 35		0.4	26.8	4,8	4,6	0.4
. 40		0.6	27.4	7,2	7	0.6
. 45		0.5	27.9	6	5,8	0.5
. 50		0.0				
. 55		0.5	28.4	6	5,8	0.5
05. 00						
. 05						
. 10		0.4	28.8	4,8	4,6	0.4
. 15						
. 20		0.6	29.4	7,2	7	0.6
. 25		0.4	29.8	4,8	4,6	0.4
. 30		0.0				
. 35		0.6	30.4	7,2	7	0.6
. 40		0.5	30.9	6	5,8	0.5
. 45		0.5	31.4	6	5,8	0.5
. 50		0.5	31.9	6	5,8	0.5
. 55		0.5	32.4	6	5,8	0.5
06. 00						
. 05		0.4	32.8	4,8	4,6	0.4
. 10						
. 15						
. 20						
. 25		0.5	33.3	6	5,8	0.5
. 30						
. 35		0.5	33.8	6	5,8	0.5
. 40		0.0				
. 45						

Heures	Tranche temps t	Pluie P	Pluie cumulée	Intensité I	Intensité corrigée	Pluie corrigée
h. mn	mn	mm	mm	mm/h	mm/h	mm
06: 45		0.5	34.3	6	5,8	0.5
. 50						
. 55						
07. 00		0.5	34.8	6	5,8	0.5
. 05						
. 10		0.5	35.3	6	5,8	0.5
. 15						
. 20						
. 25		0.5	35.8	6	5,8	0.5
. 30						
. 35						
. 40		0.5	36.3	6	5,8	0.5
. 45						
. 50						
. 55						
08. 00						
. 05						
. 10						
. 15						
. 20						
. 25						
. 30						
. 35						
. 40	3	0.5	36.8	10	9,7	0.5
. 43						

1.2. Corps de l'averse.

Par définition c'est la somme des tranches de l'averse dont l'intensité est supérieure à 20 mm/h, seuil au-dessus duquel il n'y a pas de ruissellement.

$$C_m = C_1 + C_2 + \dots) \frac{P_m}{P_1 + P_2 + \dots}$$

C_m = Corps moyen de l'averse sur le bassin de Waraniéné.

C_1, C_2, \dots = Corps de l'averse mesurés aux pluviographes 1, 2, ...

P_1, P_2, \dots = Hauteurs totales mesurées aux pluviographes

P_m = Hauteur moyenne de l'averse.

C_m correspond à la notion de pluie utile. C'est la partie de l'averse qui a provoqué le ruissellement. Elle est la somme des tranches de l'averse dont l'intensité est supérieure à I (seuil au-dessous duquel il n'y a pas de ruissellement). Son appréciation dépend purement de l'hydrologue.

$$P_u \text{ moy.} = \frac{(P_u P_2 + P_u P_6)/2}{P_{\text{moyen}}(P_2 + P_6)} \times P_m$$

$P_u \text{ moy.}$ = pluie utile moyenne

$P \text{ moy.} (P_2 + P_6)$ = pluie moyenne sur le bassin mesurée aux pluviographes

$$P \text{ moy.} (P_2 + P_6) = \frac{P_2 + P_6}{2}$$

$P_u P_2$; $P_u P_6$ = pluies utiles mesurées aux pluviographes.

Heures	Intensité	Intensité	I moy.	P moy.	Pu moy.
h. mm	I (P ₂)	I (P ₆)			P ₂ + P ₆
03. 35	5.8	0.0	2.9	0.2	
. 40	20.9	8.1	14.5	1.2	
. 45	32.5	61.5	47.0	3.9	3.9
. 50	39.5	52.2	45.9	3.8	3.8
. 55	39.5	23.2	31.4	2.6	2.6
04. 00	20.9	34.8	27.9	2.3	2.3
. 05	25.6	22.0	23.8	2.0	2.0
. 10	13.9	12.8	13.4	1.1	
. 15	5.8	11.6	8.7	0.7	
. 20	11.6	11.6	11.6	1.0	
. 25					

Pour assurer de bons résultats pour le calcul de l'averse, il faudrait que la pluie soit relevée tous les jours à heure fixe (8 h par exemple). Toute pluie survenue entre 0 h et 8 h le jour 2 est attribuée au jour 1 ; ce qui veut dire que les relevés se font entre 8 h le jour 1 et 8 h le jour 2. On dira donc pluie du jour 1 (c'est-à-dire pour 24 h) relevée le jour 2 à 8 h.

Dans le cas où on ne dispose pas de pluviographe, il y a lieu de se contenter de considérer la pluie cumulée de jour comme si elle était tombée en une seule fois. Toutefois, il peut y avoir des difficultés insolubles, dans le cas où deux crues sont enregistrées sur le bassin le même jour. D'où la nécessité d'avoir d'un ou de plusieurs pluviographes selon l'importance du bassin.

Dans le cas où on dispose d'un pluviographe(s) et de pluviomètre(s)

+ si ou il n'existe qu'une pluie enregistrée, on a :

$$P_u \text{ bv} = \frac{P_u (PE)}{P (PE)} \times P_m \text{ bv}$$

La pluie utile mesurée en P_2 et P_6 est :

$$P_u (P_2; P_6) = 3.9 + 3.8 + 2.6 + 2.3 + 2.0 = 14.6$$

La pluie moyenne mesurée

Pour P_6 , la partie de la pluie mesurée correspondant à celle enregistrée ayant provoqué le ruissellement est :

$$35.5 - 4 = 31.5$$

$$\text{pour } 35.6 \text{ on a } \frac{31.5 \times 35.6}{35.5} = 31.6$$

Pour P_2

$$43.5 - 12 = 31.5$$

$$\text{pour } 42.1 \text{ on a } \frac{31.5 \times 42.1}{43.5} = 30.5$$

D'où la pluie moyenne mesurée en P_2 et P_6 sera

$$P \text{ moy. } (P_2; P_6) = \frac{30.5 + 31.6}{2} = 31.1$$

+ S'il y a deux pluies enregistrées (ou plus) on pourra procéder au dégroupage des pluies. On rapportera alors en seau la hauteur enregistrée.

$$\text{(pluviographe) } PE_2 = 43.5 \quad - \quad 12$$

$$\text{(seau) } PE_2 = 42.1 \quad - \quad X$$

$$x = \frac{42.1 \times 12}{43.5} = 11.6$$

Il faut voir combien la pluie n°1 pourra représenter en pourcentage par rapport à la pluie enregistrée le jour x.

On apportera ainsi les corrections aux données mesurées aux seaux des pluviomètres

$$PE_2 = \frac{12}{43.5} = 0,275 \quad (\text{ou } 27,5 \%)$$

Pour la correction à apporter, on a $100 - 27,5 = 72,5 \%$

Pour P_4 la pluie corrigée sera en tenant compte de sa proximité de PE_2

$$45 \times 72,5/100 = 32.6$$

$$PE_6 = \frac{4}{35.6} = 0,43 \quad (11,3 \%) \quad 100 - 11,3 = 88,7 \%$$

$$\text{Pour } P_5 \text{ on a } 29 \times 88,7/100 = 25.7$$

$$\text{Pour } P_7 \text{ on a } 38,6 \times 88,7/100 = 34.2$$

} Même coefficient que pour PE_6 du fait de leur proximité

On procèdera à la multiplication de ces valeurs corrigées par les coefficients de THIESSEN

P_2	30.5	x	0.056	=	1.7
P_4	32.6	x	0.104	=	3.4
P_5	25.7	x	0.16	=	4.1
P_6	31.6	x	0.372	=	11.8
P_7	34.2	x	0.308	=	10.5

La somme nous donne une valeur de $P = 31,5$

Ainsi la pluie utile pour le bassin sera

$$P_u \text{ bv} = \frac{P_u PE}{P_1 PE} \times P_{1m} \text{ bv} + \frac{P_u PE}{P_2 PE} \times P_{2m} \text{ bv} + \dots$$

+ Si on dispose de deux pluviographes et de plusieurs pluviomètres comme dans notre cas on applique la même technique que précédemment avec :

$$P_u \text{ bv} = \frac{P_u PE + P_u PE}{P_{PE1} + P_{PE2}} \times P_m$$

D'une manière rapide et pour une méthode de comparaison, on peut avoir :

$$P_u = \frac{P_{\text{moy}} (P_2; P_6)}{P_{\text{moy}} (P_2; P_6)} \times P_m = \frac{14.6}{31.1} \times 31.5 = 14.8$$

Cela s'obtient en attribuant une aire d'influence à chaque pluviographe avant de faire la répartition des pluies et (ou) de faire un dégroupage. Pour y parvenir, on choisira les pluviomètres les plus proches d'un pluviographe.

2. Etude des crues

2.1. Limnimétrie

Les données sont recueillies à partir d'un limnigramme et du barème des débits.

Le démarrage effectué le 29.04.84 à 8 H 27 avec hauteur de base égale à peu près à 0,05 m (relevé sur la feuille de limnigraphe à partir de son zéro).

Le limnigraphe n'a commencé à enregistrer la crue qu'à partir de 20 H 55 sur l'axe des abscisses (voir fig. 15).

2.2. Caractéristiques de crue

- Tracé du diagramme de séparation

Il permet de faire une estimation d'une part du débit de base de l'écoulement et d'autre part du volume ruisselé provoqué par une pluie ainsi que de la lame ruisselée.

La figure 16 est un diagramme de séparation avec l'utilisation de la méthode logarithmique (cf. DUBREUIL, 1974).

- Ecoulement

+ Le planimétrage du diagramme nous donne 20,7 cm².

D'où le volume de l'écoulement sera :

$$20,7 \times 240 \text{ m}^3 = 4968 \text{ m}^3$$

+ La lame correspondant à l'écoulement

$$H_e = \frac{E}{S_{Bv}} = \frac{4968 \text{ m}^3}{2,31 \text{ km}^2} = 2,2 \text{ mm}$$

+ Déficit d'écoulement

$$P - E = 37,5 - 2,2 = 35,3 \text{ mm}$$

+ Coefficient d'écoulement

$$K_e = \frac{H_b}{P} = \frac{2,2}{37,5} \times 100 = 5,9 \%$$

- Ruissellement de la crue du 29.04.84

+ Volume ruisselé Planimétrage = 16,7 cm²

$$V_r = 16,7 \times 240 \text{ m}^3 = 4008 \text{ m}^3$$

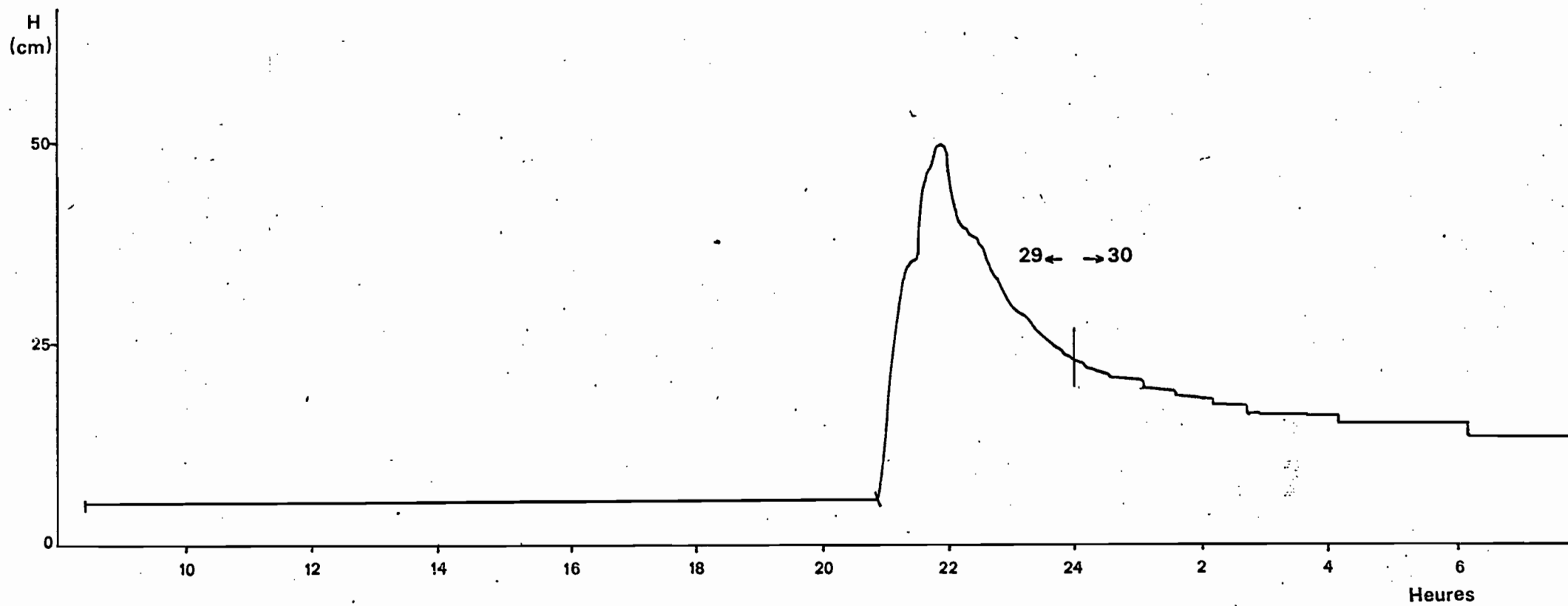
+ Lame ruisselée

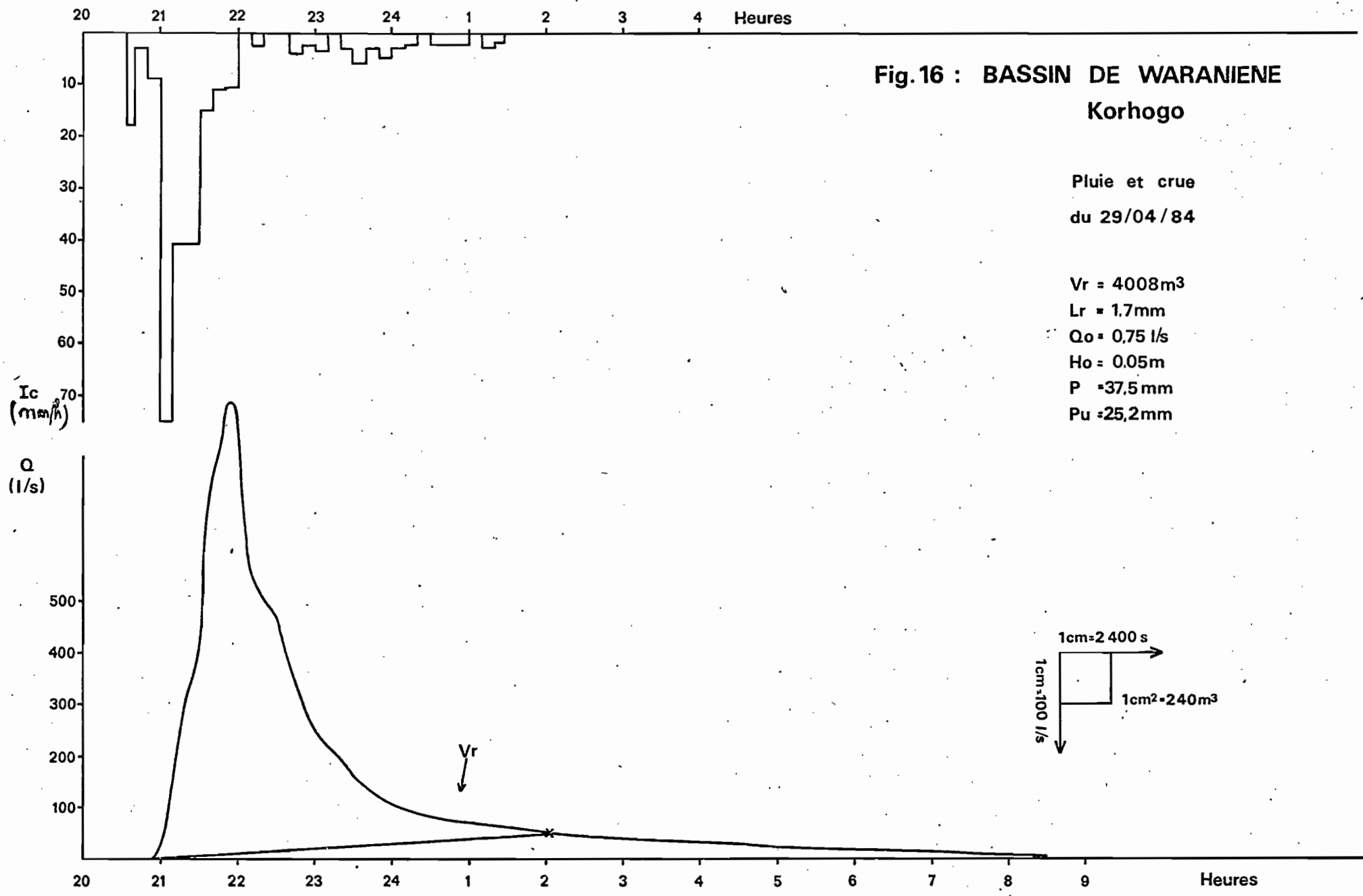
$$[r] = \frac{V_r}{S_{Bv}} = \frac{4008 \text{ m}^3}{2,31 \text{ km}^2} = 1,7 \text{ mm}$$

+ Coefficient de ruissellement

$$K_r = \frac{H_r}{P} = \frac{1,7}{37,5} \times 100 = 4,5 \%$$

Fig. 15 : LIMNIGRAMME DE LA CRUE DU 29.30/4/1984 (WARANIENIE)

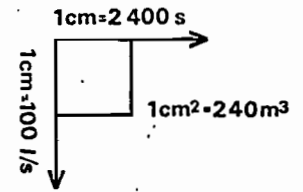




**Fig.16 : BASSIN DE WARANIENE
Korhogo**

Pluie et crue
du 29/04/84

$V_r = 4008m^3$
 $L_r = 1.7mm$
 $Q_0 = 0,75 l/s$
 $H_0 = 0.05m$
 $P = 37,5 mm$
 $P_u = 25,2mm$



3. Facteurs du ruissellement : Etat de saturation du sol

Ils sont de trois ordres :

- . Morphologiques : relief, drainage, pentes...
- . Géologiques : nature du sous-sol, nappe ...
- . Pédologiques : sols (perméabilité, structure) ...

A ces facteurs fixes s'ajoutent d'autres qui sont variables :

- . Taux de saturation du sol ;
- . Caractéristiques de l'averse (déjà vues).

3.1. Mesure de l'humidité du sol

L'humidité du sol joue un rôle très important sur l'infiltration, le ruissellement, l'évapotranspiration... Sa mesure a une importance considérable. Elle se fait de différentes manières.

3.1.1. Mesure directe

3.1.1.1. Méthode gravimétrique

Elle consiste à faire des profils au nombre de 3 par site choisi avec la tarière de 80 mm de diamètre. Ensuite on procède au prélèvement des échantillons que l'on pèse directement. Pour chaque échantillon, on a un poids P_s (poids du sol au prélèvement). On fait sécher l'échantillon qui est ensuite repesé. Il a un poids P_c qui est le poids de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105°C pendant 48 heures.

La différence entre les deux poids donne une valeur P_e qui est le poids de l'eau contenue dans l'échantillon. Ainsi la teneur en eau de l'échantillon sera :

$$W = \frac{P_e}{P_s}$$

En multipliant cette valeur par la densité sèche apparente du sol, on obtient ce qu'on appelle l'humidité volumique :

$$W_r = W \cdot d$$

3.1.1.2. Méthode de la sonde à neutrons

La détermination du taux d'humidité du sol par un humidimètre à neutrons (particules nucléaires élémentaires dépourvues de charge électrique) utilise le phénomène de la "diffusion élastique" des neutrons.

3.1.2. Mesure indirecte

3.1.2.1. Méthode de laboratoire

Elle consiste à utiliser du papier filtre traité chimiquement jouant le rôle de détecteur passif de l'humidité.

3.1.2.2. Indice d'humidité (cf. CHEVALLIER, 1983).

Il est de forme exponentielle et se calcule par la formule :

$$IK = (P_{n-1} + IK_{n-1})e^{-\alpha t_a}$$

P_{n-1} = hauteur de pluie antérieure (mm) ; IK_{n-1} = indice d'humidité antérieur ;
 α = coefficient propre au bassin (il varie entre 0,01 et 2) ;
 t_a = temps de ressuyage entre deux averses (jour).

3.1.2.3. Indice de pluie antérieure

Il permet d'apprécier l'état d'humidité du sol avant une averse considérée. Il est déterminé par la formule :

$$API = b_1 P_1 + b_2 P_2 + \dots + b_i P_i + \dots$$

P_i = hauteur de précipitation en i jours

b_i = coefficient = $1/i$

Cet indice peut s'écrire sous la forme

$$API_1 = API_0 \cdot K$$

API_1 - indice du jour considéré

API_0 - indice du jour antérieur

K - coefficient fonction des caractéristiques du bassin, il est compris entre 0,85 et 0,90.

3.2. Mesure de perméabilité

La perméabilité est la vitesse maximale possible avec laquelle une lame d'eau s'infiltré dans le sol. Elle est encore appelée capacité d'infiltration.

La mesure de perméabilité consiste en l'observation de la vitesse de descente d'un plan d'eau, dans une enceinte étanche, s'infiltrant seulement dans le sol.

3.2.1. Méthode PORCHET

Elle consiste à creuser à la tarière, trois ou quatre trous au niveau de chaque site choisi. On remplit les trous d'eau et, à l'aide d'un flotteur lesté d'un contrepoids qui se déplace sur une tige graduée, on peut lire le déplacement d'un index que l'on place sur le contrepoids. (voir additif de protocole de mesure).

3.2.2. Méthode de MUNTZ

Elle consiste à utiliser un appareil constitué essentiellement de deux réservoirs dont l'un est gradué (de capacité 5 litres et 30 litres), deux anneaux enfoncés dans le sol (un anneau de me-

sure alimenté par le réservoir (de 5 litres) gradué et un anneau de garde (alimenté par le réservoir de 30 litres). Contrairement à la méthode de PORCHET qui donne la perméabilité de la seule tranche de sol explorée, avec le problème du choix de la profondeur du trou, celle de MUNTZ a deux avantages :

- + Elle ne détruit pas la couche superficielle du sol ;
- + Elle donne la perméabilité verticale, celle du sens de l'infiltration, et non la perméabilité horizontale comme la méthode PORCHET.

3.3. Mesure de l'infiltration

L'infiltration est la partie, après une précipitation qui alimente le stockage et l'écoulement souterrain.

Diverses méthodes sont utilisées pour la détermination de cette infiltration.

3.3.1. Méthode de submersion

Plus couramment utilisée pour les études d'irrigation, elle consiste à couvrir une parcelle prédéterminée de sol d'une lame d'eau. L'infiltration est déterminée par la baisse du niveau de la lame mesurée dans la parcelle.

3.3.2. Méthode de simulation de pluie

Cette méthode a pour but de pulvériser l'eau sous forme de pluie sur une parcelle limitée de 1 x 1 m. Le dispositif de pulvérisation est généralement placé à 2,5 ou 3 m du sol pour pouvoir former des gouttes de dimension et de répartition voulues. Cela doit permettre aussi aux gouttes d'atteindre le sol avec une vitesse normale.

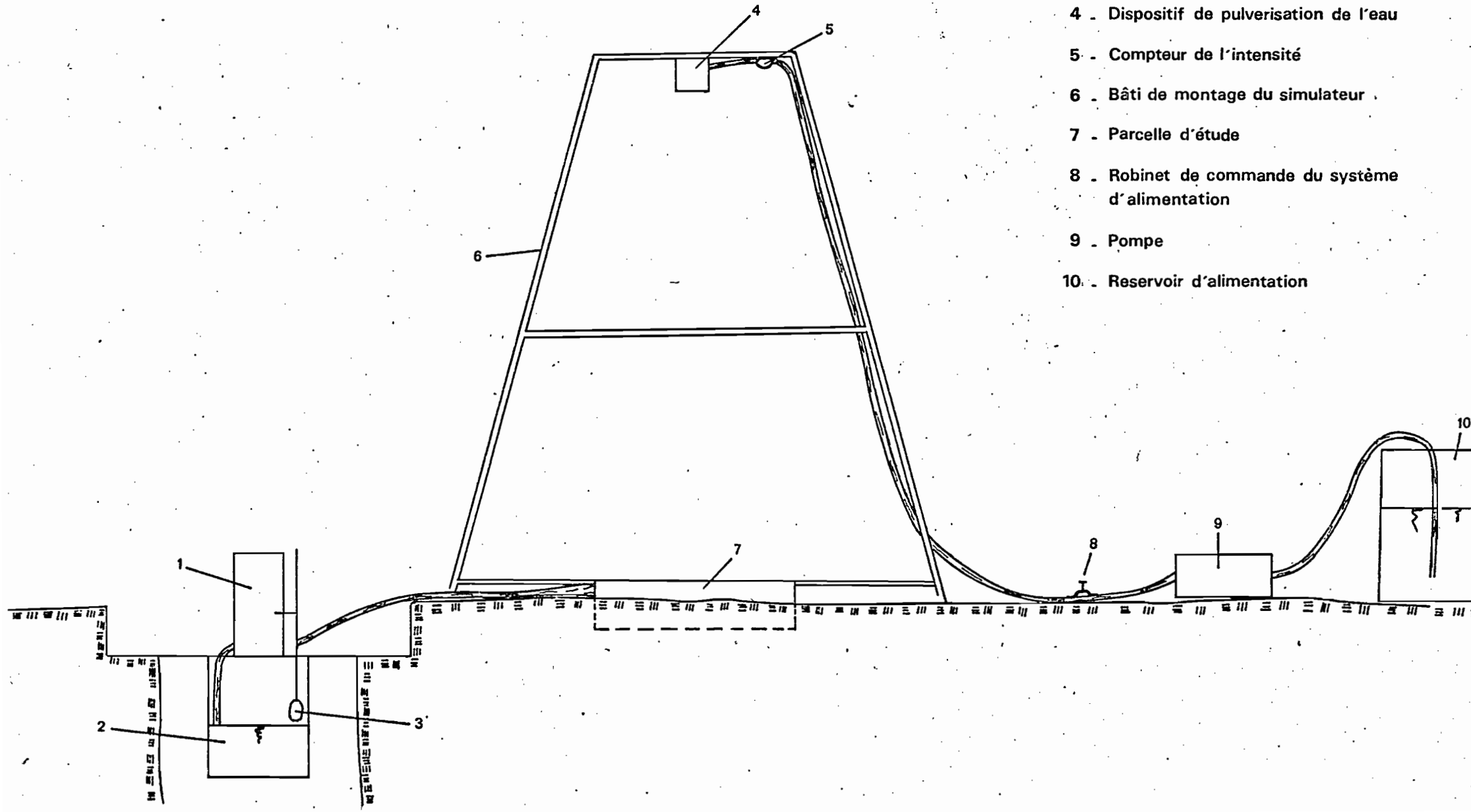
Un récipient collecteur permet de mesurer le ruissellement au moyen d'un limnigraphe (fig. 17).

3.3.3. Méthode des anneaux (cf. méthode MUNTZ)

La surface soumise à l'essai est délimitée par des anneaux. Ces anneaux sont enfoncés de quelques centimètres seulement dans le sol. Une charge hydraulique constante est maintenue à l'intérieur par addition de volumes d'eau que l'on mesure.

Fig.17 : MINI SIMULATEUR DE PLUIE

- 1 - Limnigraphe
- 2 - Récipient collecteur
- 3 - Flotteur de limnigraphe
- 4 - Dispositif de pulvérisation de l'eau
- 5 - Compteur de l'intensité
- 6 - Bâti de montage du simulateur
- 7 - Parcelle d'étude
- 8 - Robinet de commande du système d'alimentation
- 9 - Pompe
- 10 - Reservoir d'alimentation



3.2. Caractéristiques des crues

Tableau XI

Année 19..

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10.	11	12	13	14
N°	Date	Pm mm	c mm	IK	Q ₀ m ³ /s	H _r mm	V _r 10 ³ m ³	K _r %	K _{ru} %	T _m mn	T _b mn	Q max m ³ /s	Q mr m ³ /s
1													
2													
3													
4													
.													
.													
.													
.													

1. N° de la crue initialisée à 1 pour chaque année
2. Date du début de la crue
3. P_m = hauteur moyenne de l'averse responsable de la crue (mm)
4. c = hauteur de la pluie utile (corps) de l'averse (mm)
5. IK = indice d'humidité préalable à l'averse.
6. Q_S = débit de base au début de chaque crue (m³/s)
7. H_r = valeur de la lame ruisselée (mm) égale à V_r/S (S = surface du bassin).
8. V_r = volume de la crue (ruissellement immédiat + ruissellement retardé ou hypodermique) en milliers de m³.
9. K_r = coefficient de ruissellement moyen de la crue : $K_r = \frac{H_r}{P_m}$ (%)
10. K_{ru} = coefficient de ruissellement utile = $K_{ru} = \frac{H_r}{c}$ (%)
11. T_m temps de montée de la crue (durée de la partie ascendante (mn))
12. T_b temps de base de la crue (durée totale de la crue (mn))
13. Q_{max}. débit max. instantané de la crue (m³/s) .
14. Q_{mr} débit max de la crue diminué du débit de base à l'instant du max donc correspondant au seul ruissellement.

4. LOI NORMALE D'ANALYSE STATISTIQUE

4.1. Analyse statistique des données hydro-météorologiques

Elle vise à définir les régimes à travers certaines valeurs caractéristiques et représentatives. On y procède de 2 manières.

- . Analytique : apport moyen annuel à un site de retenue projeté
- . Synthétique: définir les régimes de pluies et des débits dans l'espace.

4.2. Estimation d'un débit pour une probabilité donnée

"L'ingénieur d'aménagement pose généralement la question suivante : quelle valeur prend le débit pour telle probabilité ? et avec quelle précision est estimée cette valeur ?

Quand il ne s'agit pas de la valeur moyenne du débit, le choix de la probabilité dépend des considérations économiques (durée de vue probable de l'aménagement, coût, risque de destruction...)..." (P. DUBREUIL : Initiation à l'analyse hydrologique. Paris 1974).

Considérons un échantillon de la variable "débit". Pour en faire une analyse statistique complète il existe trois phases à suivre :

- + Analyse de l'échantillon et choix de la loi à lui appliquer,
- + Estimation des paramètres de la loi et vérification de son adéquation,
- + Estimation de la valeur de la variable pour la probabilité P retenue, et calcul de l'intervalle de confiance au seuil de risque.

4.2.1. Analyse de l'échantillon et choix de loi

Nous avons choisi un échantillon E (ΣQ_i = ensemble de débits d'un cours d'eau) sur une période déterminée de N années. La fréquence expérimentale $f = \frac{n}{N}$ (n = nombre de fois de production de r dans la population).

$$F(x) = \text{Prob}(x > Q)$$

La dérivée de cette fonction devient la densité de probabilité $f(x)$.

On obtient :

$$P(x > Q) = F(x) = F(Q) \int_Q^{\infty} f(x) dx$$

Cet échantillon est caractérisé par

+ la moyenne $\bar{Q} = \frac{\Sigma Q_i}{N} = \frac{1}{N} \Sigma Q_i$ (voir tableau XIV)

+ la variance $S^2 = \frac{1}{N-1} \Sigma (Q_i - \bar{Q})^2 = \frac{1}{N-1} [\Sigma Q_i^2 - N\bar{Q}^2]$

Ce qui permet de déterminer l'écart-type qui est la racine carrée de la variance.

Cela amène au choix de la loi convenable à l'analyse de l'échantillon à partir de 2 critères :

+ Dans une région climatique donnée, une variable hydropluviométrique déterminée suit généralement la même loi en tout site d'observations, d'où l'intérêt des études régionales systématiques et celui de la connaissance de toute étude antérieure.

+ En l'absence d'information régionale, on fait un essai de report graphique des points observés sur papier à échelle gaussique des abscisses, ce qui permet d'envisager une loi normale ou une loi dissymétrique.

En dehors de la loi normale, on ne peut guère traiter les problèmes d'intervalle de confiance sans difficultés et sans ordinateur.

Tableau XII - Analyse des débits de classement d'échantillon

Rang	Débits Q_i (m ³ /s)	Année		Rang	Débits Q_i (m ³ /s)	Année

+ le coefficient de variation. Il est le rapport de l'écart-type et de la moyenne \bar{Q}

$$CV = \frac{S}{\bar{Q}}$$

Ainsi pour la loi normale dite encore loi de GAUSS la fonction prend la valeur

$$P(x > Q) = F(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2} U^2} dU$$

U étant la variable réduite

$$U = \frac{Q - \bar{Q}}{S}$$

Il existe une table de GAUSS selon laquelle les valeurs de $f(x)$ sont données en fonction de celle de U.

En pratique la prudence exige que l'on ne recherche pas une quantité dont la probabilité d'apparition correspond à une période de retour supérieure en triple de la longueur d'échantillon.

4.2.2. Test d'adéquation

Après le choix du type de loi il faut s'assurer si la loi est adéquate à l'échantillon ou non. Pour cela, on procède au test de χ^2 appelé variable aléatoire. Ce test est appelé encore test d'adéquation.

On procède au découpage de l'échantillon en classes. Pour cela, on adopte :

- + Des classes paires
- + Au minimum 4 classes (K = nombre de classes)
- + Et au moins 5 éléments théoriques par classe (n th)

Le calcul de χ^2 donne :

$$\chi^2 = \sum \frac{(n \text{ obs} - n \text{ th})^2}{n \text{ th}}$$

n obs = effectif observé

n th = effectif théorique

Le calcul de ν : degré de liberté : c'est le nombre de classes diminué du nombre de liaisons entre échantillon et loi ajustée.

Si n obs = n th le nombre de liaison P = 1

Si n obs \neq n th le nombre de liaison P = 2

$$\nu = K - P - 1$$

Le tableau XIV donne la valeur de la variable aléatoire ayant une probabilité d'être dépassée.

Une loi est donc adéquate pour un échantillon n $P(\chi^2) \geq \alpha$ qui est un seuil de risque d'adéquation. $\alpha = 0,05$. Pour toute valeur de $P(\chi^2) < \alpha$ la loi doit être rejetée.

On a 95 % de chances d'avoir raison d'adopter ou de rejeter, et 5 % de chances de se tromper.

Ainsi on a le tableau suivant :

Tableau XIII -

K	n th	n obs	f(x)	U	x_e	a	$\frac{a}{n \text{ th}}$
Total	$\sum n \text{ th}$	n obs					χ^2

x_e = limite de classes (m³/s)

$$= \bar{Q} - S U_p \quad \text{avec } S = \text{écart-type}$$

Elle représente l'équation de la droite appelée droite de Henri

$$a = (n \text{ obs} - n \text{ th})^2$$

Suivant ce tableau (f(x)) est calculé comme égal à :

$$f(x) = \text{rang } x \frac{n \text{ th}}{N}$$

Ainsi pour les valeurs de U_p on se sert de la table de GAUSS.

Après avoir obtenue χ^2 nous passons au tableau XIII et on teste la valeur de la probabilité P en fonction de ν .

CONCLUSION

Ce rapport fournit des données expérimentales, des techniques et des méthodes utilisées dans l'étude hydro-pluviométrique d'un bassin représentatif. Si des données manquent, ou des appareillages assez courants ne sont pas cités, il se trouve seulement que nous avons essayé de présenter ceux dont l'utilisation est routinière sur le bassin de Booro.

Ce rapport tend à montrer seulement l'essentiel et de faire connaître les techniques en application dans l'étude de bassin représentatif.

Les écoulements de surface sont conditionnés par les régimes pluviométriques ce qui fait que beaucoup de formules n'ont qu'une application locale. Le thème principal donc traité dans ce rapport est le mécanisme qui régit la liaison entre les pluies et leur transformation en débits. Dans l'étude de ces mécanismes hydropluviométriques, on peut introduire des études statistiques.

Les méthodes d'analyse statistique sont assez nombreuses. Une loi couramment utilisée celle de GAUSS appelée Loi normale assez bien adaptée à l'Afrique de l'Ouest tropicale.

Les études hydro-pluviométriques sont plus expérimentales. Certaines parties dépendent d'une pure appréciation de l'hydrologue.

L'étude du bassin de Booro-Borotou n'ayant pas été systématique, ce rapport montre les quelques grandes lignes à suivre pour les études préliminaires et l'exploitation d'un bassin représentatif.

A cause de l'absence de données recueillies sur le terrain, l'étude a porté simultanément sur certaines caractéristiques du bassin de Booro (pluviométrie) et sur certaines caractéristiques du bassin de WARANIENE (Korhogo) (hydrométrie).

Notre travail a consisté à une initiation à l'établissement d'une méthodologie de rassemblement, du classement et de l'élaboration des données recueillies dans les domaines pluviométriques et hydrométriques de surface en nous attachant tout particulièrement au cas de bassin versant représentatif à vocation pratique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- M. ALDEGHERI, 1979. Mesure de débits à partir des vitesses.
ORSTOM. Paris.
- D. BOA, CAMARA M., 1984. Principaux types de sols et gravillons du bassin versant de Booro-Borotou. Région de Touba au N.O. de la Côte d'Ivoire, ORSTOM, Adiopodoumé, Abidjan ..
- H. CAMUS, P. CHAPERON, G. GIRARD, M. MOLINIER, 1976. Analyse et modélisation de l'écoulement superficiel d'un bassin tropical. Influence de la mise en culture. Côte d'Ivoire, Korhogo 1962-1972. ORSTOM. Paris.
- P. CHEVALLIER, 1983. L'indice des précipitations antérieures. Evaluation de l'humectation des sols des bassins versants représentatifs. Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol., Vol. XX, n^{os} 3 et 4.
- J. COLLINET, C. VALENTIN, 1984. Identification des principaux types d'organisations superficielles du bassin versant de Booro-Borotou. ORSTOM, Adiopodoumé, Abidjan.
- C.P.C.S., 1967. Classification des sols. ENSA, Grignon - Paris.
- P. DUBREUIL, 1967. Point de vue théorique sur le rôle du sol dans le cycle hydrologique.
ORSTOM. Paris.
- P. DUBREUIL, 1967. Détermination des paramètres du sol influant sur le cycle hydrologique dans les bassins représentatifs et expérimentaux (Protocoles de mesures). ORSTOM. Paris.
- P. DUBREUIL, 1974. Initiation à l'analyse hydrologique (dix exercices suivis de corrigés).
MASSON - ORSTOM. Paris.
- P. DUBREUIL, J. COLOMBANI, 1970. Mesures d'humidité et de perméabilité des sols dans les bassins représentatifs et expérimentaux : Additifs aux protocoles et présentation des résultats.
ORSTOM, Paris.
- V. ESCHENBRENNER, L. BADARELLO, 1978. Etude pédologique de la région d'Odienné. Feuille Odienné (200.000e). Notice explicative n° 74, ORSTOM, Paris.
- B. KOUAME, 1984. Bassin versant de Booro-Borotou. Observations du mois de juillet 1984.
ORSTOM, Adiopodoumé, Abidjan.
- M. ROCHE, 1963. Hydrologie de surface.
GAUTHIER VILLARS / ORSTOM. Paris.
- J. RODIER, 1964. Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'Ouest du Congo. ORSTOM. Paris.
- C. TOEBES, Y. OURYVAEV, 1970. Les bassins représentatifs et expérimentaux. UNESCO. Paris.
- M. VIENNOT, 1983. Etude pédologique de la région de Touba. Feuille Touba (200.000e), Notice explicative n° 98, ORSTOM, Paris.
- G. VUILLAUME, 1974. L'abattement des précipitations journalières en Afrique Inter-tropicale. Variabilité et précision de calcul, Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol., Vol. XI, n° 3.