

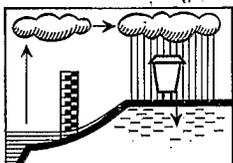
Direction des ressources
en eau et en sols

Convention D.R.E.S.-O.R.S.T.O.M.

Action de type A

**Les crues exceptionnelles
du 12 Decembre 1973
sur le bassin versant de l'
oued Zita**

**J. Bourges
s. Bouzaiane**



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER



DS
30U
ion en Tunisie

170 02

ORSTOM

MISSION TUNISIE

Section Hydrologie

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU ET EN SOLS

Exécution du Protocole d'Accord

Etude de type A

LES CRUES EXCEPTIONNELLES

DU 12 DECEMBRE 1973

SUR LE BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA

- J. BOURGES

Chargé de Recherches à l'ORSTOM

- S. BOUZAIANE

Elève Hydrologue à l'ORSTOM.

*Avec la participation pour les
mesures sur le terrain de*

- J.M. LAMACHERE

Elève Hydrologue à l'ORSTOM

et avec la collaboration technique de

-M. BEN YOUNES

G A B E S

Juin 1974



179/2

	Page
1. <u>SITUATION GENERALE</u>	1
2. <u>DISPOSITIF DE MESURES</u>	
2.1 Zita I	1
2.2 Zita II	2
2.3 Zita III	2
2.4 Citerne Telman	2
2.5 Pluviométrie	2
3. <u>LES PRECIPITATIONS</u>	2
4. <u>LES CRUES</u>	
4.1 Station principale : Zita I	
4.1.1 Tarage	4
4.1.2 Les précipitations	6
4.1.3 Le ruissellement	7
4.1.4 Transport en suspension	9
4.1.5 Salinité	11
4.1.6 Transport de fond	12
4.2 Station secondaire : Zita II	
4.2.1 Tarage	13
4.2.2 Les précipitations	14
4.2.3 Le ruissellement	15
4.2.4 Transport en suspension	17
4.2.5 Salinité	17
4.2.6 Transport de fond	19
4.2.7 Infiltration et essai de bilan hydrologique	20
4.3 Station de la Ravine : Zita III	
4.3.1 Tarage	21
4.3.2 Les précipitations	23
4.3.3 Le ruissellement	24
4.3.4 Transports	25

4.4	Citerne Telman	
4.4.1	Tarage	25
4.4.2	Les précipitations	27
4.4.3	Le ruissellement	27
4.4.4	Les transports	28
4.4.5	Infiltration	29
4.4.6	Mesure de l'érosion en place	29

5. COMPARAISON DES COMPORTEMENTS DES BASSINS

5.1	Pluviométrie	30
5.2	Ruissellement	
5.2.1	Débits maximums	31
5.2.2	Coefficient de ruissellement	32
5.3	Transport en suspension	34
5.4	Salinité	35

ANNEXES

NOTE SUR LES CRUES
du 12 décembre 1973

1. SITUATION GENERALE

Situé dans le Sud tunisien par $36^{\circ}3'$ de latitude Nord et $9^{\circ}45'$ de longitude Est, l'ensemble des bassins du Zita se répartit sur le Djebel de Zemlet el Beïda et sur son piemont. Ce massif fait partie de la chaîne montagneuse septentrionale qui borde les Chotts Djerid et Fedjaj (cf. Fig.1).

Proche de la côte (20 km), le site demeure soumis à l'influence maritime qui tempère fortement le climat semi-aride de ces latitudes et procure un régime de précipitations plus intense. La moyenne interannuelle, 160 mm, donne un aperçu des totaux annuels, mais ne rend pas compte de l'irrégularité de ces précipitations. A 30 km la station de Gabès enregistre sur 33 ans des totaux annuels allant de 39 mm à 460 mm.

L'étude des bassins a débuté en 1972 avec deux stations seulement : Citerne Telman et Zita I. En 1973 deux autres stations sont venues compléter le dispositif : Zita II et Zita III. La première campagne 1972-1973 fait l'objet d'un rapport, en cours de parution, qui traite plus en détail la situation générale, le climat, les caractéristiques des bassins.

2. DISPOSITIF DE MESURES

L'ensemble des bassins du Zita comprend 4 stations (cf. Fig. 2 et 3) :

2.1 Zita I

C'est la station principale qui draine un bassin de $3,2 \text{ km}^2$ situé partie au coeur de l'anticlinal sur des gypses à relief modéré et partie sur des alternances de couches redressées formant un relief accidenté, exclusivement composé de terrains non cultivés, à végétation rare.

Elle est équipée de 4 sections de jaugeage, adaptées aux différents débits, d'un limnigraphe et d'une passerelle pour les mesures au moulinet (Fig. 2).

Fig.2

BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA

Carte d'équipement 1973

Echelle : 1/12 500

Station 1 : 3,2 Km²
Station 2 : 1,41 ha.
Station 3 : 3,25 ha.

LEGENDE

- ▽ Piviomètre
- (T) Piviomètre totalisateur
- ▽ Pluviographe
- Limnigraphe
- Station hydrométrique aménagée

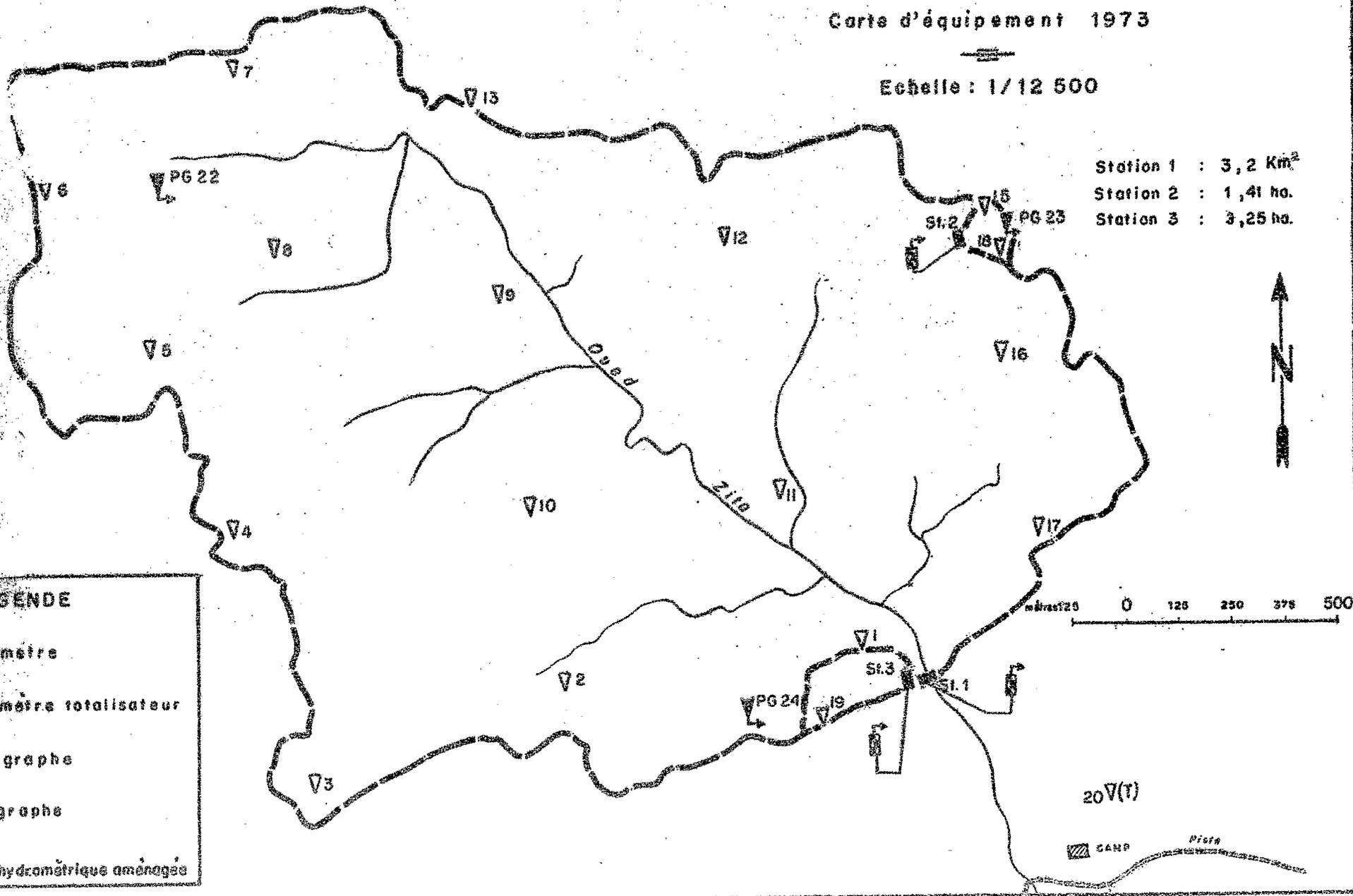
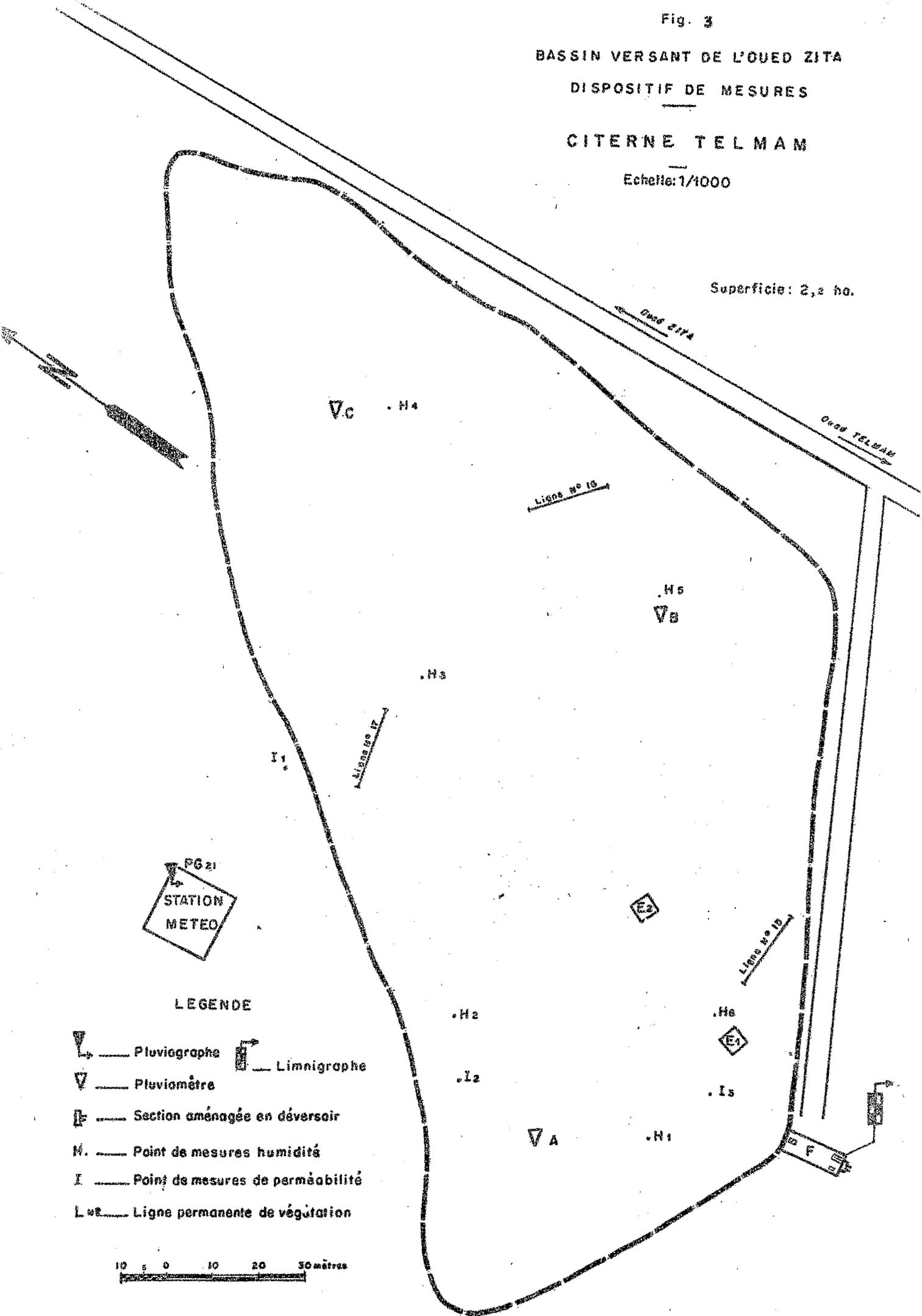


Fig. 3

BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA
DISPOSITIF DE MESURES
CITERNE TELMAM

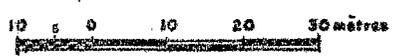
Echelle: 1/1000

Superficie: 2,2 ha.



LEGENDE

-  Pluviographe
-  Pluviomètre
-  Section aménagée en déversoir
-  Point de mesures humidité
-  Point de mesures de perméabilité
-  Ligne permanente de végétation
-  Limnigraphe



2.2 Zita II

Station secondaire créée pour l'étude du phénomène primaire (formation du ruissellement et de l'érosion); elle contrôle un bassin de 1,41 ha et comprend une fosse à sédiments équipée d'un déversoir triangulaire, et un seuil épais du type Neyrpic. Ces deux jaugeurs disposés en série permettent une meilleure évaluation du débit. Le relief est très modéré hormis une falaise abrupte formant la limite Sud, qui provoque une forte dissymétrie du profil en travers.

2.3 Zita III

Située dans la zone à fort pendage et à relief accentué, elle est représentative de cette partie du bassin principal (1/5ème de la superficie totale). La station équipée d'un seuil épais du type Neyrpic contrôle un bassin de 3,25 ha, drainé par un réseau de talwegs bien apparents.

2.4 Citerne Telman

Représentative de la zone de piémont, "les seguis",* cette station est située sur une citerne d'alimentation en eau des populations locales. Le bassin de 2,2 ha, recouvrant en grande partie des sols limono-argileux peu perméables, est limité par des tabias et contrôlé par un déversoir rectangulaire (Fig.3).

2.5 Pluviométrie

Un réseau très dense de pluviomètres et de pluviographes couvre l'ensemble des bassins représentant une densité de 6 postes par kilomètre carré pour le bassin principal et 2 ou 3 postes par bassin pour les autres. Chaque bassin comporte au moins un pluviographe de référence.

3. PRECIPITATIONS

Faisant suite à un automne très sec, trois épisodes pluvieux ont atteint le Sud de la Tunisie. Deux seulement intéressent le site du bassin : les 4 et 5 décembre une averse lente et régulière de 27 mm provoque des faibles crues. Une semaine plus tard un troisième épisode, selon un mécanisme identique aux fortes pluies de 1969, va précipiter sur le Centre et le Sud tunisien, les masses d'eau prélevées sur le Golfe de Gabès. L'épicentre se trouve sur la région

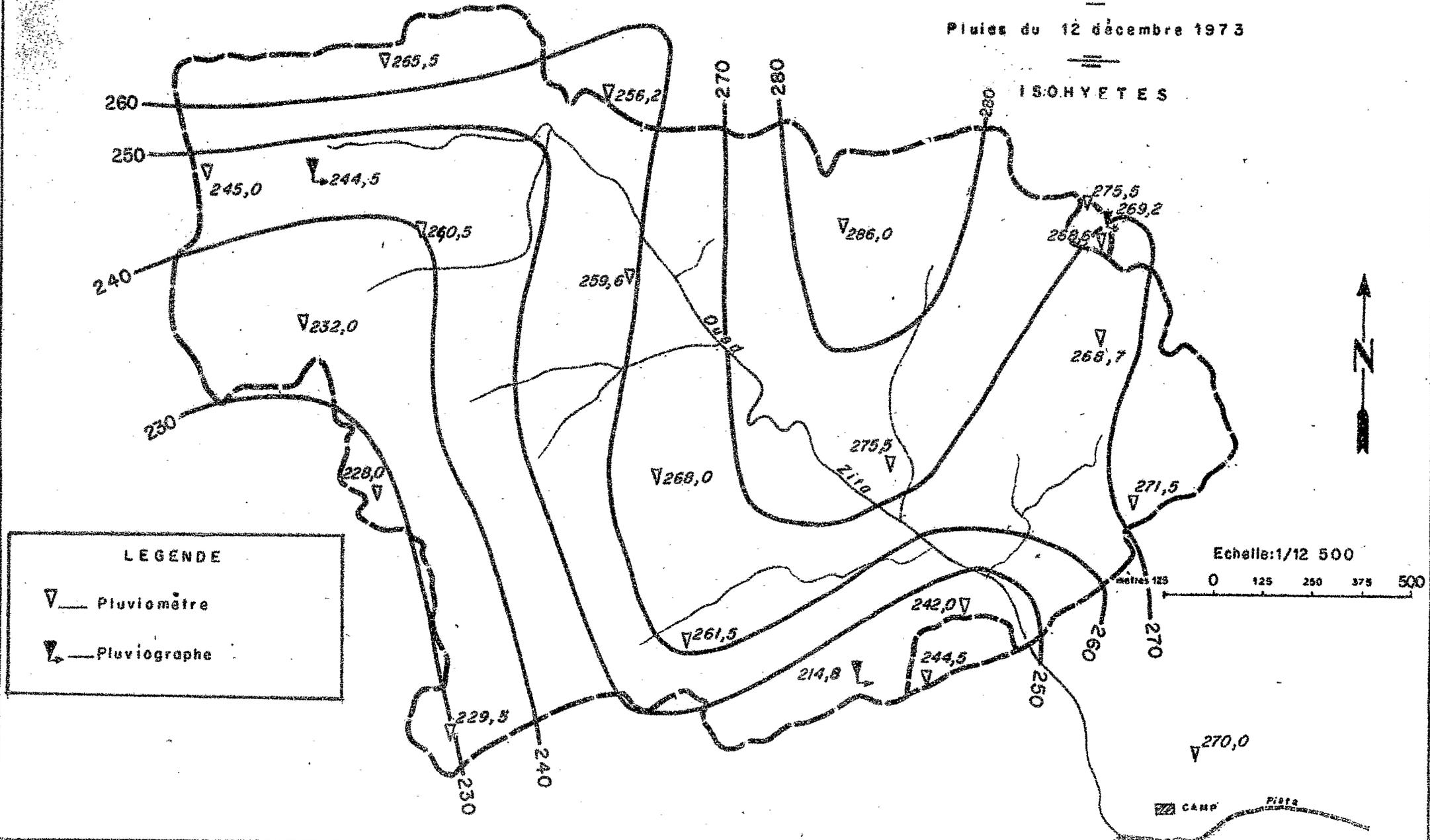
*seguis : zone agricole recevant un apport d'eau des piémonts ..//.

Fig. 4

BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA

Pluies du 12 décembre 1973

ISOHYETES



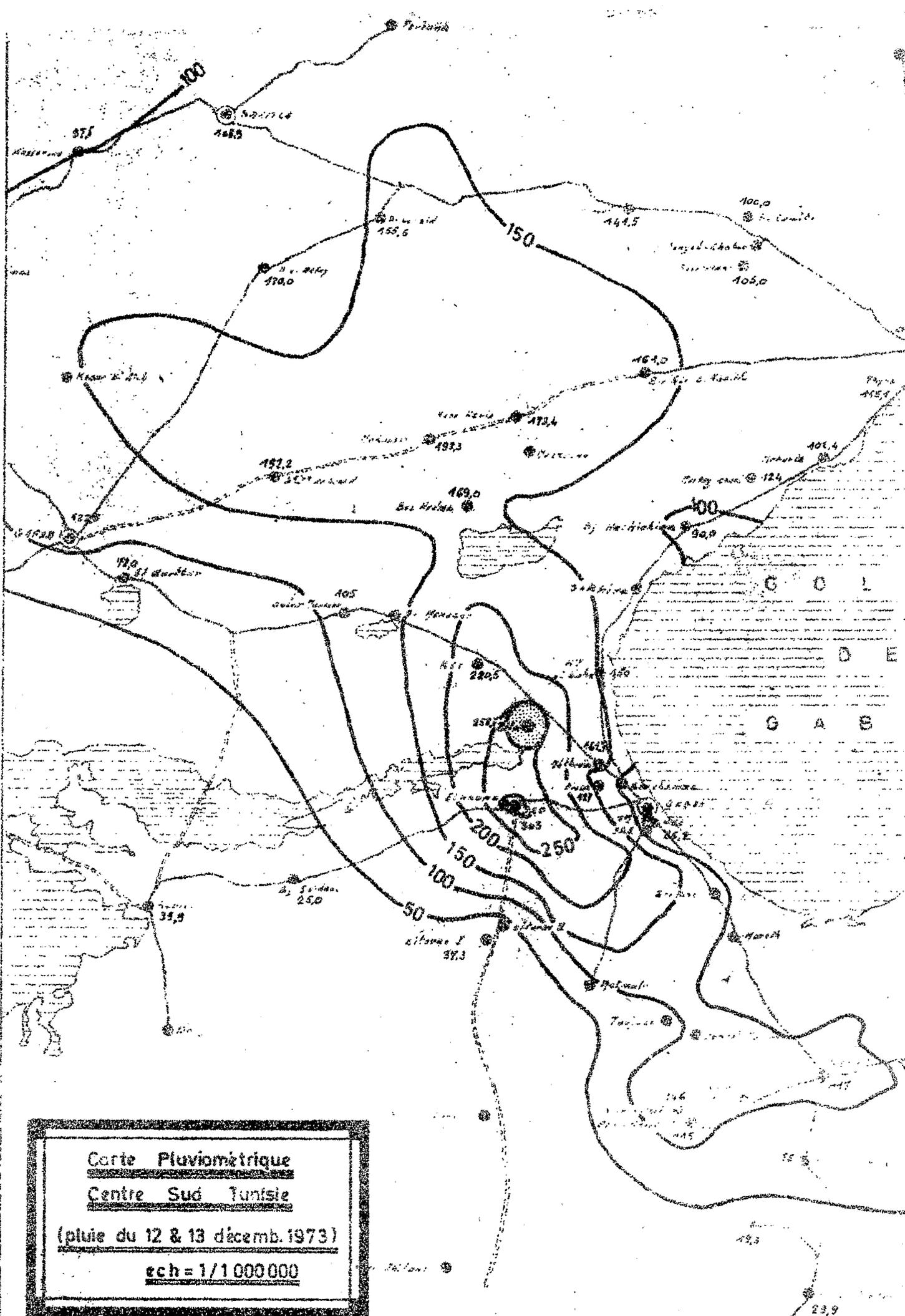


Fig. 4 bis

de El Hamma (303 mm) légèrement au Sud du bassin. Si la zone de pluviométrie supérieure à 250 mm est assez réduite, il n'en reste pas moins que les pluviométries importantes intéressent un territoire très vaste puisque à 80 km de l'épicentre, Maknassy reçoit 196 mm (voir fig. 4bis).

Sur les bassins, la pluie débute le 12 vers 1H40 par une intensité inférieure à 10 mm/h. Les averses se suivent, interrompues par des périodes d'accalmie jusqu'à 7H45 où se déclenche une forte averse, qui va déverser sur le bassin plus de 90 mm en 1H30, avec une intensité maximale sur 5 minutes de 106 mm/h. Puis s'établit une période calme qui se termine vers 14H45 par une pluie moyenne, suivie après 15H45, d'une très forte averse. Son corps principal comporte plusieurs pointes d'intensité, qui vont précipiter entre 15H45 et 19H près de 140 mm avec une intensité maximale de 150 mm/h pendant 5 minutes.

Donc entre 1H40 et 22H, le 12 décembre, les postes pluviométriques des bassins vont enregistrer des totaux allant de 228 à 286 mm (voir Fig.4). La partie Nord-Est paraît favorisée malgré un relief assez mou opposé aux vents dominants. Sur le même type de relief, les postes de l'Ouest n'enregistrent que 228 et 229 mm. La frange montagnaise limitant le bassin au Sud-Ouest (couches supérieures de l'anticlinal redressées à la verticale) semble défavoriser les pluviomètres situés dans cette zone.

Cette particularité peut s'expliquer par l'action des vents en provenance du Nord-Est qui, venant buter sur cette barrière rocheuse, créent des courants ascendants. Les pluviomètres étant implantés sur des sommets, ces courants refoulent les gouttes d'eau et diminuent sensiblement la pluviométrie mesurée. A ce phénomène il faut superposer l'effet des turbulences produites par l'écoulement de l'air autour du profil du pluviomètre ou du pluviographe, fonction des dimensions de cet obstacle. Ainsi le PG 24, situé sur un des pitons dominant le bassin, malgré un calage rigoureux (avant et après les pluies) ne reçoit que 214 mm alors que le pluviomètre 19, moins volumineux et mieux profilé, jouissant d'une exposition identique à 150 m seulement, reçoit 244 mm. Si dans ce cas la différence entre les deux totaux est de 14 %, il est difficile d'en déduire une estimation de l'erreur due à l'action conjuguée des courants ascendants et des turbulences sur les différents profils. Nous nous bornerons à considérer les valeurs relevées aux pluviomètres comme aussi représentatives dans cette partie du bassin que dans les parties à relief très faible.

Hormis la position particulière de ces quelques postes, les autres, s'ils ne bénéficient pas de courants ascendants ou rabattants, n'en sont pas moins soumis à l'action des vents violents qui accompagnent souvent les fortes précipitations. Ces turbulences sont alors produites par les vents latéraux qui perturbent la trajectoire des gouttes d'eau au-dessus de l'entonnoir. De façon à déterminer l'importance de cette erreur, nous avons mis en place à la station météo, trois pluviomètres "Association", respectivement à 3m, 1,5m et pluviomètre au sol. Ce dernier, protégé des vents par une série d'anneaux cylindriques concentriques, est posé dans une fosse.

Nous relevons pour la totalité de l'épisode pluvieux 254 et 253 mm, respectivement aux deux premiers et 281 mm au pluviomètre sol. Un type différent de pluviomètre au sol, de surface plus petite, et légèrement surélevé (15 cm) nous donne 286 mm. L'erreur de mesure, propre au pluviomètre implanté dans les conditions standard est dans ce cas 11 % (pluviomètre à 1,5 m du sol).

Nous passerons sous silence une autre source d'erreur provoquée par les rejaillissements des gouttes d'eau sur les parois intérieures de l'entonnoir du pluviomètre. Il est probable que, vu les intensités maximales de l'ordre de 150 à 200 mm/h, cette erreur n'est pas négligeable.

Dans la suite de l'étude, nous donnerons pour comparaison les résultats avec les deux hypothèses pluviométriques :

- la pluviométrie réelle est la pluviométrie relevée
- la pluviométrie réelle est la pluviométrie corrigée (+ 11 %).

4. LES CRUES

4.1 Station principale : ZITA I

4.1.1 Tarage de la station

Les nombreuses mesures réalisées sur les sections de cette station, au cours des sept crues de la saison 1972-1973, ont fourni un très bon étalonnage des canaux triangulaires et rectangulaires et un tarage correct de la section passerelle jusqu'à la cote maximale de l'année $H = 54$.

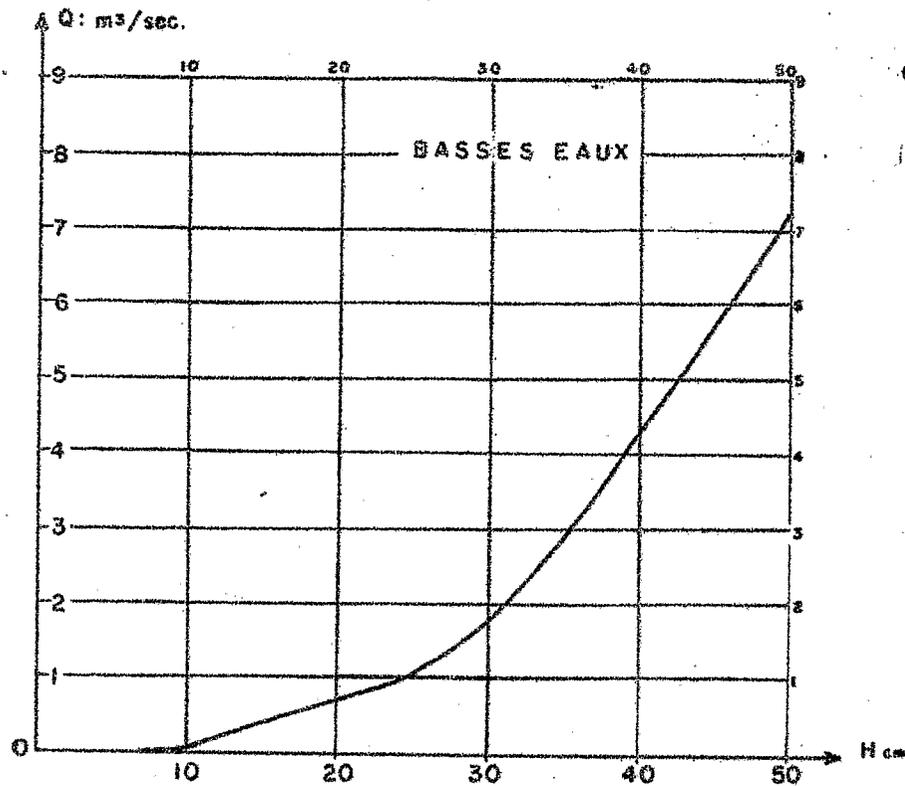
Pendant les crues de décembre, 8 mesures au moulinet jusqu'à la cote $H = 70$ ont permis de tracer la nouvelle courbe de cette section, légèrement différente de la précédente, par suite des petites transformations du lit. Au-delà de cette cote, le matériel utilisé (perche ronde) et les vitesses supérieures à 2 m/s ne permettent plus ces mesures.

Comme cela se présente fréquemment dans le Sud tunisien, où les crues sont rares et violentes, les mesures de hautes eaux ne peuvent être faites qu'aux flotteurs. Deux bases étaient choisies : l'une F_1 de 78 m, répartie de part et d'autre de la station et légèrement modifiée en fin de crue (F'_1), a servi aux mesures de la première tornade. L'autre, utilisée l'après-midi, plus courte (18 m) par suite du manque d'observateurs et mal adaptée au profil de l'écoulement, fournit des résultats très imprécis. Elle se situe immédiatement à l'aval de la passerelle, dans une zone à rupture de pente du fond du lit qui entraîne une accélération appréciable de la vitesse. La pente moyenne de la ligne d'eau sur F_2 est double de celle de F_1 : 0,03. Les vitesses de l'ordre de 6 à 7 m/s donnent des temps de mesure trop courts pour que les erreurs de manipulation soient négligeables. Nous ne prendrons en considération que les mesures sur F_1 et F'_1 .

En dépit du nombre relativement restreint de mesures et des imprécisions sur la position exacte des flotteurs, nous avons défini les courbes des vitesses superficielles sur trois verticales de la section (voir annexe Fig. 21 et 22). En eaux moyennes, de 40 à 80 à l'échelle, elles sont complétées par des mesures de vitesse de surface au moulinet.

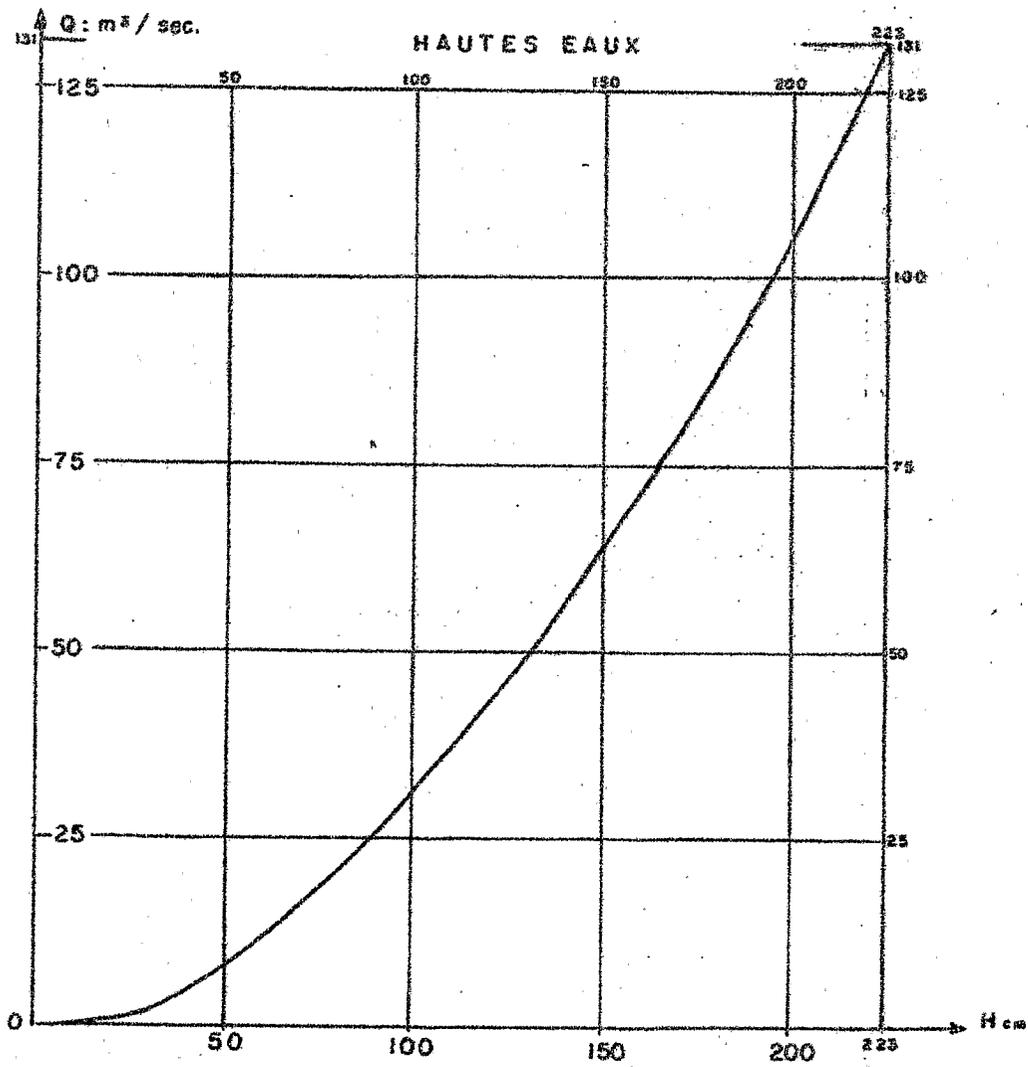
La section mouillée, choisie pour le calcul du débit, est celle du seuil rocheux situé 5 m en aval de la passerelle. Elle présente l'avantage de ne pas se surcreuser pendant la crue et d'être ainsi parfaitement déterminée.

Au-delà de la cote 100, l'écoulement est suffisamment turbulent pour qu'on puisse considérer le rapport $\frac{U}{V_{ms}}$ comme égal à l'unité. En l'absence de mesures le confirmant ou l'infirmant, nous nous contenterons de cette hypothèse généralement admise. La courbe de tarage ainsi définie jusqu'à la cote 223 donne un débit maximum de 131 m³/s (cf. Fig. 5).



COURBES D'ETALONNAGE

STATION I



L'utilisation de la formule de MANNING-STRICKLER à la section amont de la station où l'écoulement et la pente ($i = 0,01$) sont relativement uniformes, donne :

$$U = 5,3 \text{ m/s}$$

avec un coefficient $K = 30$. Les valeurs admises pour les oueds de cette région sont comprises selon l'aspect du lit entre 25 et 40. On en tire un débit maximum de 143 m³/s confirmant les résultats des mesures aux flotteurs.

4.1.2 Les précipitations

Le caractère étendu de ces précipitations leur confère à l'échelle du bassin principal une très bonne homogénéité spatiale et chronologique qui se traduit par un coefficient d'abattement proche de 1. La répartition suffisamment dense et régulière des postes pluviométriques sur le bassin permet d'obtenir une bonne représentation du réseau d'isohyètes d'où on tire la moyenne : 258,3 mm. Par calcul de la moyenne arithmétique, on obtient 256,5 mm.

Au vu de ces résultats, il ne paraît pas utile d'appliquer la méthode de THIESSEN.

P max (mm)	P min (mm)	\bar{P} moy (mm)	$K = \frac{P \text{ moy}}{P \text{ max}}$
286,0	228,0	258,3	0,90

Si l'on compare la forme générale des hyétogrammes aux différents postes pluviographiques, on retrouve les mêmes silhouettes, légèrement décalées, preuve de la progression du front et de son passage sur les divers enregistreurs; ils comportent de façon systématique deux tornades bien individualisées, tant sur le plan de la pluviométrie que par leurs réactions au ruissellement; nous les étudierons séparément et, se basant sur les observations relevées aux trois pluviographes, nous calculerons les hauteurs précipitées par chacune : 99,3 mm et 159,0 mm.

Signalons au passage les corrections faites sur le PG24 qui, vu sa situation particulière, sera considéré comme qualitativement exact, mais quantitativement faux. En le rapportant au pluviomètre le plus proche, nous imposerons une correction de 14 % qui permet d'estimer son hyétogramme réel et ainsi de définir le hyétogramme moyen du bassin (cf. Fig. 7 et 6). Pour cela, à partir du découpage de chaque hyétogramme en périodes de 5 minutes, nous opérerons par la méthode de la coïncidence des maximums. Conséquence logique de l'homogénéité des événements pluviométriques, le hyétogramme obtenu est similaire à ses composants : compact le matin et atteignant son maximum de 150 mm/h par pointes successives pour l'après-midi.

4.1.3 Le ruissellement

Deux crues bien séparées ont transité le 12 décembre par la station principale. La première débute à 5H40 avec un débit faible qui, varie entre 1 et 4 m³/s jusqu'à 8H où débute une averse intense et soutenue (voir Fig.6). Le débit augmente lentement jusqu'à 8H20, fourni par les petits apports locaux. Au-delà les premières réactions du bassin se manifestent, le débit croît rapidement : 2,4 m³/s par minute ($\frac{dQ}{dt} = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}^2$), provoquant une montée rapide des eaux (4,6 cm/minute). Le débit maximum, 84 m³/s, correspond à la fin de la séquence pluvieuse vers 9H. Aussitôt s'annonce la décrue, pratiquement symétrique de la crue; à 10H le débit est revenu à sa valeur initiale, 1 m³/s, la crue est terminée. Notons au passage la forme régulière et symétrique de l'hydrogramme, due en grande partie à la régularité dans le temps et dans l'espace de l'averse génératrice.

La deuxième crue débute à 16H (cf. Fig.7). Des pluies très violentes poussées par des vents tourbillonnaires, de type cyclonique, s'abattent sur un sol déjà bien imbibé par les averses du matin. La réponse est rapide, elle va suivre les fluctuations des précipitations et par paliers successifs va atteindre le débit maximum de 131 m³/s peu après 17H. La surface de l'oued se présente alors sous forme de vagues qui déferlent par dessus la passerelle de jaugeage. Des variations rapides de petite amplitude se superposent à un mouvement ondulatoire de la surface de période et d'amplitude plus grande (40 cm). La décrue intervient, très brutale (13 m³/s par minute, ($\frac{dQ}{dt} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}^2$) soit près de 12,5 cm/minute), seulement interrompue par deux autres pointes de crues dues à des averses de la traîne. Elle prend fin vers 20H.

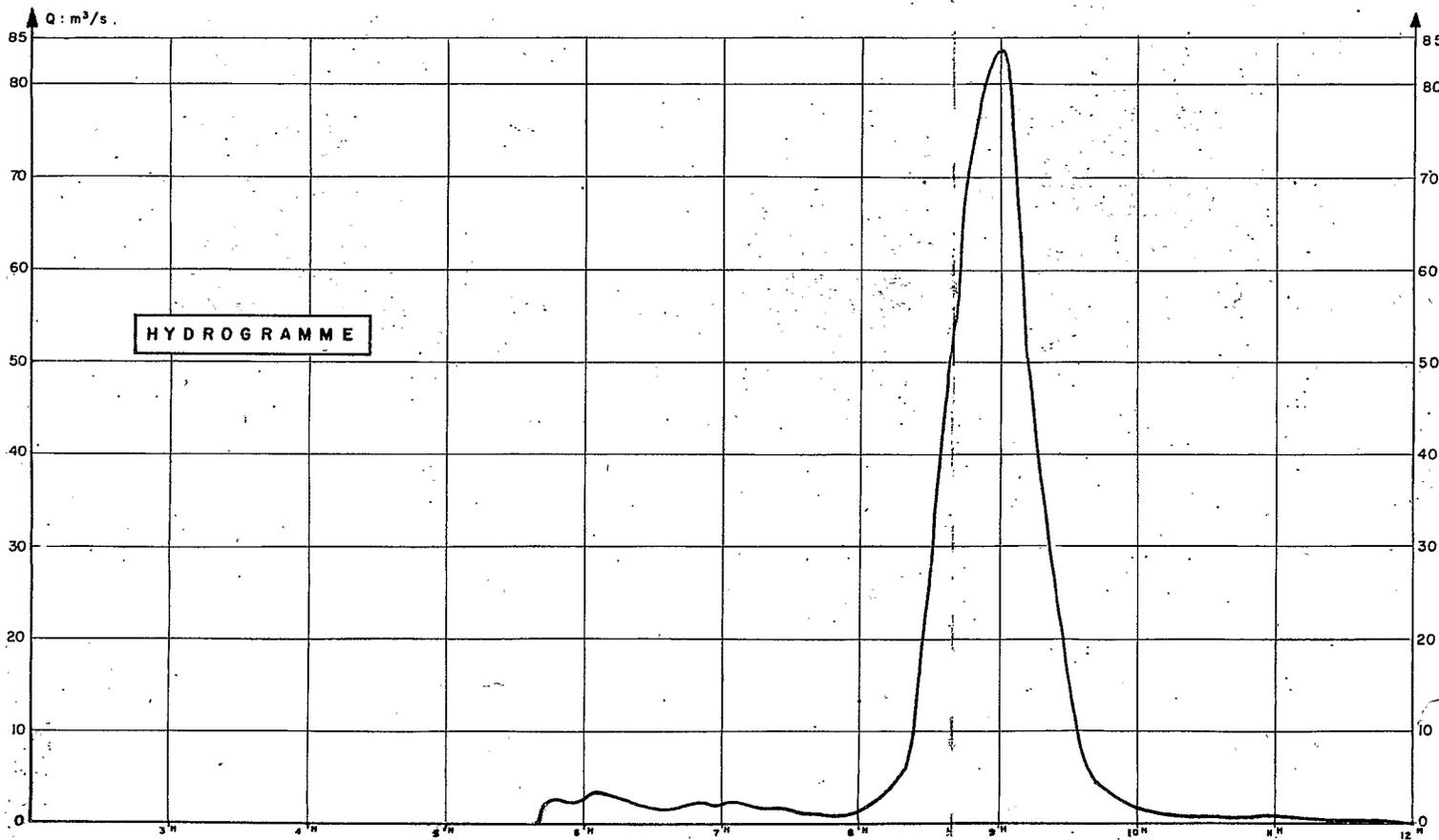
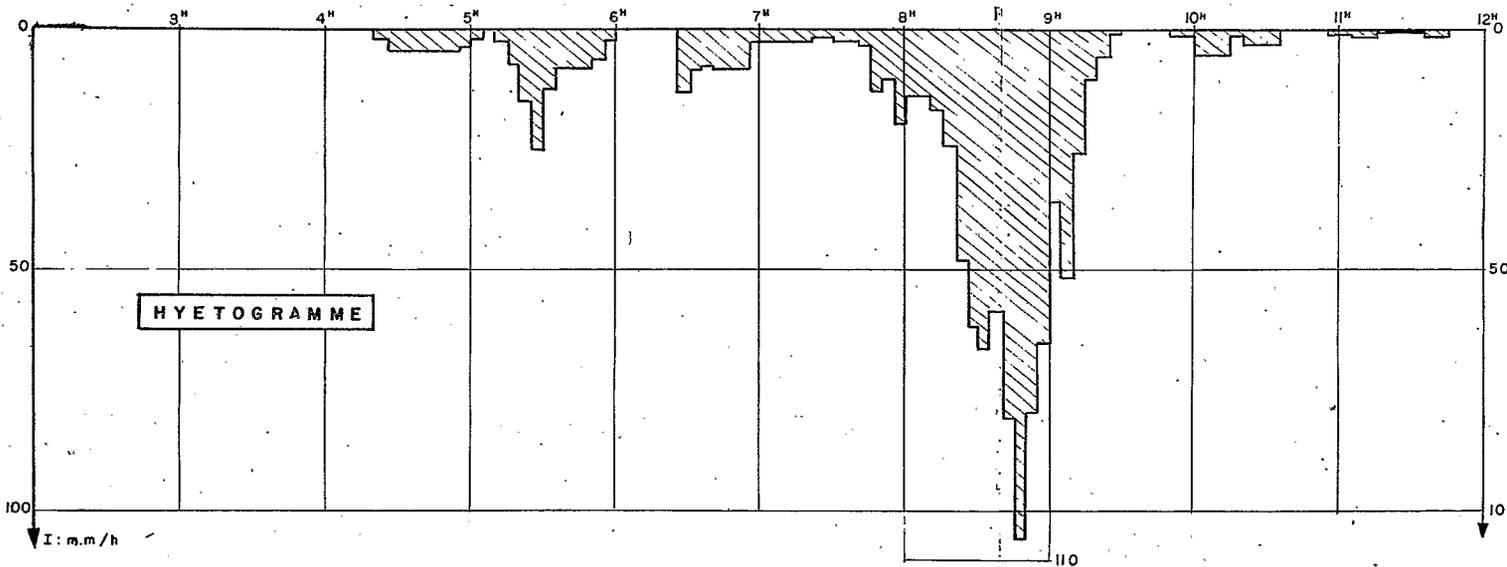
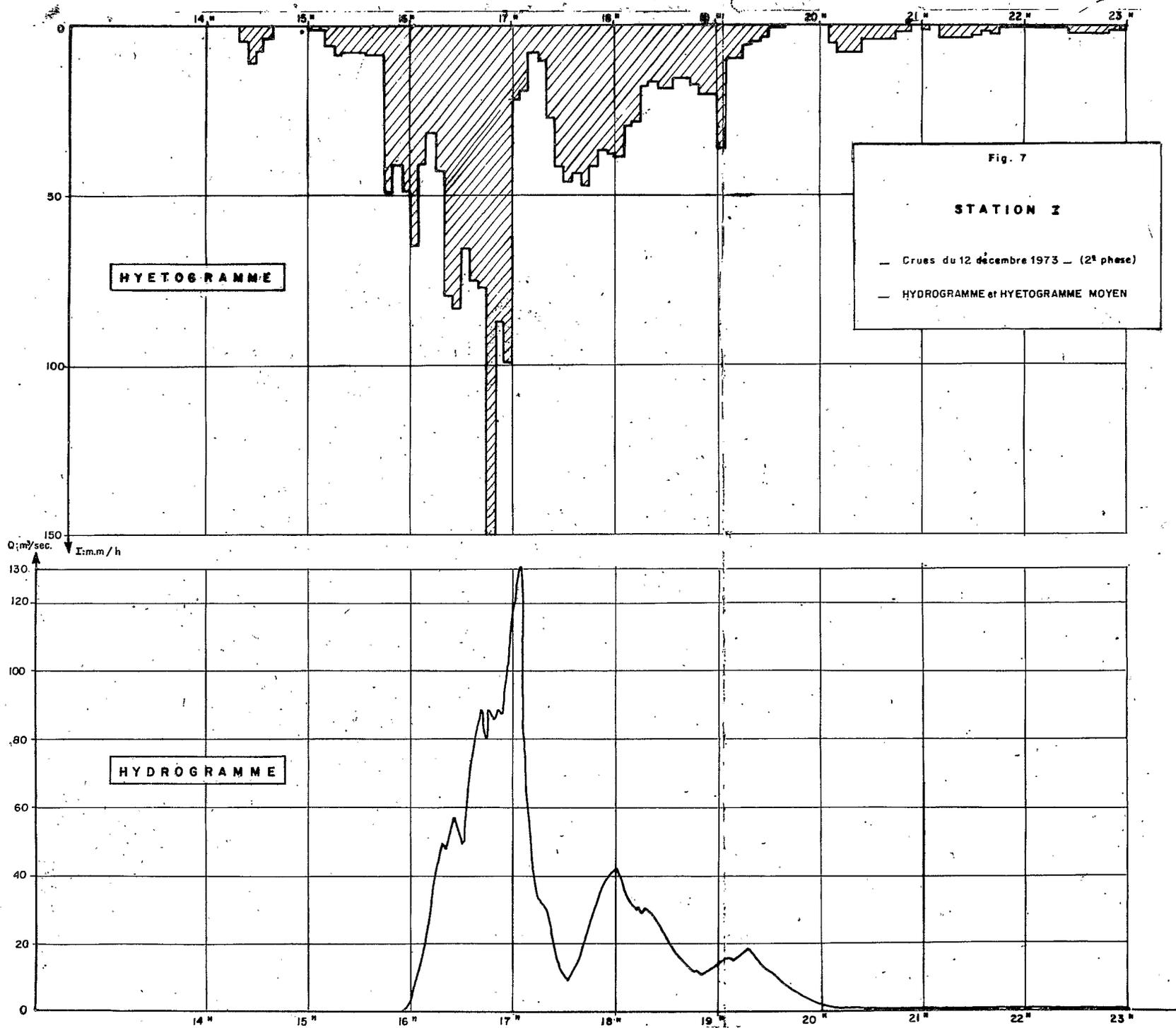


Fig. 6

STATION I

— Crues du 12 décembre 1973. (1^{re} phase)

HYDROGRAMME et HYETOGRAMME MOYEN



L'étude des hydrogrammes va nous fournir :

- le volume ruisselé : V_R
- la lame d'eau ruisselée : h_R
- le coefficient de ruissellement : K_R
- le débit spécifique maximum : q_{max} .

Nous présentons aussi les résultats dans le cas d'une pluviométrie "corrigée" en fonction des observations relevées au pluviomètre sol : h'_p et K'_R

	h_p (mm)	V_R (m ³)	h_R (mm)	K_R %	h'_p (mm)	K'_R %	Q_{max} (m ³ /s)	q_{max} (m ³ /s/ km ²)
1ère tornade	99,3	245400	76,7	77	110,2	70	84	26,2
2ème tornade	159,0	493200	154,1	97	176,5	87	131	41
Journée du 12.12.73	1258,3	1738600	1230,8	89	1286,7	80	131	41

Remarquons l'importance des coefficients de ruissellement qui, dès la première tornade, atteignent des valeurs exceptionnelles pour ces régions. L'intervention de la deuxième tornade, quelques heures plus tard, sur un sol encore saturé, provoque un coefficient voisin de 100 % et un débit spécifique non moins remarquable. Si l'on considère les résultats corrigés, les valeurs obtenues, quoique très fortes, paraissent plus plausibles.

On peut en tirer aussi des indications sur les caractéristiques du bassin. Les deux tornades étant bien séparées, nous possédons deux crues indépendantes : la première figurée par un corps d'averse compact et régulier, la deuxième composée de successions d'averses ininterrompues. Les conditions pluviométriques étant plus favorables pour la première, il est certain que les caractéristiques du ruissellement seront plus représentatives.

- t_u : durée de pluie utile
- h_u : pluie utile
- t_p : temps de réponse
- t_m : temps de montée
- t_b : temps de base
- t_c : temps de concentration

	t_u	h_u (mm)	t_p (minutes)	t_m (minutes)	t_b	t_c (minutes)
1ère tornade	1H35	67	16	59	1H50	30
2ème tornade	1H25	90	28	69	4H20	76

Il est intéressant aussi de noter la réaction du bassin aux fortes intensités : le débit maximum correspondrait à une pluie d'intensité de 147 mm/h tombant uniformément sur le bassin durant un temps supérieur au temps de réponse et ruisselant à 100 %. Or l'intensité maximale sur cinq minutes atteint 150 mm/h. C'est dire l'importance du ruissellement au cours de cette phase de l'averse, auquel vient probablement se superposer un phénomène hydraulique que nous étudierons dans un chapitre ultérieur.

4.1.4 Transport en suspension

La méthode utilisée pour ces mesures est une méthode classique de gravimétrie : les prélèvements sont faits au cours du passage de la crue sur trois verticales de la section. Ils sont ensuite traités au laboratoire et des analyses de sols faites sur 1 ou 2 gros prélèvements de sédiment.

A partir de ces résultats nous déterminons la courbe de variation de la concentration et le turbidigramme (cf. Fig.8). La concentration maximale se situe autour du maximum de débit avec 61 g/l pour la première crue. Nous ne possédons aucun prélèvement concernant la deuxième; la courbe de concentration des matières solides en fonction du débit, tracée pour la crue du matin fait apparaître un fuseau caractérisant l'aspect non univoque des relations liant ces deux paramètres.

Partant de la courbe médiane, supposée univoque et représentative, que nous appliquons à l'hydrogramme de la deuxième crue, nous obtenons le turbidigramme. Cette opération fait intervenir beaucoup d'hypothèses et particulièrement que les deux averses principales engendrent des réactions similaires des surfaces érodées. Or il est probable que les fortes intensités de l'après-midi ruissellent sur un sol rendu plus mou par les pluies précédentes produisant une érosion proportionnellement plus forte. A l'inverse, les matériaux fins, d'origine éolienne ou détritique, emportés par la première crue, ne seront plus disponibles pour la seconde. Néanmoins, on peut considérer l'ordre de grandeur comme assez représentatif du phénomène.

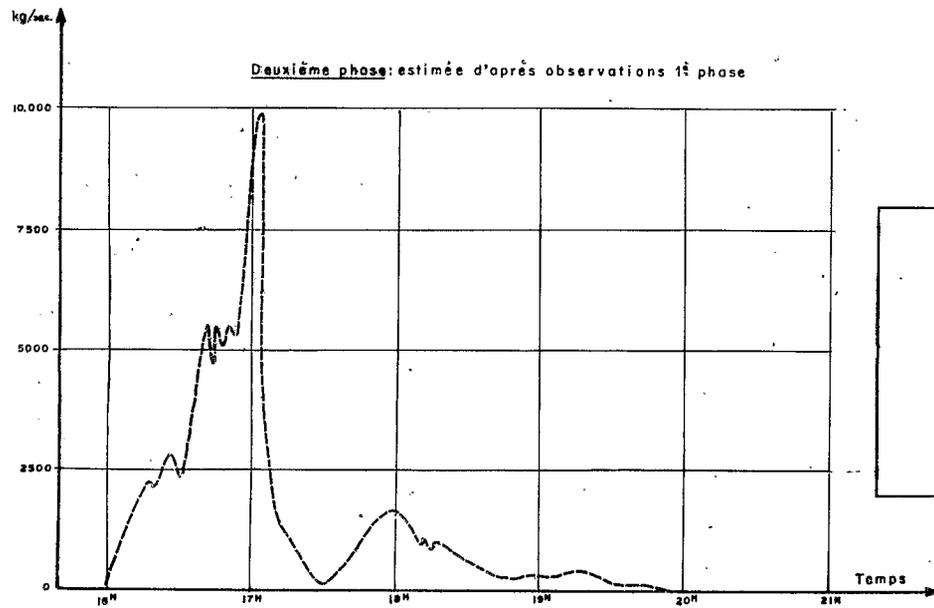
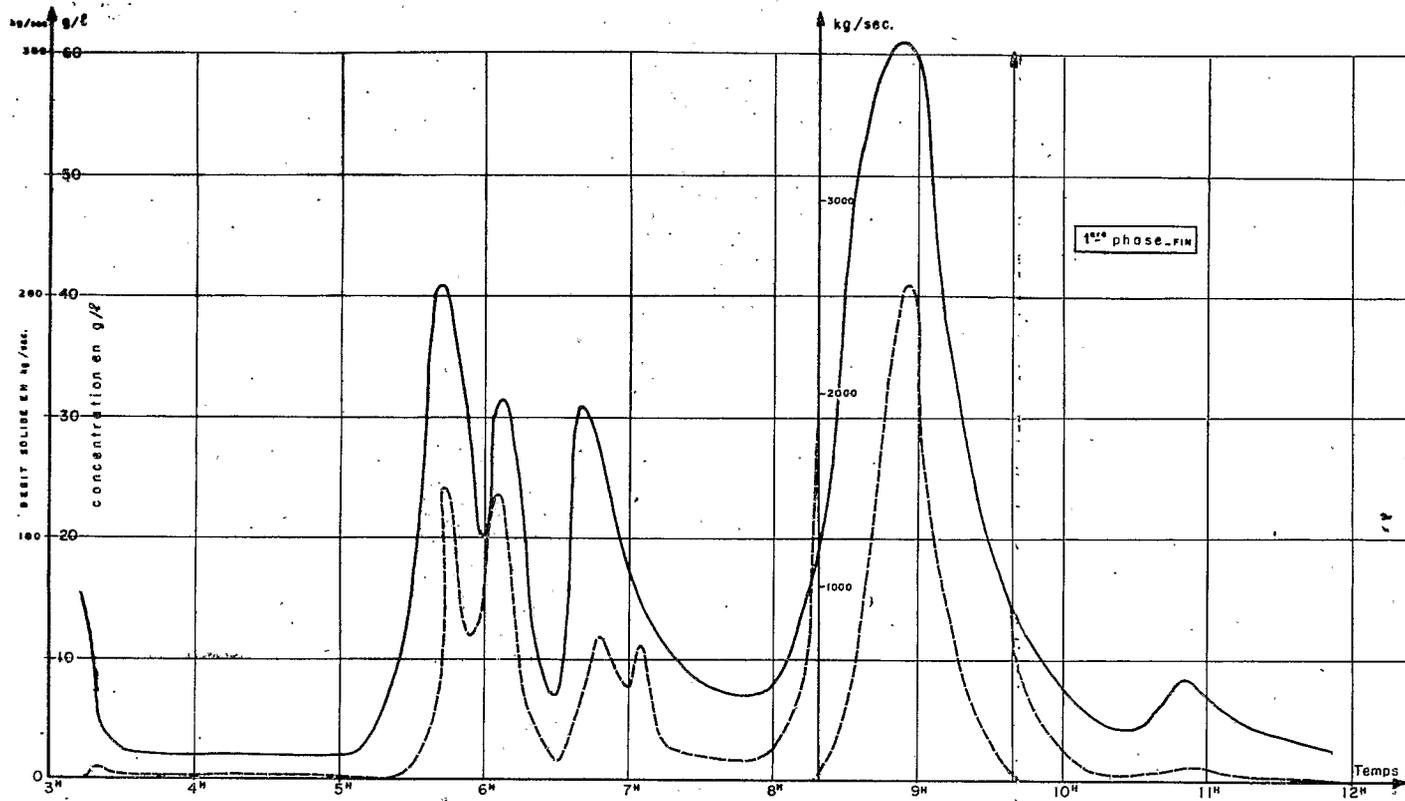


Fig. 8
 BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA
 STATION I
 Crue du 12 décembre 1973
 TRANSPORT EN SUSPENSION
 —.....concentration en g/l.
 - - - - -debit solide en kg/sec.

De ces turbidigrammes nous allons déduire :

- le débit solide maximal Q_s max
- le poids de matière transportée P_s
- le poids rapporté à l'unité de surface P_s
- l'épaisseur de matière enlevée rapportée à la projection horizontale du bassin "e", l'érosion étant supposée uniformément répartie sur la surface.

La densité des sédiments est prise égale à 1,5 , correspondant à la densité apparente du sol en place.

	C max (g/l)	C moy (g/l)	Q_s max (tonne/s)	P_s (tonnes)	P_s (t/ha)	e (mm)
1ère tornade	61	46	5,2	11300	35,3	2,35
2ème tornade	(87)	(47,6)	(10,0)	(23500)	(73,5)	4,90
Journée du 12.12.73	(87)	(47,1)	(10,0)	(34800)	(108,8)	7,25

Il est bien évident que l'épaisseur enlevée de 7 mm est une valeur fictive. Elle permet néanmoins de situer l'importance du phénomène. L'épaisseur rapportée à la surface développée du bassin serait bien inférieure et surtout il faudrait évaluer les contributions respectives de l'érosion de surface et de l'érosion le long des berges et sur le fond des lits.

La composition de ces sédiments varie sensiblement au cours de la crue. La proportion d'éléments grossiers croît avec le débit alors que celle de matières organiques diminue. Au maximum nous trouvons :

Argile : 19 %
 Limon fin : 21,5 %
 Limon grossier : 26,0 %
 Sable fin : 28,0 %
 Sable grossier : 1,0 %
 Matières organiques : 0,96 %

Le reliquat étant formé de gypse et des sels solubles.

4.1.5 Salinité

Sur les mêmes échantillons prélevés pour les débits solides, sont faites après filtration, diverses analyses pour déterminer les caractéristiques chimiques des eaux écoulées : salinité, résistivité, PH, et composition ionique : Cl, SO₄, HCO₃, Na, Mg, K et Ca.

Seuls ont pu être exploités les résultats de la première tornade à partir desquels nous ferons une estimation pour la crue de l'après-midi. Le tracé de la salinité (RS) en fonction du temps (cf. Fig.9), fait apparaître une augmentation brutale en début de crue, vers 5H30 et une deuxième à partir de 8H au début du corps principal de crue. Cette forte croissance paraît surprenante à priori puisque la salinité varie en général en fonction inverse du débit liquide. On l'explique par le fait que, lors des fortes intensités, les vitesses de cheminement des particules sont plus rapides et l'eau n'ayant pas le temps de pénétrer dans les horizons superficiels ne peut se charger en sels. Dans l'étude comparative des stations du Zita, nous analyserons les causes de cette anomalie.

Pour la deuxième crue, nous avons supposé la salinité égale à la salinité moyenne du corps principal de la première crue. Nous en tirons les indications suivantes :

!	! C au max !	! Q _c max !	! P _c !	! P _c !	! C moy !
!	! de la crue !	! (Kg/s) !	! (tonnes) !	! (t/ha) !	! (g/l) !
!	! (g/l) !	!	!	!	!
! 1ère tornade !	! 2,4 !	! 200 !	! 571 !	! 1,78 !	! 2,32 !
! 2ème tornade !	! (2,4) !	! (310) !	! (1180) !	! (3,69) !	! (2,4) !
! Journée du !	! (2,4) !	!	! (1751) !	! (5,47) !	! (2,37) !
! 12.12.73 !	!	!	!	!	!

Ces salinités, bien qu'importantes, n'ont rien d'exceptionnel pour ces régions à sols très riches en gypse. Il est courant d'observer sur les oueds du Sud tunisien, en crue, des salinités comprises entre 0,2 et 2 g/l selon la nature des sols du bassin et en étiage 6 à 7 g/l. Dans certaines régions, on peut dépasser 50 g/l. Sur le bassin, trois jours après le début des crues, le 15 décembre, on mesure 12,2 g/l à la station I.

Fig. 9

BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA

Crue du 12 décembre 1973. (1^{re} phase)

STATION I

(TRANSPORT EN SOLUTION)

— débit en solution

— concentration

Résidu sec
en mg/l.

kg/sec

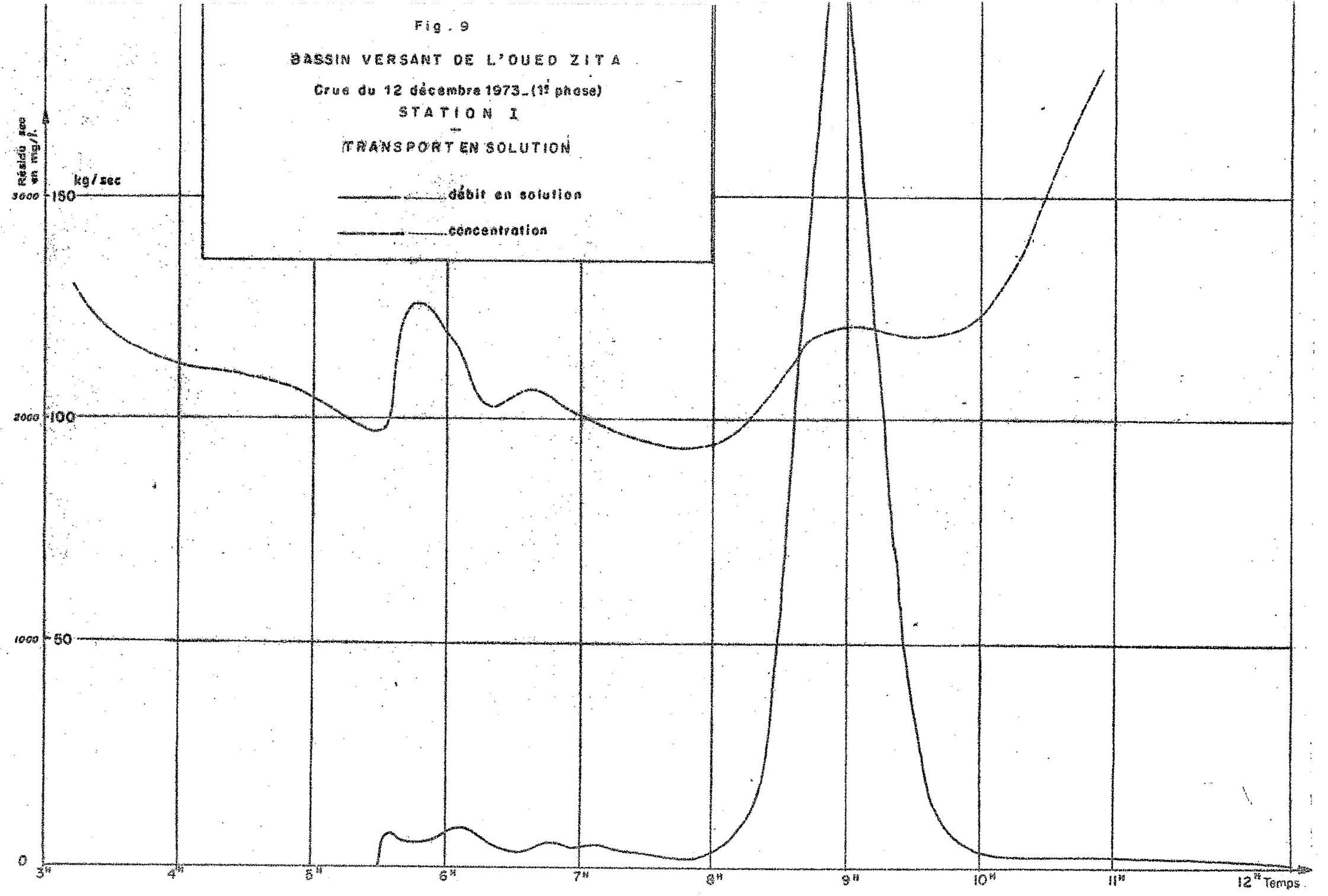
3000 150

2000 100

1000 50

0

5^h 4^h 3^h 6^h 7^h 8^h 9^h 10^h 11^h 12^h Temps



La composition ionique ($\frac{Cl}{SO_4}$ et $\frac{Na + K}{Ca + mg}$) des eaux de ruissellement varie peu au cours de la crue; on ne remarque pas de mise en solution préférentielle des chlorures par rapport aux sulfates. La composition type du bilan ionique (en meq) peut être donnée par le tableau ci-après :

!	Ca	!	Mg	!	Na	!	K	!	So ₄	!	Cl	!	HCO ₃	!	PH	!
!	26,4	!	2,4	!	2,3	!	0,13	!	30,0	!	2,0	!	1,3	!	7,15	!

Nous voyons que les sulfates représentent 90 % des sols, en raison de la prédominance des sols gypseux (CaSO₄) sur le bassin, les chlorures 6 %, le reste étant dû aux bicarbonates.

4.1.6 Transports de fond

Bien que nous ne possédons aucune mesure directe des matériaux charriés, certains indices laissent à penser qu'ils sont très importants :

- Creusement du lit

Pour connaître les mouvements du fond du lit à la station au cours des crues et déterminer ainsi la section mouillée, nous avons placé à l'intérieur du matériau constituant ce lit (sable et gravier), des petites briques superposées, repérées par un numéro et nivelées. La plus basse était enterrée à 45 cm sous la surface du lit, la plus haute affleurerait.

Après les crues du 12 décembre, les briques enfouies au milieu et sur la rive gauche ont été emportées; seules celles qui étaient enterrées à plus de 19 cm, sur la rive droite, sont demeurées en place.

Nous avons retrouvé, à 2 km à l'aval, dans la zone d'épandage de l'oued, 3 briques initialement placées à 13 et 19 cm en dessous de la surface du lit, au milieu et sur la rive gauche. D'autres morceaux ont été retrouvés, mais trop endommagés pour être identifiés.

D'après les mesures de profondeur faites durant les crues de la saison 1972-73, il semble que le creusement s'effectue au cours de la crue, sensiblement avant le maximum et qu'il y ait remblaiement progressif jusqu'à la fin de la décrue.

- Transport d'un bloc placé à l'amont de la station

Un bloc rocheux d'une dizaine de tonnes, en partie enterré dans le lit, a été traîné sur 38 mètres. Sa forme parallélépipédique aplatie et sa nouvelle position excluent à priori un roulage sur le fond. Cela peut donner une idée de l'énergie mise en jeu par l'écoulement.

4.2 Station secondaire : ZITA II

4.2.1 Tarage de la station

Rappelons que l'équipement hydraulique de cette station se compose d'un déversoir à mince paroi triangulaire, situé à la sortie d'une fosse à sédiments munie d'un brise vitesse, et d'un seuil épais situé en aval. Ces deux jaugeurs sont séparés par un dispositif régulateur de vitesse.

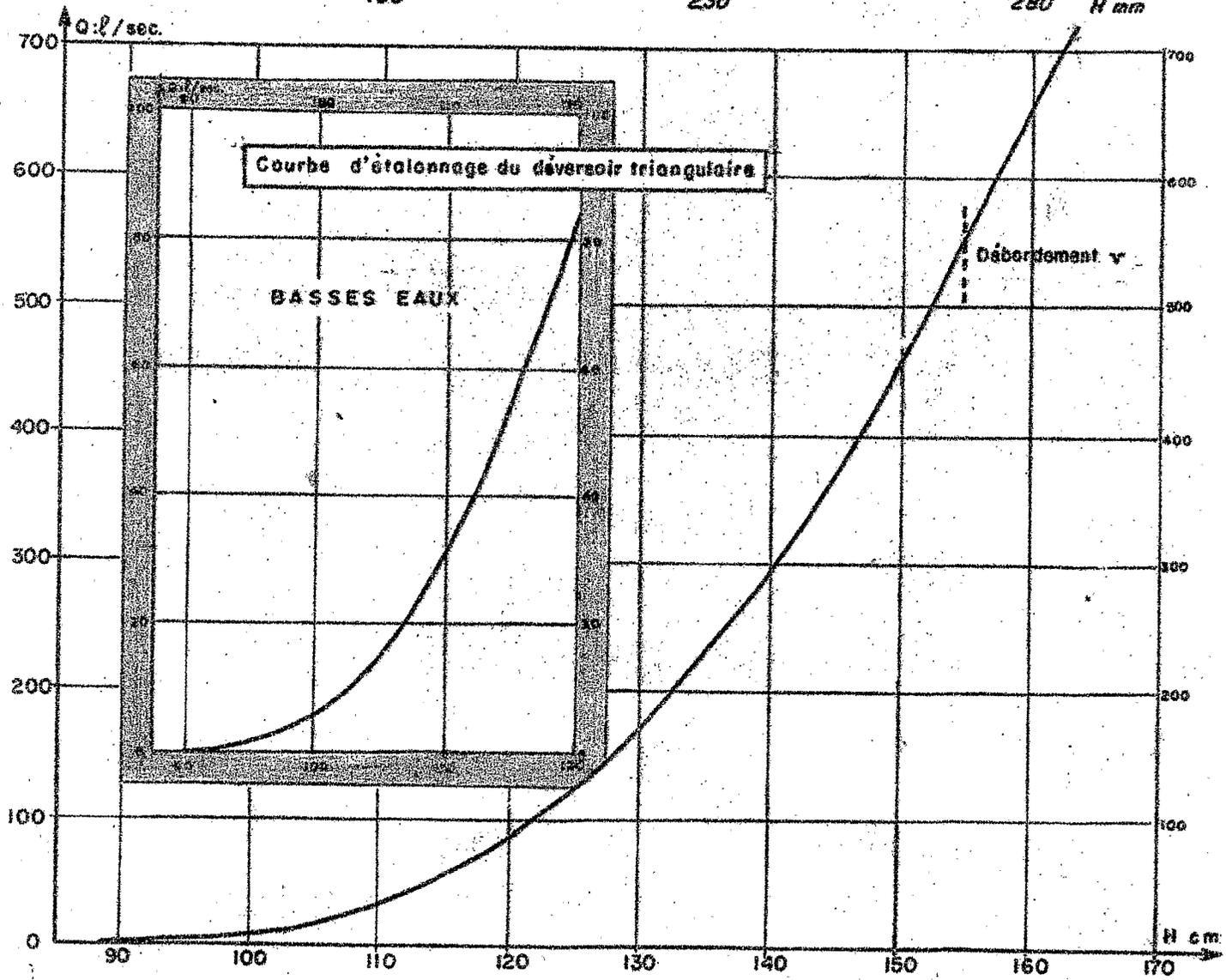
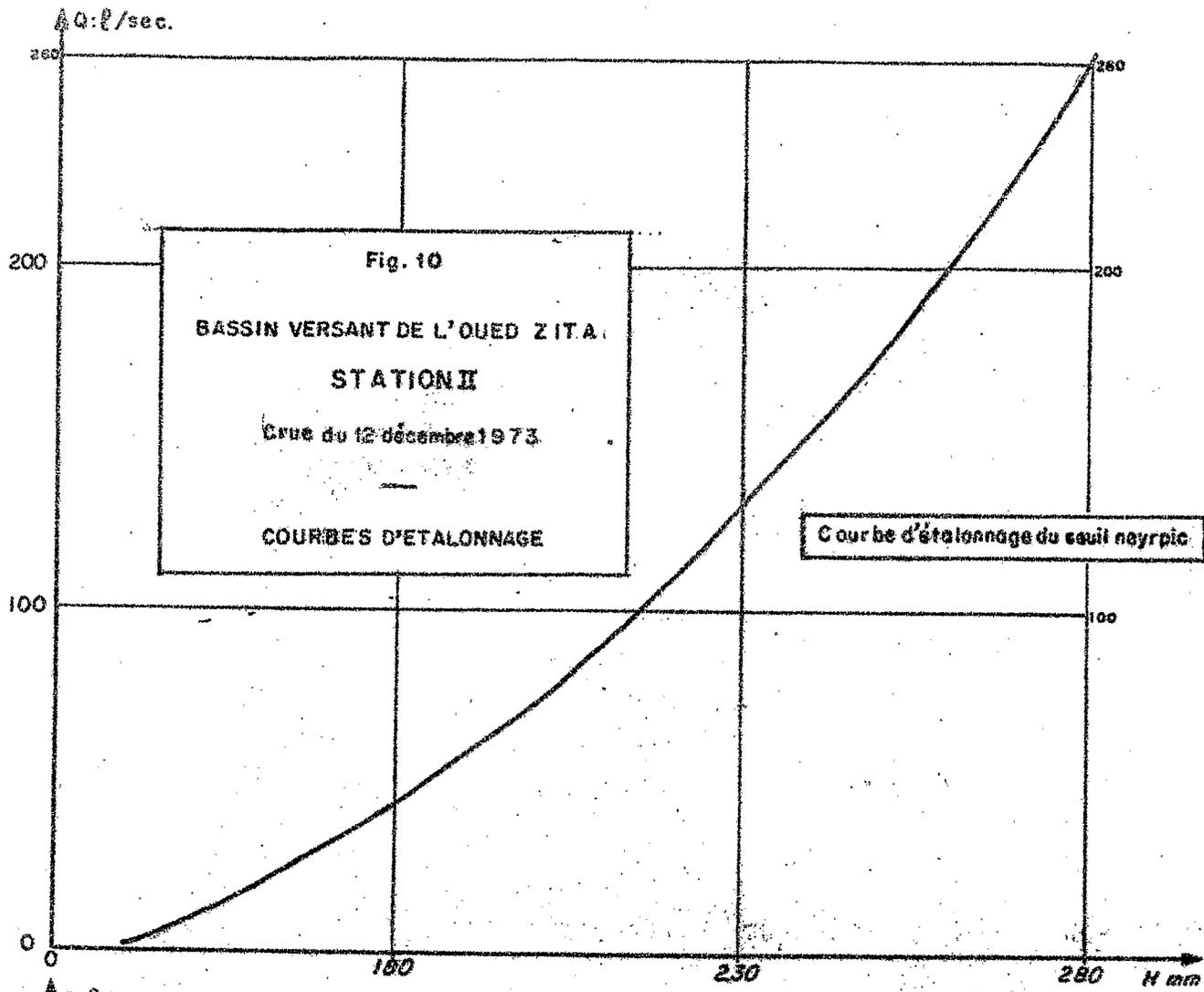
Le tarage du déversoir triangulaire est établi à partir de la formule de GOURLEY :

$$Q = 1,32 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad h^{2,47}$$

avec $\alpha = 100^\circ$. Au-delà de la cote $H = 156,5$, le déversoir s'élargit brusquement à la largeur de la fosse. On calcule alors les déversements latéraux par assimilation à des lames rectangulaires sans contraction latérale (cf. Fig.10). Cette approximation ne porte que sur la fraction des débits déversés et seulement durant 7 minutes autour du maximum.

Le tarage du seuil épais est bien connu à partir des courbes données par le constructeur dans une certaine gamme de débits, fonction de la hauteur de pelle de seuil (voir Fig.10). La zone de bonne précision s'étend dans le cas présent de 13 à 260 l/s. Au-delà les hypothèses d'écoulement ne sont plus applicables et la précision devient aléatoire.

Au cours de la crue, les lectures simultanées aux deux échelles, nous donnent une série de couples de hauteurs à partir desquels nous en déduisons une corrélation (cf. Annexe Fig.23). Les conditions souvent difficiles d'observation, l'inexpérience des agents, expliquent un certain nombre de points aberrants. Néanmoins il est aisé de tracer la courbe de corrélation des hauteurs aux deux échelles et d'en tirer les corrélations des débits mesurés sur les deux dispositifs. Elle se présente sous la forme d'une droite à 45° , confirmant ainsi l'exactitude quasi certaine des mesures, pour les débits



inférieurs à 260 l/s. Par extrapolation, on supposera la formule de GOURLEY vérifiée pour les débits supérieurs.

4.2.2 Les précipitations

Elles sont mesurées par deux pluviomètres et un pluviographe. Par suite de sa position légèrement marginale et des erreurs dues au principe de la mesure, nous ne tiendrons compte de ce dernier que pour l'étude qualitative des averses. La pluviométrie moyenne sera calculée à partir des deux pluviomètres, plus représentatifs des deux parties du bassin : la partie Nord, à pente faible, la partie Sud, composée d'une falaise, de grossières colluvions gypseuses et d'un piémont comparable à l'autre partie.

Cette disposition asymétrique du profil en travers du bassin ajoute une incertitude supplémentaire à la pluviométrie moyenne. L'altitude de la limite Sud du bassin étant nettement supérieure à celle du Nord, l'aire de réception de la pluie sera fonction de la pente des trajectoires des gouttes. Par vent fort, une pluie d'intensité connue précipitera un volume différent selon que le vent vient du Nord ou du Sud. Dans le cas présent, la proximité du cyclone provoquant un régime de vent tourbillonnaire, nous constaterons seulement que l'appareil situé au pied de la falaise enregistre un total légèrement inférieur à l'autre.

	P ₁₅	P ₁₈	P _m	PG 23
	(mm)	(mm)	(mm)	enregistré (mm)
1ère tornade	109,5	102,6	106,1	100,5
2ème tornade	165,5	166,0	165,7	162,0
Journée du 12.12.73	275,0	268,6	271,8	262,5

Comme sur l'ensemble du bassin principal, les épisodes pluvieux sont nettement séparés et présentent la même configuration. Un corps principal de 45 minutes d'intensité supérieure à 55 mm/h précédé de deux brèves averses de 30 mm/h le matin. L'après-midi des intensités allant de 30 à 156 mm/h durant 75 minutes et suivies d'une traîne (voir Fig. 11 et 12).

Supposons que ces pointes d'intensité, prises sur 5 minutes, persistent durant un temps supérieur au temps de réponse du bassin.

Nous devrions obtenir théoriquement un débit inférieur ou égal à 423 l/s le matin et 611 l/s l'après-midi. Nous verrons ce qu'il en est en réalité au paragraphe suivant.

4.2.3 Le ruissellement

Etant donné la surface réduite, à peine supérieure à 1 ha, de ce bassin, les moindres sollicitations pluviométriques sont répercutées à la station. Ainsi obtient-on des hyétogrammes et hydrogrammes homéomorphes. Ce dernier présente une allure compacte malgré des pointes de crue secondaires (Fig. 11) et une série de maximums l'après-midi culminant à 712 l/s (Fig.12).

Hormis un léger débordement des digues durant quelques secondes et une mise en charge de l'entrée de la fosse aux forts débits, l'installation a parfaitement fonctionné. L'aspect des hydrogrammes n'offre pas de particularité excepté ce qui a déjà été signalé :

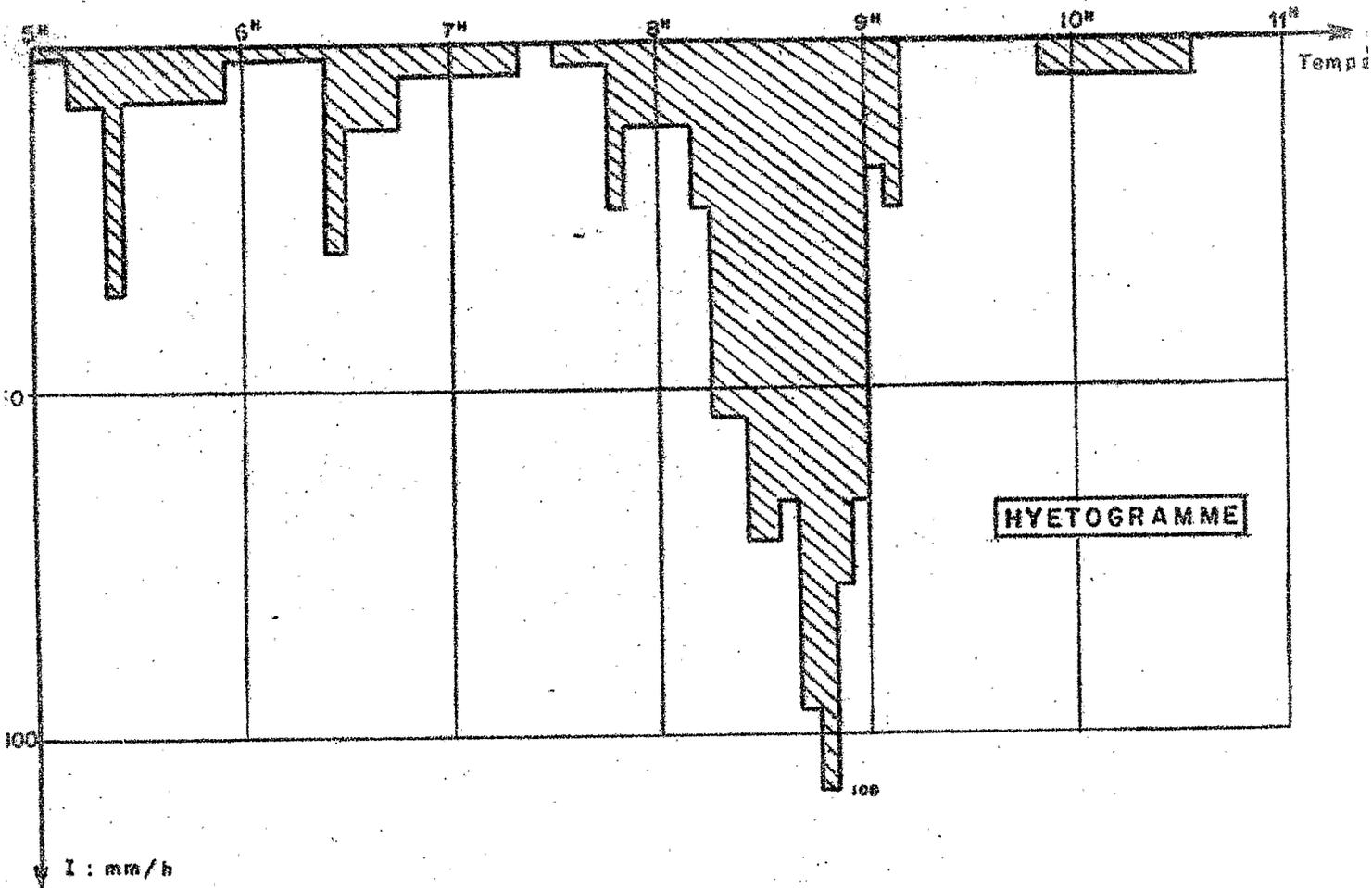
- symétrie de la crue et de la décrue
- réponse immédiate aux variations d'intensité.

Nous en déduisons les caractéristiques du ruissellement :

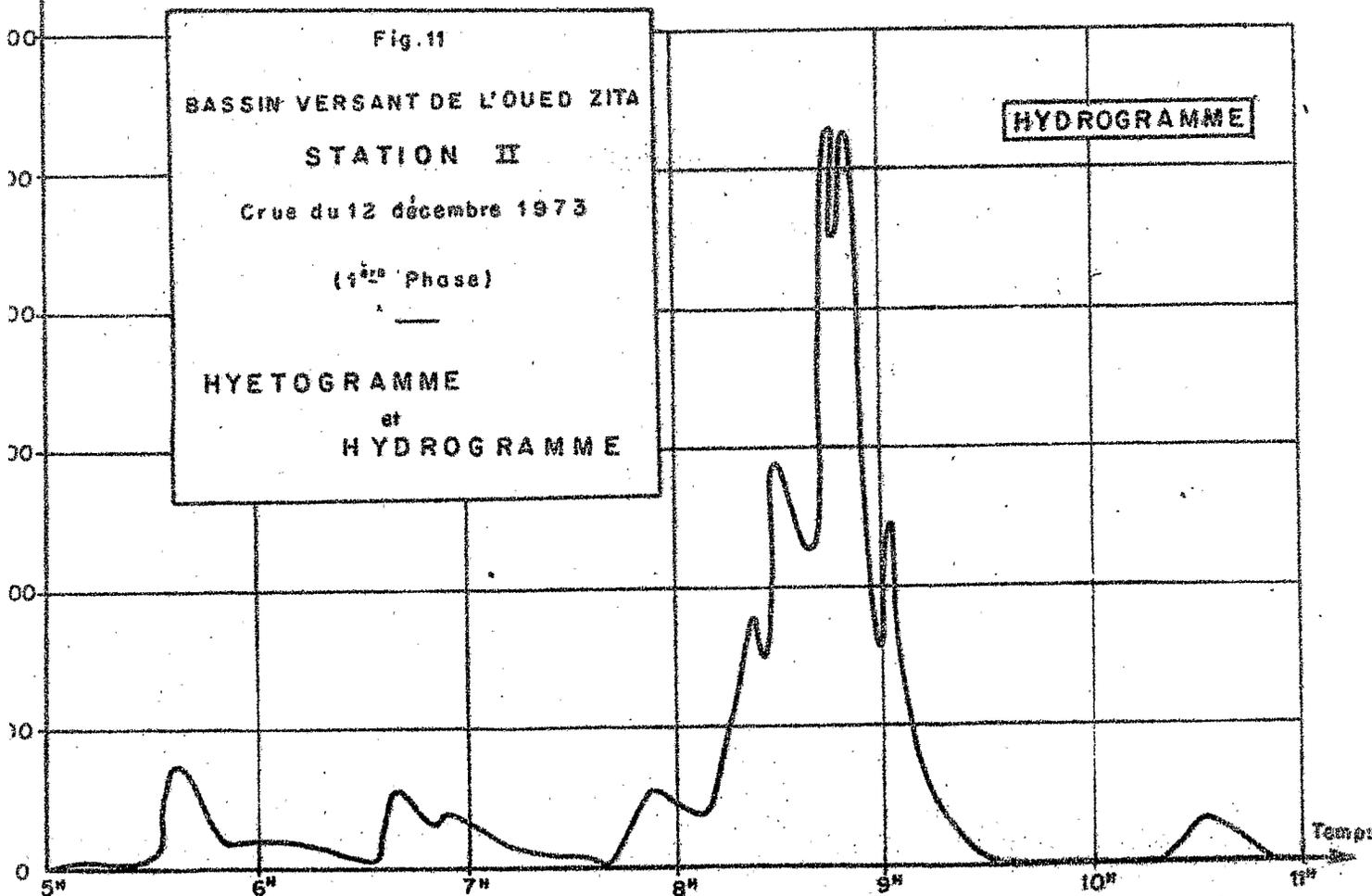
- volume ruisselé : V_R
- hauteur ruisselé : h_R
- coefficient du ruissellement : K_R
- débit spécifique maximum : q_{max}
- coefficient de ruissellement : K'_R et K''_R (à partir de la pluviométrie corrigée)

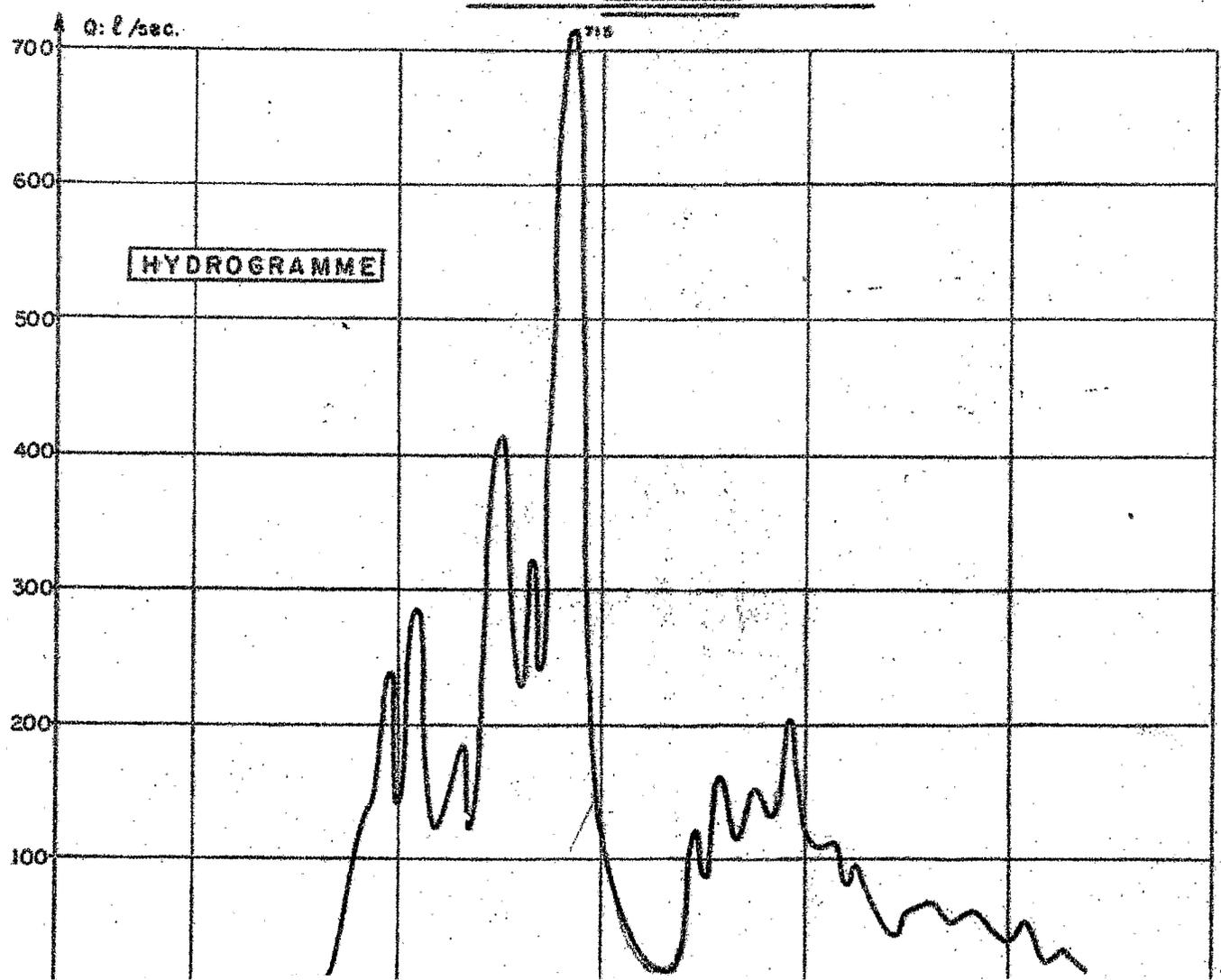
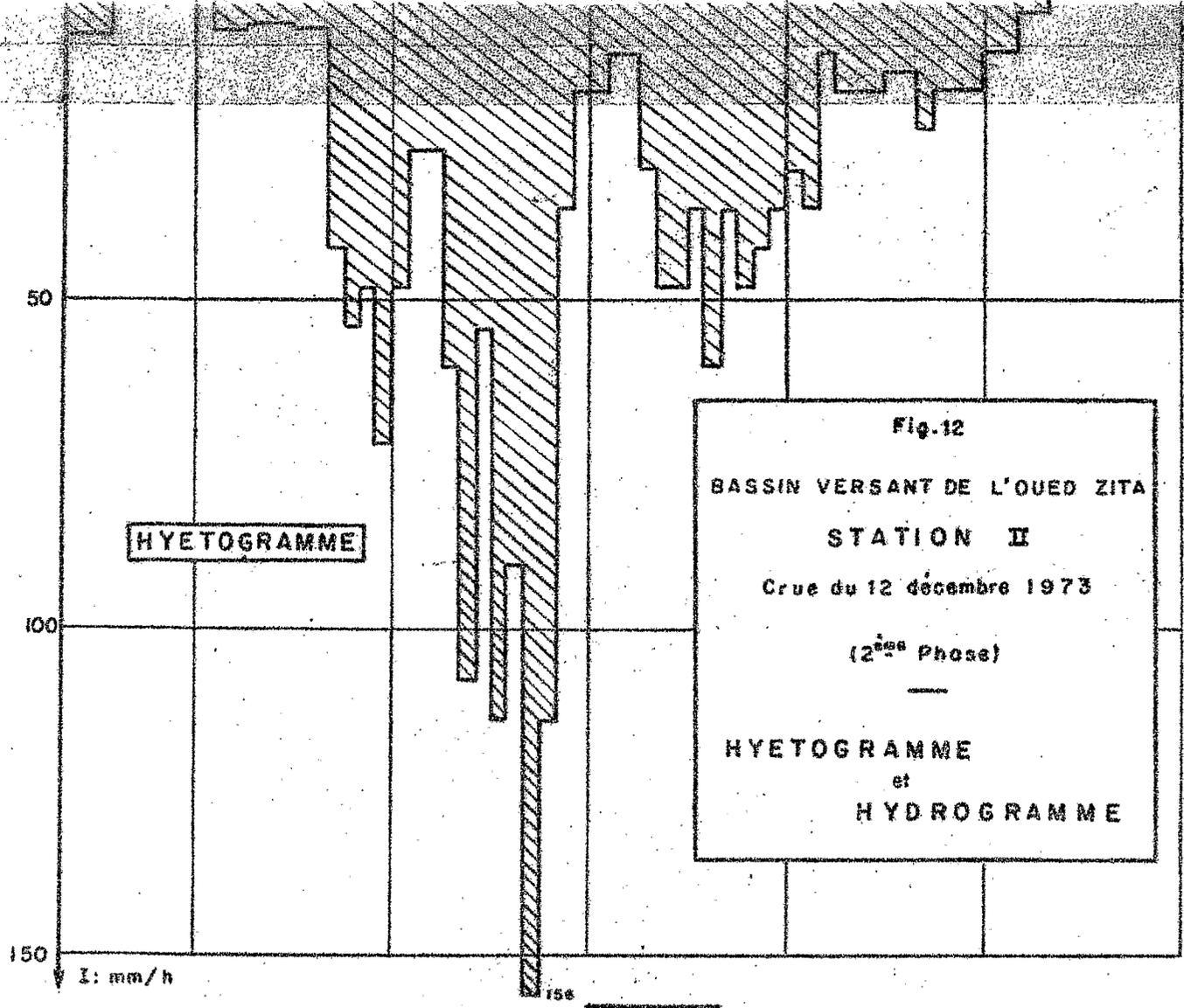
	h_p	V_R	h_R	K_R	h'_p	K'_R	Q_{max}	q_{max}
	(mm)	(m ³)	(mm)	%	(mm)	%	(m ³ /s)	(m ³ /s/km ²)
1ère tornade	106,1	1140	80,8	76	117,8	67	530	37,5
2ème tornade	165,7	1930	136,9	83	183,9	74	712	50,5
Journée du 12.12.73	271,8	3070	217,7	80	301,7	72	712	50,5

Les coefficients de ruissellement sont élevés. Ils paraissent même exceptionnels pour la crue de l'après-midi, mais rapportés à la pluie "corrigée", ils semblent en rapport avec les observations faites sur le terrain.



Q : l/sec.





Notons aussi l'importance des débits spécifiques qui sont certes en rapport avec l'événement pluviométrique, mais aussi avec la taille du bassin. Malgré un calage rigoureux des appareils enregistreurs, il est difficile de comparer à quelques minutes près les relevés pluviométriques et hydrométriques et il serait donc hasardeux d'en tirer les caractéristiques des hydrogrammes et du bassin. Il est probable cependant que le temps de réponse et le temps de montée sont inférieurs à 10 minutes.

Enfin nous remarquerons que les débits maximums des deux crues 530 et 712 l/s sont bien supérieurs à l'estimation qui en avait été faite précédemment d'après l'intensité maximale. Cette singularité n'affecte pas particulièrement cette station. Elle était moins sensible à la station principale, mais touche en réalité toutes les stations du bassin.

Plusieurs raisons contribuent à cela :

- les intensités maximales sur 5 minutes sont sous-estimées d'abord par le principe même de la mesure qui, aux fortes intensités, entraîne une perte partielle de l'eau à cause du temps de basculement des augets et ensuite pour les raisons déjà expliquées consécutives aux vents violents. Si l'on suppose la correction de hauteur précipitée applicable aux intensités, il est probable que l'intensité réelle sur 5 minutes avoisine 180 mm/h;
- les intensités maximales sont calculées sur une période minimale de 5 minutes ce qui, pour un bassin de cette dimension, peut correspondre au temps de réponse. Il faut donc reconsidérer les intensités sur des intervalles de temps plus court, auxquels le bassin est sensible. On peut alors atteindre 200 à 250 mm/h sur 3 minutes;
- le temps de réponse n'est pas une constante du bassin. Il dépend de l'état du sol par sa réaction au ruissellement et va donc diminuer en fonction de l'état de saturation du sol, jusqu'à un seuil minimal. Cela peut se traduire, dans le cas où nous avons deux maxima d'intensité ou même dans le cas d'une intensité forte et régulière pour une vitesse de propagation des dernières précipitations, supérieures aux premières. D'où il résulte un rattrapage d'un front de crue par un autre, pouvant provoquer par superposition un débit supérieur aux débits maximums pris séparément.

4.2.4 Transport en suspension

La méthode de prélèvement est identique à celle de la station principale. Les échantillons sont prélevés à l'entrée de la fosse, à la sortie et sur le seuil, de façon régulière et particulièrement autour des pointes de crues.

Un agent inexpérimenté étant seul à effectuer ces opérations, il s'en est suivi une certaine confusion devant le nombre d'échantillons; source d'erreurs; aussi nous serons amenés à ne prendre en considération que les prélèvements faits à la sortie de la fosse.

La courbe de variation du taux de turbidité en fonction du temps (cf. Fig.13) laisse apparaître des taux bien inférieurs aux valeurs obtenues à la station principale puisque le maximum, apparu au cours de la deuxième phase, ne dépasse pas 14 g/l. Les prélèvements faits au cours de la première tornade n'ont pas été poursuivis jusqu'au maximum, mais à partir des mesures réalisées on peut estimer le taux maximum à 10 g/l.

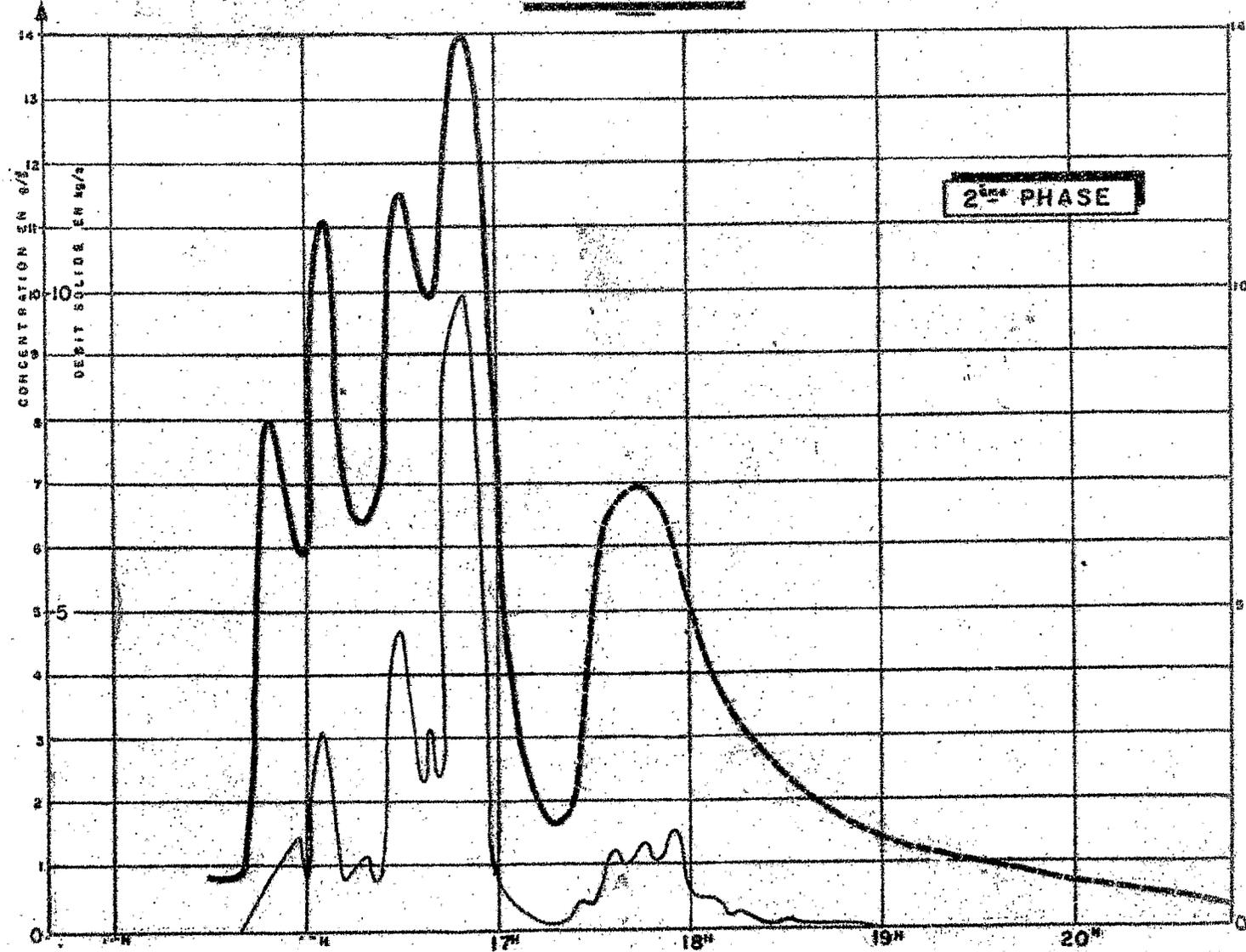
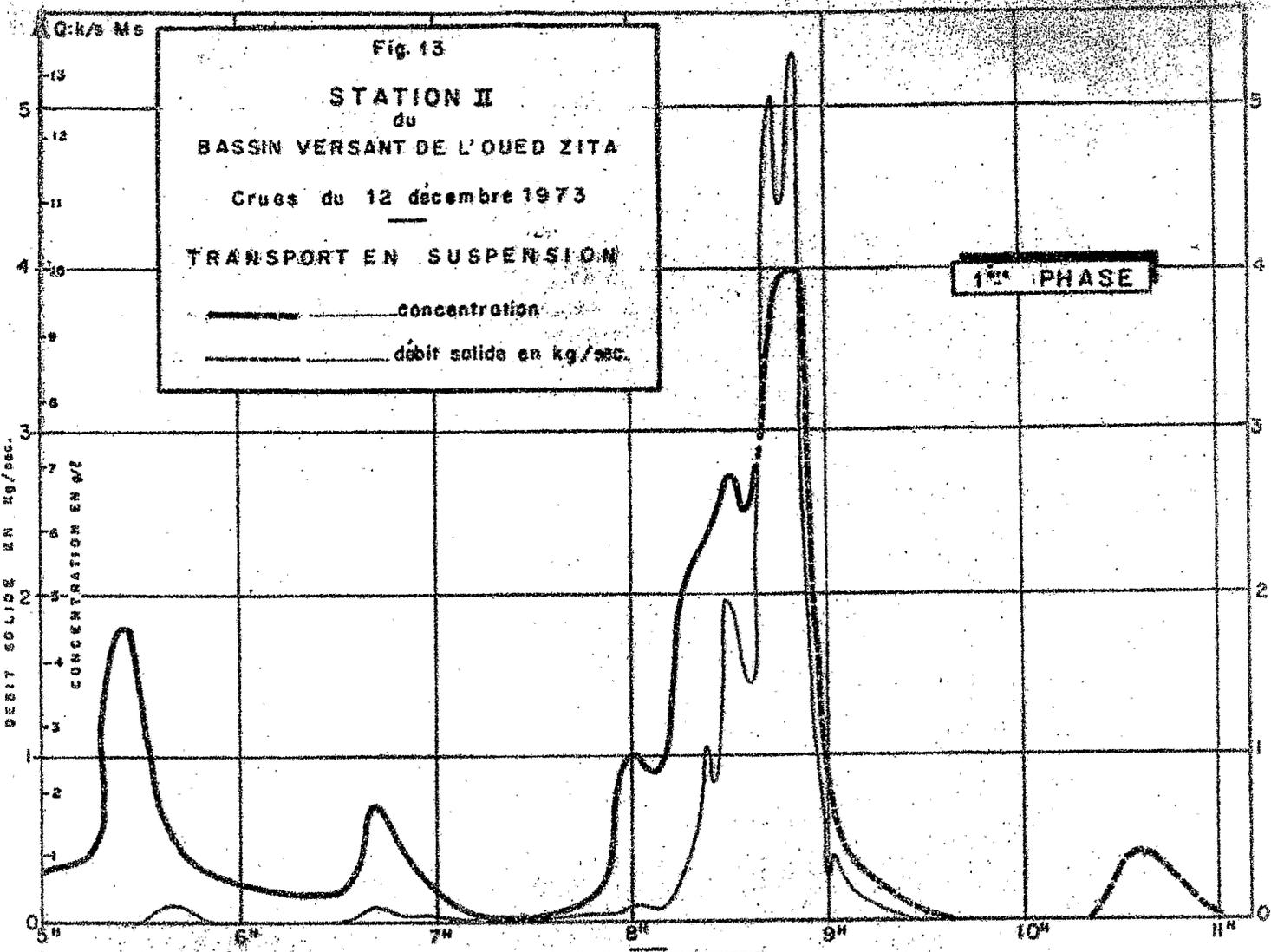
De ces turbidigrammes (voir Fig. 13), nous pouvons déduire les caractéristiques des transports solides en suspension.

	C max	C moy	Qs max	P _s	p _s	e
	(g/l)	(g/l)	(Kg/s)	(tonnes)	(t/ha)	(mm)
1ère tornade	10	5,5	5,3	6,3	4,5	0,3
2ème tornade	14	8,8	10	17,0	12,0	0,8
Journée du 12.12.73	14	7,6	10	23,3	16,5	1,10

Notons la disproportion entre l'érosion de la 1ère et de la 2ème tornade qui ne peut s'expliquer par la seule différence des précipitations, mais surtout par l'état initial du sol (humectation des horizons superficiels, destruction des structures et mise en suspension des argiles).

4.2.5 Salinité

Avec les premières pluies apparaît un résidu sec approchant 0,3 g/l qui semble suivre les variations du débit (cf. Fig.14). Après 8H20 nous constatons une hausse brutale de la salinité en corrélation avec le corps principal de la crue. Cette singularité déjà rencontrée sur la station principale sera étudiée plus loin.



Etant donné les fluctuations des débits et des résidus secs, il n'est pas possible de tracer une courbe de salinité pour la crue de l'après-midi qui reproduirait exactement les variations de ce paramètre. Cela exigerait des prélèvements de façon continue. La courbe tracée rend compte de l'allure générale et donne une approche satisfaisante des volumes transportés.

La combinaison de ces courbes et des hydrogrammes fournit les salinigrammes (Fig. 14). Les variations des débits étant nettement supérieures aux variations de salinité, il est normal que ces courbes rappellent davantage l'aspect des hydrogrammes.

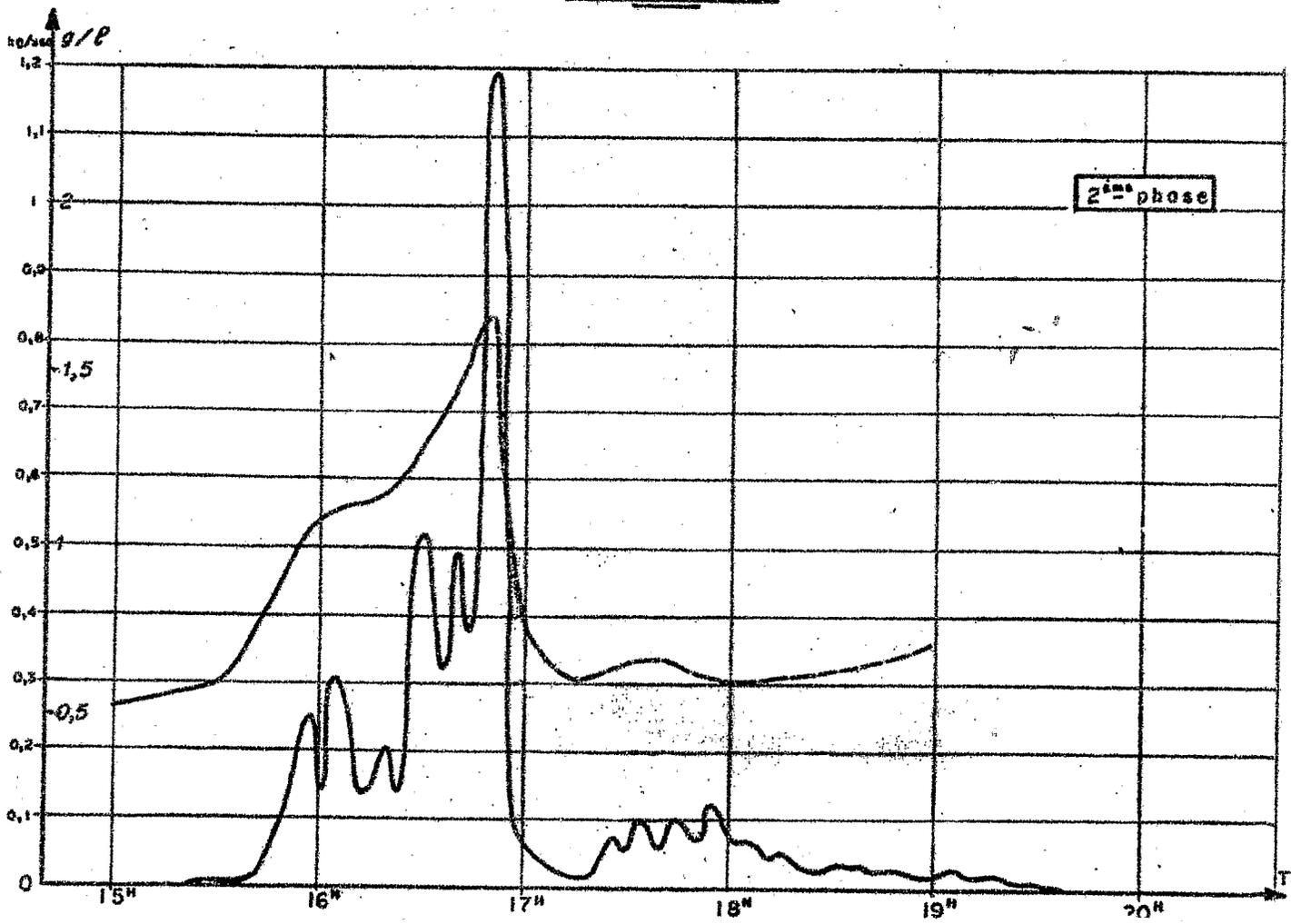
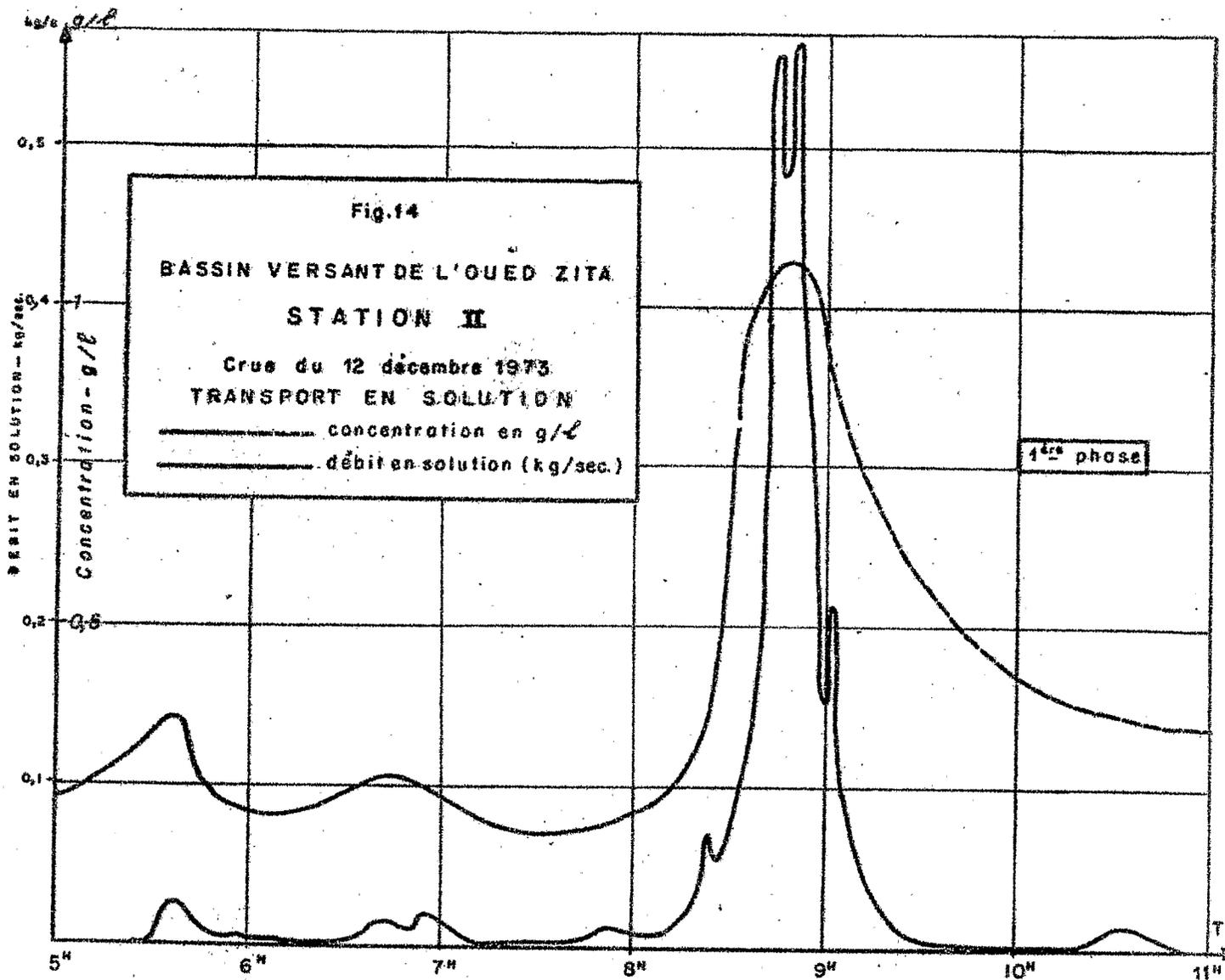
Nous en tirons les concentrations au débit maximal, le débit maximum de sel, le poids total, le poids ramené à l'hectare et la concentration moyenne.

	C au max de la crue g/l	Q ₀ max (Kg/s)	P _c (tonnes)	p _c (t/ha)	C moy (g/l)
1ère tornade	1,1	0,6	0,82	0,58	0,72
2ème tornade	1,7	1,2	2,33	1,65	1,08
Journée du 12.12.73	1,7	1,2	3,15	2,23	0,97

Les caractéristiques chimiques de ces eaux sont relativement constantes. Elles sont composées en grande partie de sulfates de calcium. Tous les autres éléments ont des concentrations inférieures à 1 milliéquivalent par litre et, bien que leurs variations ne semblent pas être directement liées au débit, il se dessine certaines tendances.

Ainsi le taux de sodium, de potassium, de chlorure, croît légèrement alors que celui du magnésium décroît. Les carbonates restent constants. Le cas de Ca et SO₄ est particulier; ils croissent avec le débit, donc la turbidité, et sont responsables de la hausse brutale de la salinité déjà constatée.

	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	HCO ₃	pH	Q l/s
Début de crue : 5H45	3,0	0,4	0,4	0,25	2,9	0,4	0,9	7,1	48
Début de crue princi- pale : 7H50	2,4	0,5	0,2	0,13	1,7	0,4	0,8	7,05	40
Crue : 8H30	10,1	1,0	0,9	0,19	9,7	1,0	0,9	6,95	290
Début de la 2ème crue : 15H48	11,8	0,6	0,4	0,16	12,1	0,6	0,8	7,05	100
Crue : 16H41	19,7	0,2	0,7	0,19	20,7	1,0	0,5	7,5	240



4.2.6 Transports de fond

En dépit du dispositif brise vitesse destiné à améliorer la rétention des éléments solides grossiers dans la première fosse au moment des gros débits, une petite partie des matériaux charriés s'est déposée à l'aval du déversoir, en amont du seuil épais. Pour l'ensemble des deux crues, on a ramassé dans les deux fosses 2 tonnes de sédiments se répartissant comme suit :

Argile	22,0 %
Limon fin	18,0 %
Limon grossier	19,0 %
Sable fin	27,0 %
Sable grossier	9,0 %
Mat. organiques	0,56 %

Le taux de matières organiques peu élevé s'explique par :

- la faible teneur en matières organiques du sol
- le nettoyage effectué sur les sols lors des crues précédentes
- la violence des turbulences, qui maintiennent en suspension les débris organiques les plus légers.

Il est intéressant de constater l'analogie entre la composition des sédiments récoltés dans la fosse et la composition des sols du bassin. Hormis les sables grossiers qui ont été piégés systématiquement, les autres matériaux étaient filtrés selon leur dimension et non selon leur nature, c'est-à-dire que seuls les éléments supérieurs à un certain diamètre étaient retenus par la fosse, qu'ils soient des éléments purs ou des agrégats comprenant des éléments fins.

En fait le mécanisme d'érosion peut être schématisé ainsi : la particule de sol arrachée par le ruissellement est roulée jusqu'à la fosse. Si au cours de son trajet, la particule se désagrège, les éléments fins sont mis en suspension et ne sont plus retenus par la fosse. Dans le cas contraire, elle se dépose et à l'analyse granulométrique des sédiments broyés, elle n'apparaîtra plus que par ses composants, donc reflétera en partie la composition des sols du bassin.

Le rapport du poids total de matière exportée par les deux modes de transport est élevé pour un bassin de cette dimension:

$$\frac{P_{ch}}{P_s} = 8,6 \%$$

4.2.7 Infiltration et essai de bilan hydrologique

Les infiltrations déduites des variations du stock d'eau dans le sol sont évaluées à partir de l'examen des profils hydriques sur plusieurs sites du bassin.

Par la multiplication des prélèvements et des tranches de sol étudiées, on obtient une approche suffisante du stock d'eau compris entre la surface et la tranche sèche.

Pour la totalité de l'épisode pluvieux, la variation du stock d'eau sur le bassin se traduit par une infiltration moyenne $h = 75$ mm. Les deux séries de prélèvements ayant été faites les 7 et 14 décembre, une partie de l'eau absorbée par évapotranspiration n'a pas été prise en compte dans la mesure, soit environ 3 mm. Le bilan à l'échelle de la journée s'écrit :

$$h_p - h_r - h_i - h_{ev} = 0$$

h_{ev} la hauteur d'eau absorbée par évaporation et évapotranspiration est faible et négligeable par rapport aux autres termes du bilan.

Il reste :

$$h_p = h_r + h_i = 218 + 78 = 296$$

Si nous considérons la pluviométrie brute, $h_p = 271,8$ le bilan n'est pas correct. Si nous prenons la pluviométrie corrigée, $h'_p = 302$, le bilan est équilibré à 3 % près : 77 % des volumes précipités s'écoulent, 23 % s'infiltrent et sont ensuite absorbés par l'évapotranspiration.

Cela nous confirme la nécessité de corriger les pluies observées au pluviomètre standard.

4.3 Station de la RAVINE : ZITA III

Par tous ses aspects, ce bassin est différent de celui de la station secondaire. Aussi bien par ses sols composés essentiellement de gypse, que par son relief très accentué, ou par son réseau de drainage bien apparent, conséquence du relief. Il représente toute la partie Sud, marquée par les alternances de couches supérieures dures et tendres du flanc Sud de l'anticlinal, formant ainsi le plus haut relief du bassin principal.

4.3.1 Tarage

Cette station, moins prioritaire que la station principale, est équipée d'un seuil épais analogue à celui de la station secondaire. Vu la largeur du talweg, il était impossible de dimensionner correctement ce jaugeur et les débits observés ont largement dépassé la zone de bonne précision du dispositif.

Pour le tarage, nous considérons trois tranches de hauteur:

- 4.3.1.1 Pour les hauteurs inférieures à $H = 29$, les débits sont donnés directement par le constructeur.
- 4.3.1.2 De la cote 29 à 39, les débits sont déduits de ceux obtenus sur un seuil identique en fonctionnement sur la station II.
- 4.3.1.3 Au-delà de la cote 39, les débits sont estimés par plusieurs méthodes : jusqu'à la cote 65, l'écoulement transite par le canal à section rectangulaire, puis déborde en rive droite et au dessus de la cote 100, le bord rive gauche est submergé. Nous évaluerons le débit dans le chenal central d'abord, puis les déversements latéraux.

4.3.1.3.1 Chenal central

a) A partir des mesures des vitesses de surface faites au moulinet jusqu'à la cote 58, on obtient la courbe des vitesses moyennes superficielles (voir Annexe Fig.24), qui est extrapolée à la cote maximale. Si l'on suppose le rapport $\frac{U}{V_{ms}}$ égal à l'unité, on en déduit le tarage du chenal central.

b) Si nous utilisons la formule de débit du seuil épais :

$$Q = \mu l \sqrt{2g} h^{3/2}$$

avec un coefficient de débit assimilable à celui du

déversoir rectangulaire, sans contraction latérale :

$$\mu = \frac{2}{3} \left(0,605 + \frac{1}{1050h-3} + 0,08 \frac{h}{p} \right)$$

on obtient une autre courbe de tarage.

- c) L'application de la formule de MANNING-STRICKLER au bief, situé immédiatement en amont de la station, donne pour la cote maximale :

$$V = 2,45 \text{ m/s}$$

soit $Q = 1,985 \text{ m}^3/\text{s}$

avec $K = 25$, ce qui n'a rien de surprenant vu la configuration de cet oued.

- d) Comparaison des trois méthodes

! Méthode employée	! Débit correspondant (m ³ /s) !	
	! Cote moyenne ! H = 70	! Cote maximale ! H = 103
! Extrapolation de Vms	! 1,07	! 2,07
! Calcul théorique	! 1,01	! 2,35
! MANNING-STRICKLER	! 1,25	! 1,99
! Débit choisi	! 1,06	! 2,14

Ces résultats, bien que sensiblement différents aux cotes moyennes, donnent la fourchette dans laquelle doit se situer le débit réel. Nous choisirons une courbe de tarage proche de celle obtenue par la première méthode et pondérée par les résultats de la seconde, pour tenir compte du fait que le rapport $\frac{U}{V_{ms}}$ est certainement inférieur à l'unité aux cotes moyennes, étant donné les petites dimensions de la section et les effets de bords (Fig.15).

4.3.1.3.2 Déversements latéraux

Ces débits sont évalués par des méthodes identiques aux précédentes :

- Assimilation de la section de déversement à un seuil épais
- Assimilation de la section de déversement à un canal rectangulaire
- Identification des vitesses moyennes dans le chenal central et dans les déversements.

Fig. 15

Q : m³/sec.

100 109

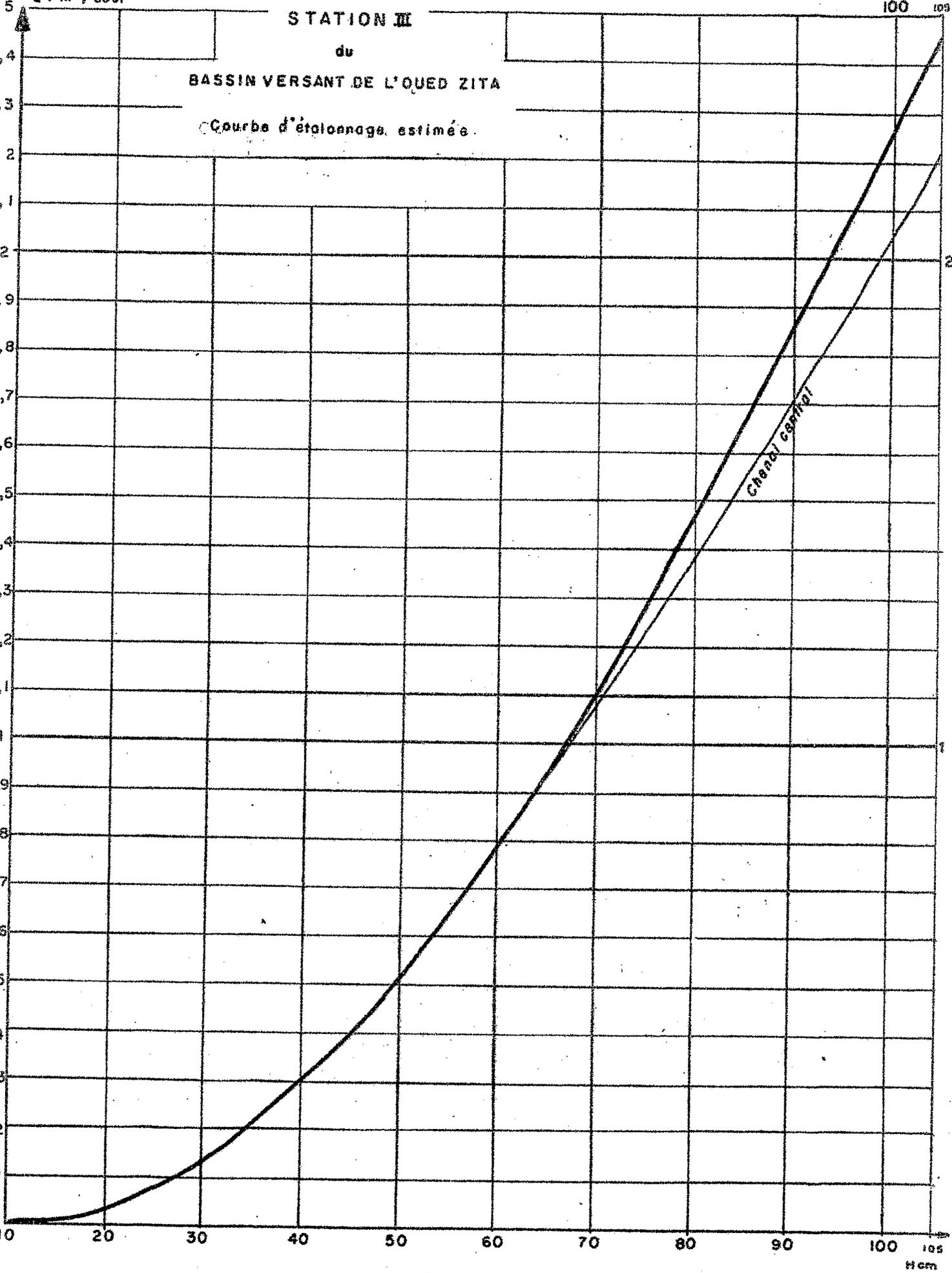
STATION III

du

BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA

○ Courbe d'étalonnage, estimée.

Chenal central



H cm

Méthode employée	Débit correspondant	
	H = 85	H = 103
1ère méthode	0,130	0,242
2ème méthode		0,148
3ème méthode	0,115	0,296
Débit choisi	0,120	0,240

Dans les deux cas, les débits ont été choisis ainsi pour tenir compte des vitesses initiales qui ne sont pas négligeables, et des effets de bords bien plus sensibles sur ces petites sections.

4.3.2 Les précipitations

Les difficultés pour une mesure exacte des précipitations ont déjà été abordées précédemment, ainsi que leur répercussion sur l'hydrométrie du bassin principal.

Dans le cas de la station III, ce problème prend une dimension particulière : la pluviométrie du bassin est mesurée par deux pluviomètres implantés sur les arêtes Nord et Sud limitant le bassin et un pluviographe est situé à proximité de l'extrémité Ouest, sur un piton.

Tous ces postes pluviométriques sont donc soumis à l'action conjuguée des turbulences sur les surfaces réceptrices et des vents ascendants. Leurs résultats sont vraisemblablement sous-estimés dans des proportions pouvant dépasser 20 %. A défaut d'indications complémentaires, nous nous baserons sur les totaux recueillis aux deux pluviomètres et ferons la correction pour le pluviographe, en supposant l'erreur proportionnelle à l'intensité pluviométrique.

Ces deux tornades présentent des hyétogrammes analogues à ceux des autres pluviographes (voir Fig. 16 et 17). Un corps principal de 55 minutes atteignait 108 mm/h le matin, précédé de petites averses; l'après-midi le corps principal, moins homogène, se compose d'averses d'intensité croissante qui intéressent le bassin entre 15H50 et 17H, atteignant 158 mm/h vers 16H50. Si l'on calcule les débits maximums compatibles avec ces intensités dans les conditions idéales de ruissellement, on obtient 0,98 et 1,43 m³/s.

Des enregistrements relevés au pluviographe, on déduit la part propre à chaque tornade sur les postes du bassin et la pluviométrie moyenne :

	P1 (mm)	P 10 (mm)	\bar{P}_m (mm)	PG 24 enregistrée (mm)
1ère tornade	88,7	87,8	88,2	87,6
2ème tornade	155,7	154,2	154,9	154,8
Journée du 12.12.73	244,5	242,0	243,1	242,4

4.3.3 Le ruissellement

L'absence d'horizon battant et la présence de colluvions épaisses sur les pentes rendent ce bassin peu sensible aux petites précipitations. A l'inverse, son relief accidenté influencé par de très fortes pentes, provoque des réponses brutales et importantes aux fortes sollicitations.

La première crue survient peu après le début des intensités supérieures à 50 mm/h (cf. Fig. 16). Les pointes de crue correspondent aux pointes du hyétogramme; sur ces petites superficies, la géomorphologie et le réseau de drainage embryonnaire n'ont que peu d'influence sur les écoulements et ne perturbent pas l'allure des hydrogrammes.

L'hydrogramme de la deuxième tornade se présente sous la forme d'une série de pointes qui, par vagues successives, parallèlement au hyétogramme, atteint 2,38 m³/s (cf. Fig.17). La configuration tumultueuse du lit et sa pente (0,05) provoquent un écoulement très turbulent qui, durant quelques secondes, va submerger le canal et l'échelle. Les eaux paraissent très chargées. La décrue intervient, encore plus brutale que la crue (15 cm par minute), interrompue vers 17H20 par de nouvelles ondes de crues consécutives aux aversez de la traîne.

	h _p (mm)	V _r (m ³)	h _r (mm)	K _r %	h' _p (mm)	K' _r %	Q max (m ³ /s)	q max (m ³ /s/km ²)
1ère tornade	88,2	1970	60,6	69	97,9	62	1,5	46
2ème tornade	154,9	4290	132,0	85	171,9	77	2,38	73
Journée du 12.12.73	243,1	6260	192,6	79	269,8	71	2,38	73

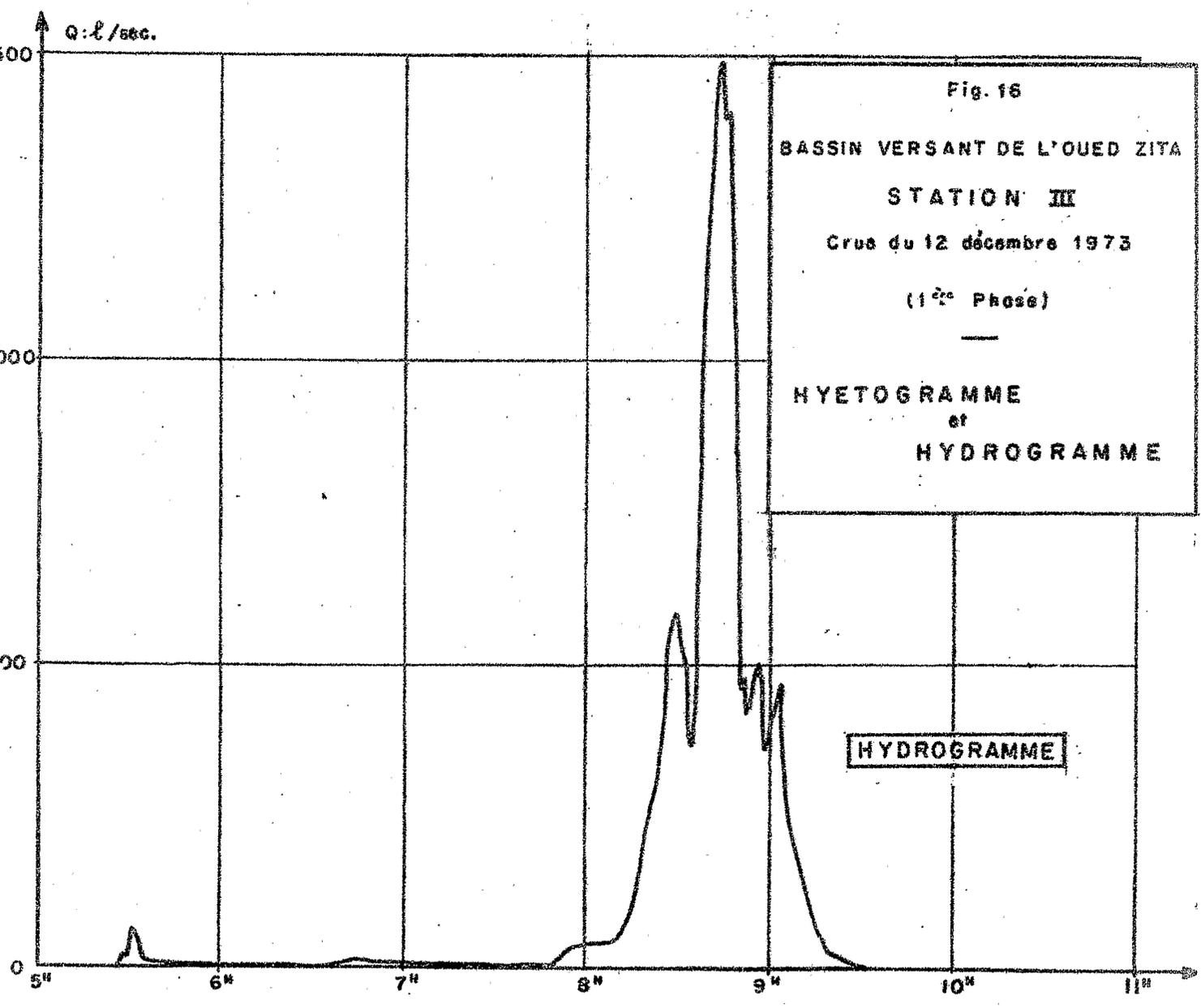
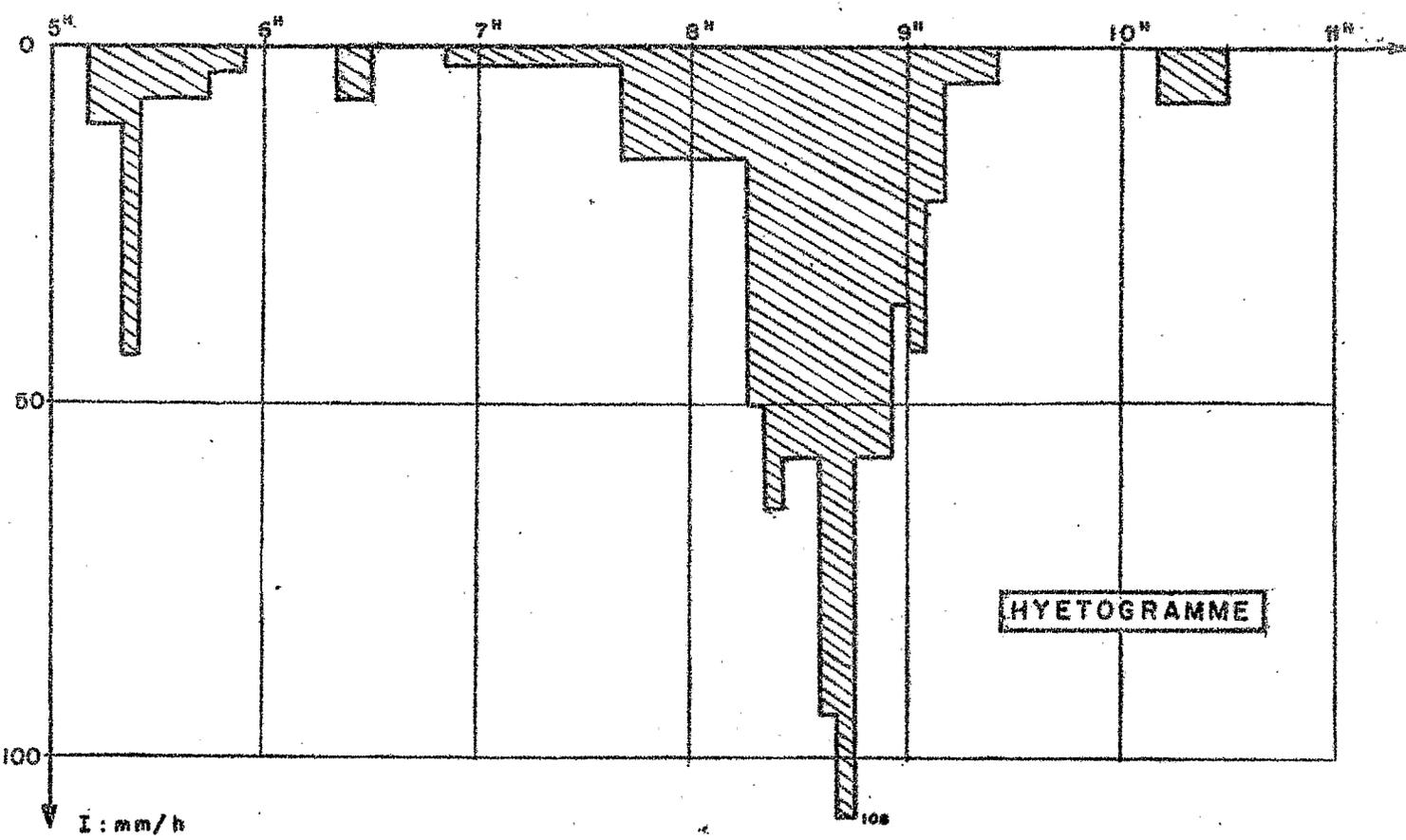
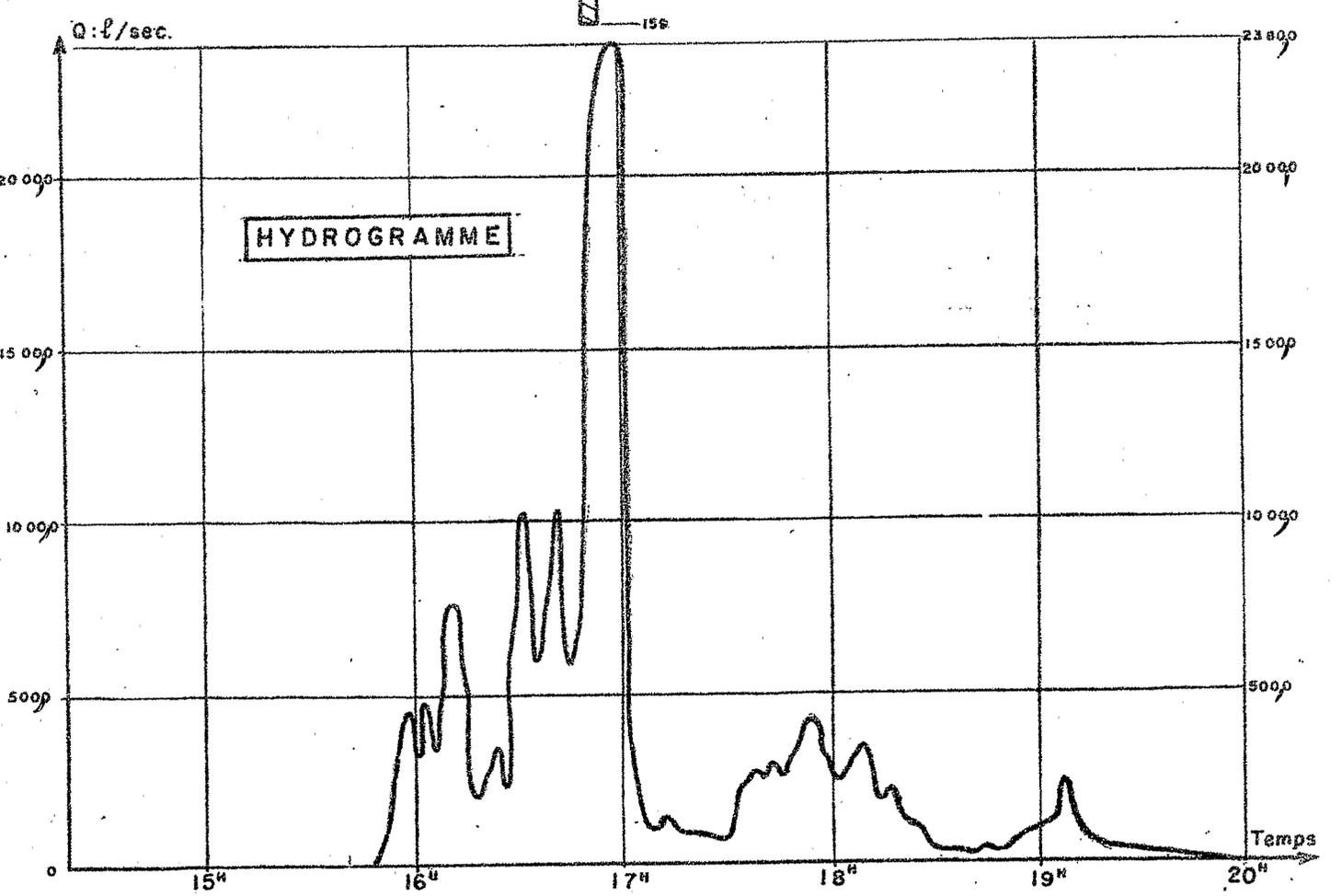
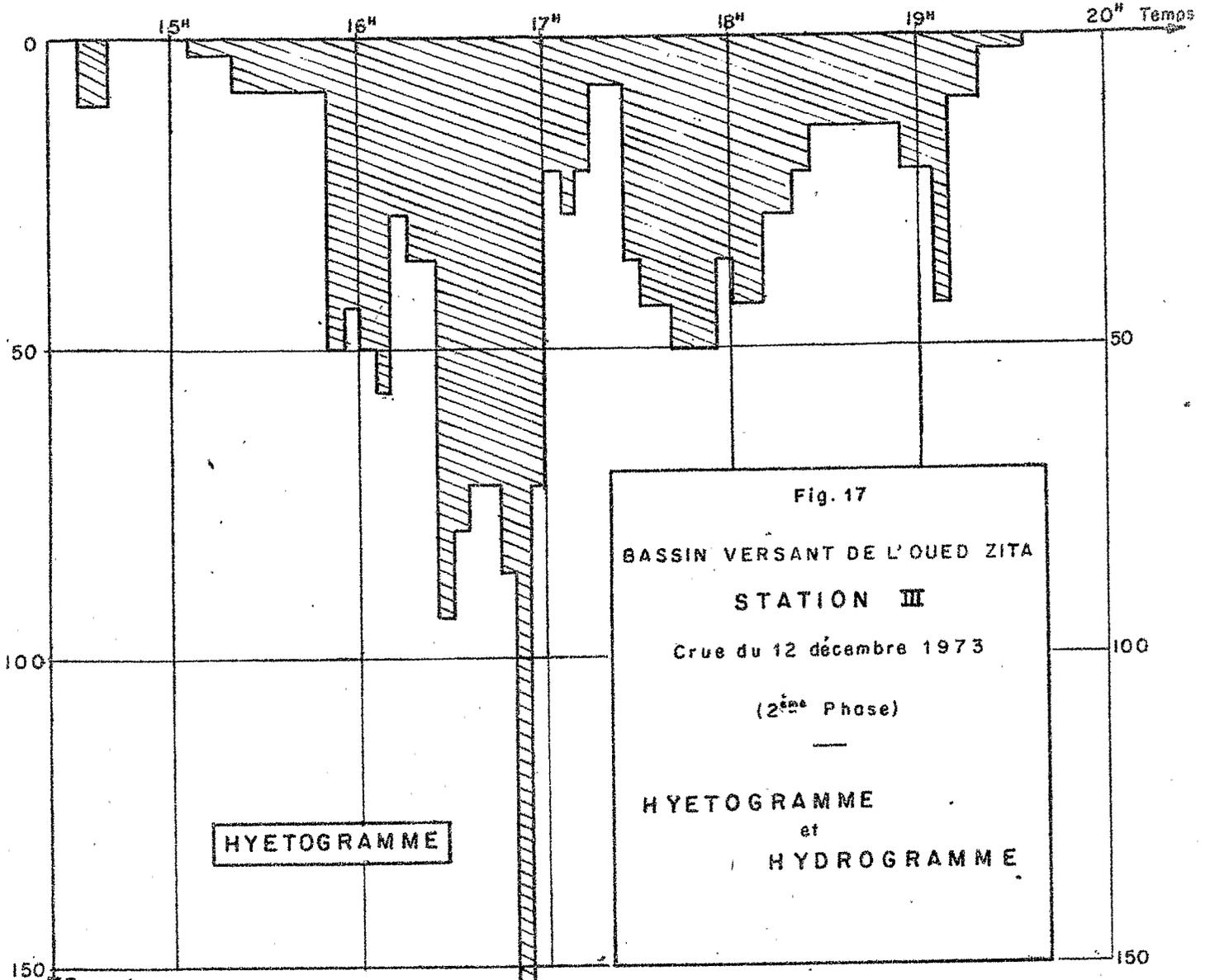


Fig. 16
 BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA
 STATION III
 Crue du 12 décembre 1973
 (1^{ère} Phase)



Hormis la forte disproportion entre le débit maximum réel et celui calculé d'après l'intensité maximale, ces paramètres n'offrent pas de particularité. Rappelons simplement que les causes avancées pour l'explication de ce phénomène, sur la station II sont encore valables ; surtout celle concernant la réduction de temps de réponse provoquant un chevauchement des ondes de crues, fait encore accentué par les fortes pentes propres à ce relief.

4.3.4 Transports

Nous possédons trop peu de prélèvements pour tirer des estimations des transports en suspension ou en solution. Ils concernent seulement le début de la première crue avant 8H30. Néanmoins ils fournissent quelques indications intéressantes sur l'importance de ces transports :

- la turbidité varie de 1 à 24 g/l
- la salinité de 1,4 à 2,3 g/l

Le dernier prélèvement, correspondant aux valeurs les plus élevées, se situe vers 600 l/s. Il est donc probable que, vu le relief, les turbidités intéressant le maximum de débit seront supérieures à 50 g/l. Les salinités atteindront des valeurs élevées après la crue, par suite du lessivage des berges gypseuses (5,0 g/l le 13), mais il est difficile d'avancer une valeur pour la cote maximale.

Le charriage est à la mesure de la forte pente du fond du lit, creusée en grande partie dans la roche gypseuse et sur lequel des blocs compacts de plusieurs kilos, arrachés au sol, sont roulés. Un amoncellement de matériaux charriés s'est déposé à l'amont de la station dans une zone à faible pente, ne représentant vraisemblablement qu'une partie du charriage total.

4.4 Citerne TELMAN

4.4.1 Tarage

Située à l'exutoire d'un petit bassin de 2,2 ha, cette citerne de 160 m³ destinée à l'approvisionnement en eau des populations, est contrôlée par un déversoir rectangulaire mis en place sur le trop plein. La limite du bassin est matérialisée par une petite digue en terre compactée (tabia).

Un limnigraphe, à rotation rapide et à faible réduction d'échelle, enregistre le niveau d'eau à l'intérieur de la citerne. Ainsi selon le cas il reproduit seulement les variations de cote dans le réservoir ou la cote sur le déversoir lorsqu'il y a débordement.

Dans le premier cas il est aisé de déduire le débit de la vitesse de montée. Dans le deuxième cas, le déversoir à mince paroi et à contraction latérale donne le débit par la formule de FRANCIS :

$$Q = 1,83 (e - 0,2 h) h^{3/2}$$

En réalité, pour les débits importants, le déversoir est noyé et ne fonctionne plus selon les hypothèses de calcul. Dans l'attente des résultats fournis par un second dispositif de jaugeage et par là d'une courbe de tarage définitive, nous estimerons les débits à l'aide d'une courbe provisoire.

Au maximum de la crue, l'orifice d'entrée de la citerne fonctionnait en charge, et une partie de l'eau se déversait par dessus les digues, ce qui a eu pour effet de faire culminer le limnigramme au maximum de débit admissible par cet orifice.

Les relevés topographiques nous fournissent les cotes maximales à l'entrée et sur les digues d'où l'on définit, par calcul, une fourchette de débits dans laquelle se trouve le débit maximum réel :

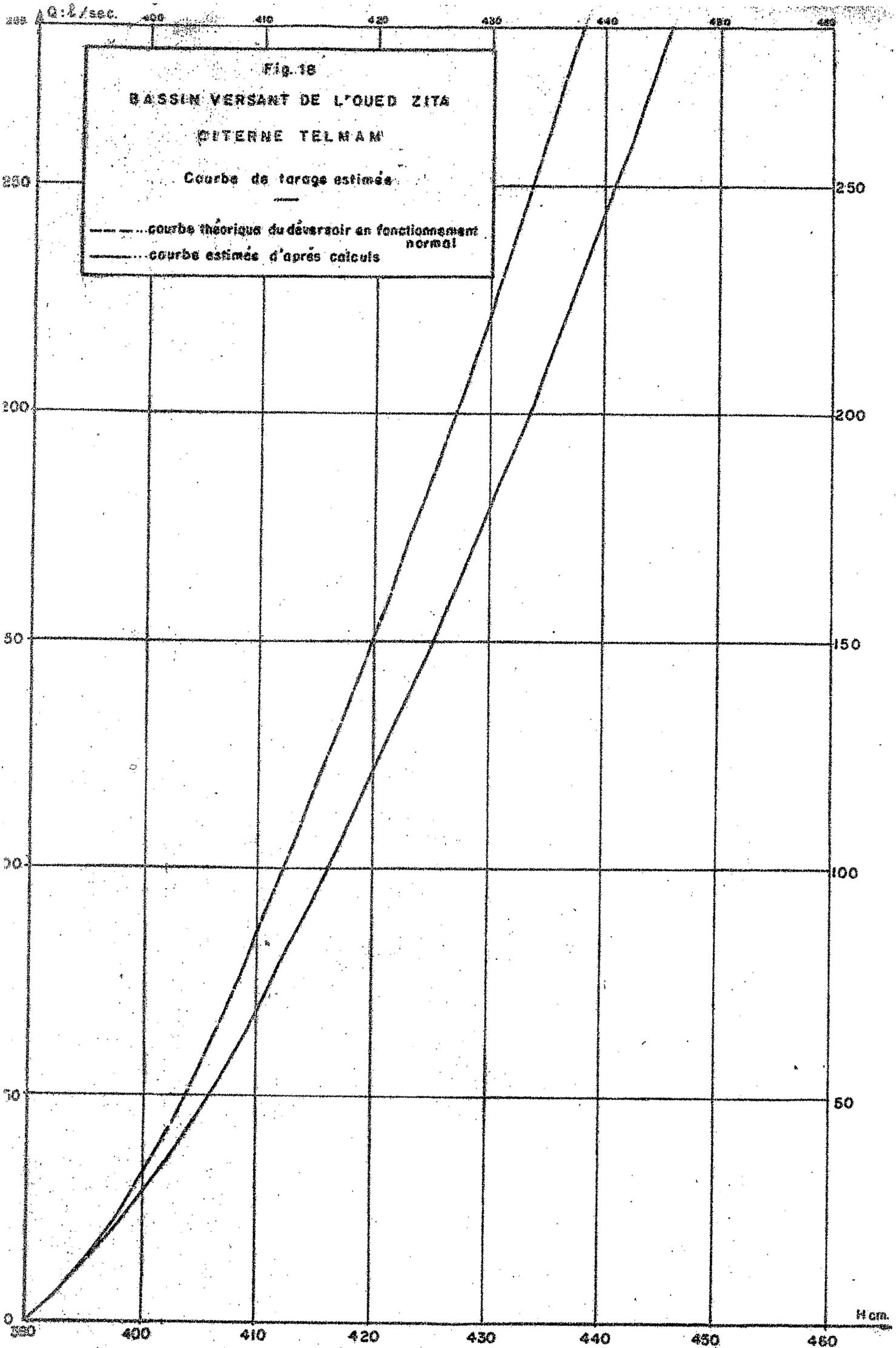
$$0,287 < Q_{\max} < 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si l'on se fixe la valeur de :

$$Q_{\max} = 0,300 \text{ m}^3/\text{s}$$

correspondant à la cote $H = 448$ atteinte au cours de l'après-midi, on peut en déduire à partir du tracé de la courbe théorique du déversoir, la courbe de tarage estimée du trop-plein (Fig. 18).

Tous les résultats et toutes les conclusions que nous serons amenés à tirer par la suite, dépendant de cette estimation, il est certain que, selon les mesures à venir, ils seront confirmés ou infirmés.



4.4.2 Les précipitations

Elles sont semblables aussi bien qualitativement que quantitativement à celles qui ont arrosé les autres bassins. Nous retrouvons toujours les deux tornades nettement séparées par une période d'accalmie. Les intensités maximales atteignent 108 et 156 mm/h. Les corps d'averse sont bien marqués.

L'homogénéité physique du bassin se traduit par une homogénéité des totaux pluviométriques relevés.

	P _a (mm)	P _b (mm)	P _c (mm)	PG 21 (mm)
Journée du 12.12.73	254,8	258,5	255,0	257,5

Rappelons que c'est à proximité immédiate de ce bassin qu'ont été placés les pluviomètres au sol ayant enregistré une pluviométrie supérieure de 11 % à celle du pluviomètre standard.

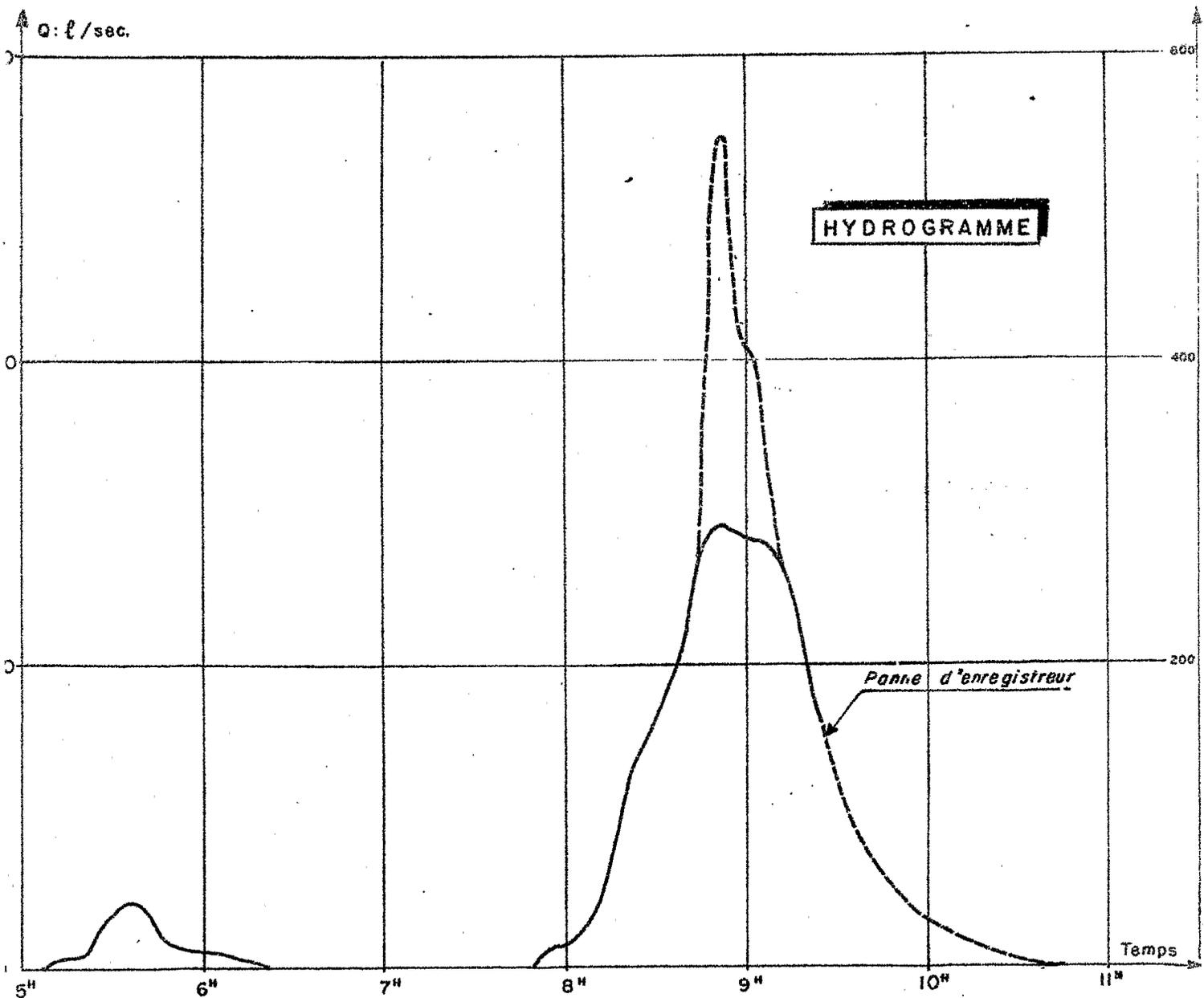
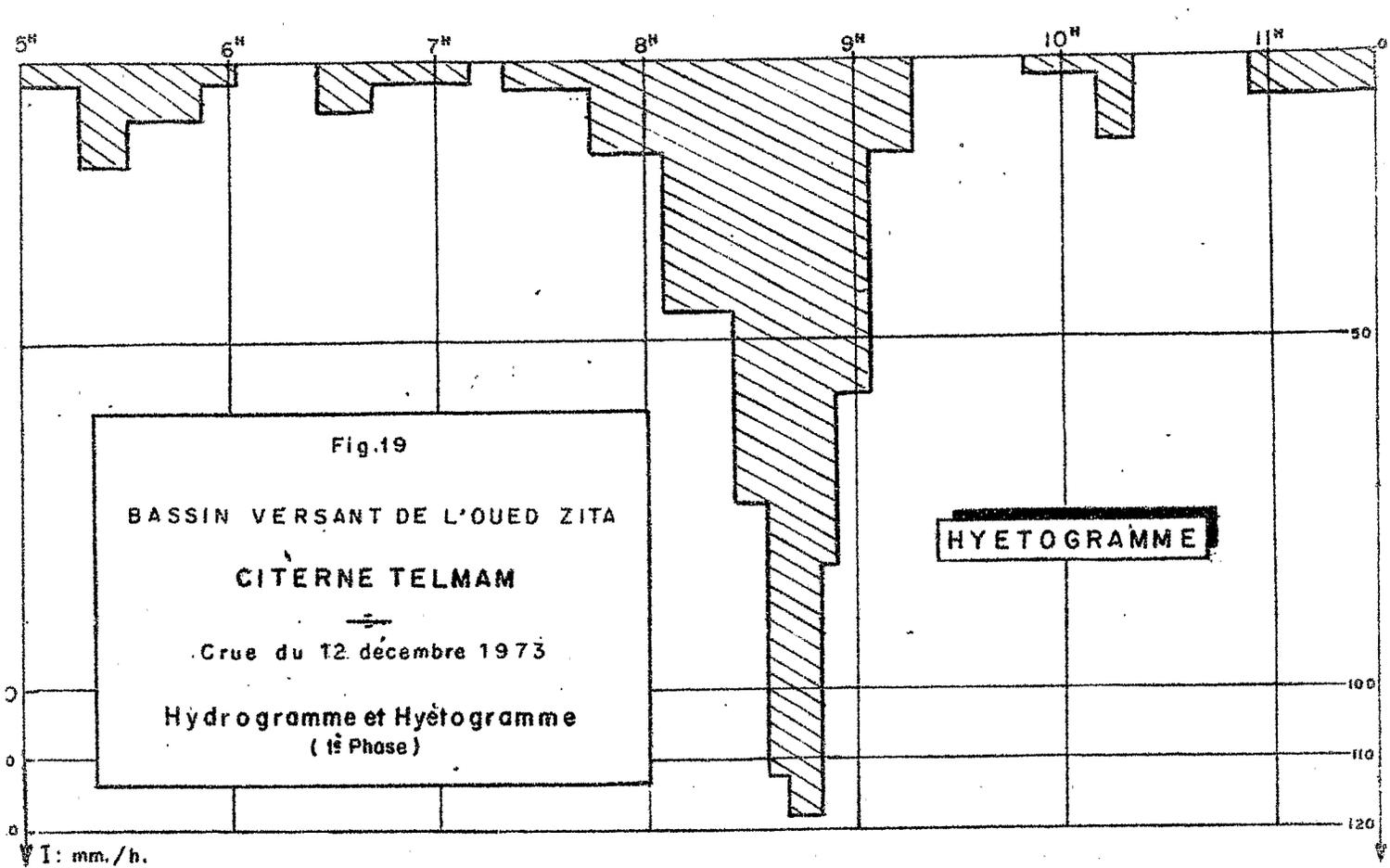
4.4.3 Le ruissellement

Cette citerne déjà observée durant la saison 1972-1973 avait démontré une aptitude au ruissellement supérieure à celle des bassins situés dans les djebels. Dès 5 heures, les premiers écoulements apparaissent et une averse de quelques minutes à faible intensité suffit à provoquer la première crue.

A 7H45, avec le début du corps de l'averse, commence la crue principale qui atteint, à la sortie de la citerne, la cote 446, soit $Q = 0,28 \text{ m}^3/\text{s}$. Durant près de 30 minutes, le débit restera voisin de cette valeur, puis s'amorce la décrue (cf. Fig.19).

En fait l'orifice d'entrée se comporte comme un diaphragme qui, refusant les débits supérieurs à $0,28 \text{ m}^3/\text{s}$, tronque l'hydrogramme au-dessus de cette valeur. Les crues postérieures à 9H30 et en particulier les écoulements de l'après-midi sont inexploitablement pour trois raisons :

- panne de l'enregistreur
- rupture partielle des digues protégeant le bassin à l'amont sous l'effet des eaux de ruissellement et intrusion d'apports extérieurs
- rupture des digues aval autour de l'exutoire entraînant des pertes.



Nous nous limiterons donc aux deux premières crues, en estimant pour la seconde les débits écrêtés :

	h_p (mm)	V_r (m ³)	h_r (mm)	K_r %	h'_p (mm)	K'_r %	Q_{max} (m ³ /s)	q_{max} (m ³ /s/km ²)
Précipitation antérieure à 9H30 - lère tornade	92,5	(1450)	(65,9)	(71)	102,6	(64)	(0,550)	25

Il est difficile de tirer des conclusions de tels résultats, mais à priori les paramètres de ruissellement paraissent sous-estimés par rapport aux résultats trouvés sur les autres bassins; la citerne a un comportement plus proche de celui de la station secondaire et les observations précédentes laissent à penser que les coefficients de ruissellement devaient être plus élevés.

4.4.4 Les transports

Par insuffisance de personnel, aucun prélèvement n'a été effectué au cours des crues.

Après vidange du dessableur, il apparaît que les turbulences consécutives aux forts débits traversant la citerne, ont gêné le fonctionnement normal de l'installation et les matières solides, composées en majeure partie d'éléments fins, limon et argile, ont été évacuées avec les débits liquides par le trop-plein.

D'après les observations antérieures et étant donné les caractéristiques du bassin (pente faible, relief nul), il est probable que les turbidités maximales ne dépassent pas 10g/l. Des prélèvements faits après les premières crues dans la citerne donnent 0,5 g/l de matière en suspension, pour une salinité comprise entre 160 et 200 mg/l. Le 13, après les crues, on ne trouve plus que 150mg/l et des traces de matières solides en suspension.

Les perméabilités relativement faibles des horizons qui composent le bassin versant, par leur aptitude au ruissellement, expliquent en partie d'aussi faibles salinités, peu courantes pour les eaux de surface de la région.

4.4.5 Infiltration

Selon le même principe que celui utilisé sur la station II, variations du stock d'eau dans le sol à partir des mesures des profils hydriques, le pédologue détermine la quantité d'eau pénétrant dans le sol. Si les prélèvements sont assez rapprochés, la quantité d'eau enlevée par évapotranspiration devient négligeable et on peut connaître la hauteur d'eau infiltrée. On arrive ainsi pour l'ensemble des crues du 12 décembre à 52 mm répartis de façon homogène sur l'ensemble du bassin.

Le fait que la rupture des digues amont ait fourni un apport extérieur ne peut avoir de fortes conséquences sur l'infiltration, étant donné que la mise en charge de l'eau ne se faisait que près de la citerne, que cette invasion n'a été que momentanée et qu'elle n'intéresse qu'une petite partie du bassin.

On peut déduire du bilan global, supposé équilibré, une approche des caractéristiques du ruissellement :

h_p	h_i	h_r	V_r	K_r	h'_p	h'_r	V'_r	K'_r
(mm)	(mm)	(mm)	(m ³)	%	(mm)	(mm)	(m ³)	%
256,3	52	204,3	4500	80	284,5	232,5	5110	82

4.4.6 Mesure de l'érosion en place

De façon à recouper les résultats obtenus par l'hydrologue à partir des transports solides, un dispositif de mesures de l'érosion en place a été implanté par le pédologue. Il se compose de surfaces, sur lesquelles sont plantées à intervalle régulier des aiguilles enfoncées dans le sol jusqu'à une hauteur connue. Les variations de longueur de la partie émergente traduisent les mouvements du sol, érosion ou accumulation.

Pour la période du 1.10.73 au 22.12.73 comprenant deux séquences pluvieuses dont la première est faible, on obtient une forte accumulation près de l'exutoire et une érosion sur le reste du bassin, qui se traduit par un poids total de matière exportée d'environ 50 tonnes, soit près de 23 t/ha.

Bien qu'il soit difficile de faire la part de chaque séquence pluvieuse; il est probable que, au vu des observations antérieures; l'érosion avant les crues du 12 décembre ne devait pas être supérieures à 1 t/ha.

Il resterait donc 22 t/ha pour la journée étudiée, valeur qui paraît surestimée; mais peut être aussi expliquée d'une part par l'action mécanique des eaux venues de l'extérieur au moment du débordement des digues, d'autre part par l'imprécision inhérente à la méthode de mesure ($\Delta p_s = 7,5 \text{ t/ha}$).

5. COMPARAISON DES COMPORTEMENTS DES BASSINS

5.1 Pluviométrie

La pluviométrie est homogène tant par la hauteur précipitée que par les intensités ou la forme du hyétogramme.

	1ère tornade			2ème tornade			Journée du	
							12.12.73	
	h_p	I max	I moy	h_p	I max	I moy	h_p	h'_p
	(mm)	(mm/h)	(mm/h)	(mm)	(mm/h)	(mm/h)	(mm)	(mm)
ZITA I	99,3	106	42,3	159,0	150	63,3	258,3	286,7
ZITA II	106,1	108	47,3	165,7	156	54,7	271,8	301,7
ZITA III	88,2	108	42,0	154,9	158	59,3	243,1	269,8
TELMAN	98,0	108	46,8	158,4	156	54,8	256,4	284,5

I max : Intensité maximale sur une période 5 minutes

I moy : Intensité moyenne sur le corps principal

Rappelons que le déficit apparent de la pluviométrie sur le bassin de la Ravine peut être dû exclusivement à la situation particulière des postes de mesure.

Enfin il nous semble utile de prendre en considération les intensités "instantanées" évaluées sur des périodes de 2 à 3 minutes qui, pour des bassins de quelques hectares, paraissent plus représentatives de la dimension du phénomène et mieux adaptées à leur interprétation.

../.

	Zone d'influence	I max sur 5 minutes (mm/h)	I max "corrigée" (mm/h)	I max "instantanée"
PG 21	Citerne Telman	156	173	240 (16H34)
PG 22	-	138	153	300 (16H49)
PG 23	Station II	156	173	200 (16H44)
PG 24	Station III	158	175	180 (16H30)

5.2 Ruissellement

5.2.1 Débits maximums

Si nous résumons toutes les caractéristiques du ruissellement sur le tableau suivant, les indices 1 et 2 se rapportant aux deux crues :

	K_r 1 %	K_r 2 %	K_r %	K'_r %	q_1 max (m ³ /s/km ²)	q_2 max (m ³ /s/km ²)
ZITA I	77	97	89	80	26,2	40,3
ZITA II	76	83	80	72	37,5	50,5
ZITA III	69	85	79	71	46	73
TELMAN	(71)		80	82	(25)	

On remarque la disparité des débits spécifiques. Les stations II et III ayant sensiblement la même surface, l'importance de ce paramètre à la station III ne peut s'expliquer que par le relief plus accentué qui favorise le rattrapage des crues en réduisant le temps de réponse.

En effet, les éléments modérateurs de ce caractère sont l'état de saturation du sol qui le rend plus ou moins apte au ruissellement, et la pente. A partir du moment où après une certaine hauteur de pluie, le sol atteint son ruissellement optimum, le premier facteur touchant à sa limite maximale n'intervient plus. C'est ce qui se passe lors des fortes intensités.

Si l'on compare les débits spécifiques maximums réels à ceux théoriques que nous pouvons calculer à partir de l'intensité maximale pour un ruissellement de 100 %, et pendant un temps supérieur au temps de réponse, on peut définir un rapport

$$\alpha = \frac{q_r}{q^f(I)}$$

q_r : débit spécifique maximum mesuré

$q^f(I)$: débit spécifique théorique maximum fonction de l'intensité pluviométrique maximale en 5 minutes

Evaluons ce coefficient dans les deux cas de pluviométrie, h_p et h'_p (pluviométrie corrigée). Les débits spécifiques sont exprimés en $m^3/s/km^2$.

	$q_1 \max$	$q_1^f(I)$	α_1	$q_2 \max$	$q_2^f(I)$	α_2	$q'_1 \max$	$q'_1 f(I)$	α'_1	$q'_2 \max$	$q'_2 f(I)$	α'_2
ZITA I	26,2	29,4	0,89	40,3	41,6	0,87	32,7	0,80	46,2	0,87		
ZITA II	37,5	30,0	1,25	50,5	43,3	1,17	33,3	1,13	48,1	1,05		
ZITA III	46,0	30,0	1,53	73	43,9	1,66	33,3	1,38	48,7	1,50		

Pour une même averse, ce coefficient ne peut être fonction que des caractéristiques géomorphologiques du bassin et de la perméabilité des horizons superficiels. Dans l'état actuel des mesures, nous ne possédons pas suffisamment d'observations pour déterminer exactement les paramètres influents. Rappelons toutefois que le fait que ce coefficient soit proche de l'unité ou supérieur a été expliqué précédemment (4.2.3) :

- les intensités maximales sont doublement sous-estimées : effet des turbulences, principe de la mesure
- les intensités maximales à prendre en compte ne sont pas mesurées obligatoirement sur des périodes minimales de 5 minutes, mais peuvent être les intensités "instantanées"
- l'aptitude du sol au ruissellement croît avec le temps au cours de l'averse et avec l'intensité. D'où une diminution du temps de réponse et la possibilité de chevauchement des ondes de crues.

5.2.2 Coefficient de ruissellement

La comparaison des coefficients appelle les remarques suivantes :

../.

5.2.2.1 Le bassin principal, bien que pouvant être classé dans les petits bassins, présente une superficie nettement supérieure à celle des autres stations et devrait donc avoir un coefficient sensiblement plus faible. Il n'en est rien et même pour la seconde crue, il atteint presque 100 %. L'explication la plus vraisemblable paraît être dans la marge d'erreur de la courbe de tarage due à :

- l'imprécision inhérente aux méthodes employées : jaugeages aux flotteurs,

- à la valeur choisie du rapport $\frac{U}{V_{ms}}$

Malgré le régime très turbulent de l'oued, il est possible que le rayon hydraulique étant petit, ce rapport soit inférieur à 1. Il n'est malheureusement pas possible dans l'état actuel de l'équipement de vérifier ces hypothèses.

5.2.2.2 La comparaison des stations II et III ne fait pas apparaître de différence importante à laquelle on aurait pu s'attendre en raison des facteurs défavorables au ruissellement de la Ravine.

- Son sol est quasi exclusivement formé de gypse altéré et fissuré, formant parfois un relief karstique, propice aux infiltrations,

- Son relief masque une surface développée, donc une surface d'infiltration approximativement double de celle de la projection horizontale.

Là encore il est possible que l'estimation des débits soit à mettre en cause.

5.2.2.3 Les coefficients corrigés K'_r semblent mieux rendre compte des phénomènes que K_r :

- ils tiennent mieux compte des observations empiriques faites sur place

- ils respectent mieux la hiérarchie de perméabilité des bassins déjà observée lors des crues antérieures, à l'exception toutefois de la station principale : Station III et station I; station II; Telman.

- les pluies corrigées à partir desquelles ils sont calculés, satisfont parfaitement le bilan hydrologique de la station II et donnent un coefficient tout à fait vraisemblable sur la citerne Telman.

5.3 Transports en suspension

Seules les deux premières stations permettent des comparaisons :

	C max (g/l)	C moy (g/l)	Ps (t/ha)	e (mm)
ZITA I	(87)	(47,1)	(108,8)	6,04
ZITA II	14	7,6	16,5	1,10
TELMAN			23 *	1,53 *

* pour la période du 1.10.73 au 21.12.73

Les résultats de la citerne Telman sont donnés à titre indicatif, mais pour les raisons déjà exposées, ils semblent erronés (effet des apports extérieurs).

Rappelons aussi que les paramètres tels que l'érosion spécifique "q_s" ou l'épaisseur de terrain enlevée "e", ne prétendent pas représenter une réalité physique. Ils permettent néanmoins d'analyser grossièrement le mécanisme de l'érosion à l'échelle du bassin principal.

On peut le décomposer en trois grandes unités :

- les plateaux limono-argileux sur marnes gypseuses formant la tête du bassin
- les croûtes gypseuses
- la zone à relief accentué sur gypse, marne et calcaire.

Bien que les croûtes gypseuses soient plus cohérentes et moins propices à l'érosion, nous estimerons qu'étant donné les similitudes de relief, celle-ci est identique sur ces deux dernières unités représentant environ les 2/5 de la surface du bassin.

Les prélèvements faits sur la station III fournissant des turbidités toujours inférieures à celles de la station I, on peut par excès estimer l'érosion de cette zone identique à celle de la station I, soit 108,8 tonne/ha.

La part de l'érosion primaire arrachée au sol avant le ruissellement des particules d'eau dans les talwegs serait, pour le bassin principal :

$$\frac{2}{5} \times (108,8) + \frac{3}{5} \times (16,5) = 53,4 \text{ t/ha}$$

La différence, soit 55 t/ha proviendrait exclusivement de l'érosion des berges et du fond, soit plus de 50 % de l'érosion totale.

En réalité, la part de l'érosion des berges à l'érosion totale est plus importante :

- les turbidités relevées à la station III ne comprennent pas uniquement l'érosion primaire mais aussi celle fournie par les talwegs formant l'embryon de réseau de drainage
- les turbidités prises en considération dans le calcul sont, à défaut de mesures, surestimées
- l'assimilation des deux unités, à partir du relief surestimé encore les turbidités puisque l'effet mécanique des eaux sur les croûtes, bien plus cohérent que les sols composant la dernière unité, provoque une érosion moindre.

Pour ces raisons, on peut estimer à environ 70 % la part contributive des berges à l'érosion totale, ce qui représente pour l'érosion primaire :

$$e = 2 \text{ mm}$$

5.4 Salinité

Comme pour les turbidités, seules les deux premières stations offrent des résultats complets permettant quelques remarques :

	C moy (g/l)	P _c (t/ha)
ZITA I	2,37	5,47
ZITA II	0,85	1,86

La décomposition en trois unités du bassin peut encore expliquer en partie la différence de qualité des eaux. Les croûtes gypseuses et les alternances de gypse, marne et calcaire, par lessivage et dissolution des sols accroissent plus fortement la

salinité des eaux que l'unité limono-argileuse présente sur la station II et moins riche en gypse.

Cela confirme aussi, s'il en était besoin, le résultat des analyses faisant apparaître le sulfate de calcium comme le principal composant de sels dissous.

Enfin nous avons noté sur les deux premières stations une brusque augmentation des salinités avec le débit et donc avec le transport solide. Ce fait est plus remarquable sur la station secondaire où les résidus secs sont plus faibles et donc l'accroissement plus sensible.

La raison pourrait en être le temps qui s'écoule entre le prélèvement et la filtration en laboratoire. Les transports solides en suspension sont composés de tous les sels présents sur le terrain et particulièrement de gypse dont la mise en solution progressive par l'eau augmente la salinité. Il n'est pas exclu que, dans le cas présent, on ait eu au bout de 10 jours des solutions pratiquement saturées en gypse. Cela va se traduire, pour les échantillons chargés en matière solide, par une sous-estimation de la turbidité et une surestimation de la salinité. Seules des mesures de conductivité "in situ" ou la filtration immédiate des échantillons sur place pourront nous éclairer à ce sujet.

Pour terminer, il faut noter que seuls les sels dissous sont pris en considération et que les résultats obtenus ne tiennent pas compte des sels non dissous exportés avec les transports solides.

- A N N E X E S -

Annexe Fig. 21

BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA

STATION I

Crue du 12 décembre 1973

courbe $V_s = f(H)$ - R.D. et R.G.

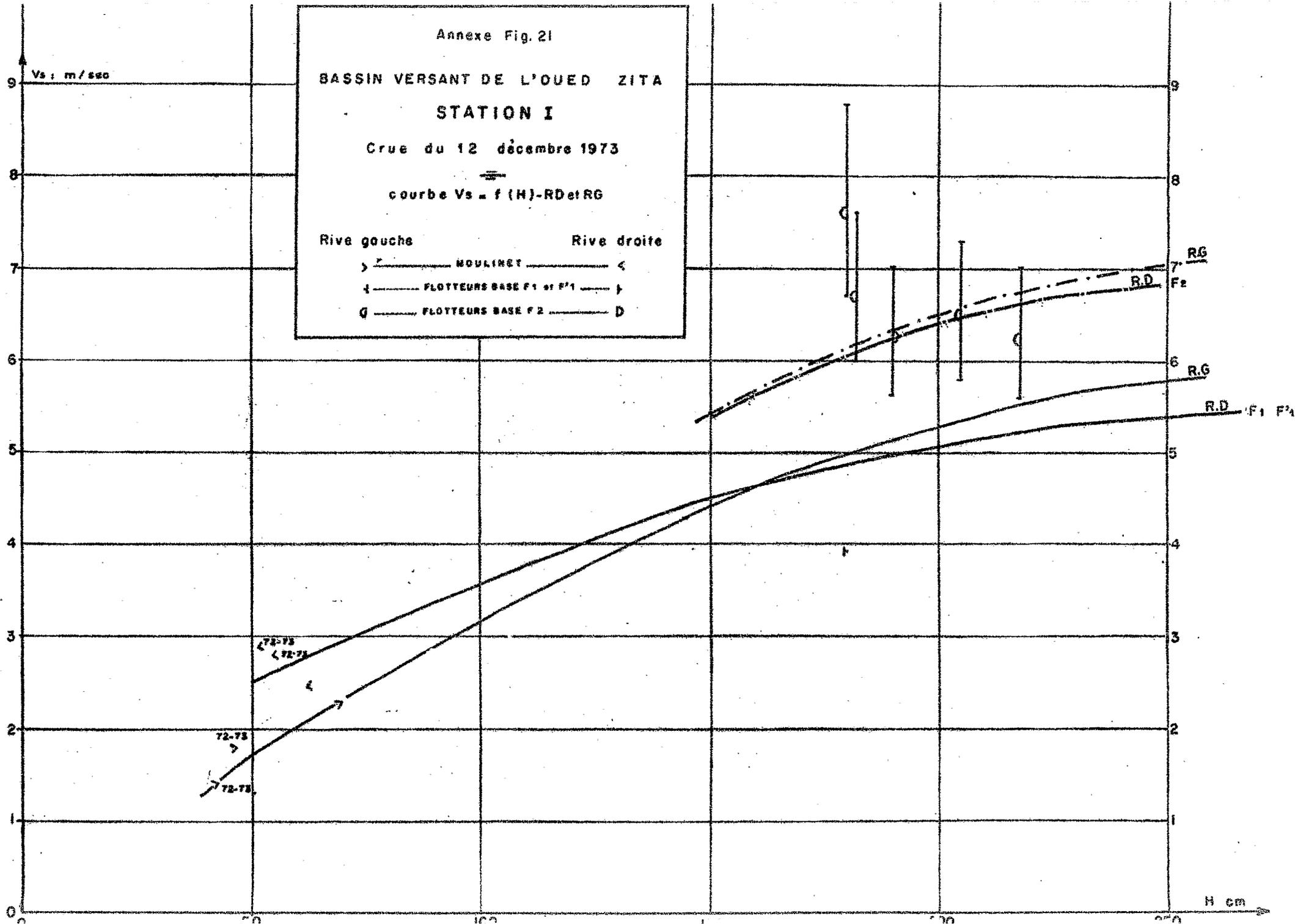
Rive gauche

Rive droite

MOULINET

FLOTTEURS BASE F1 et F'1

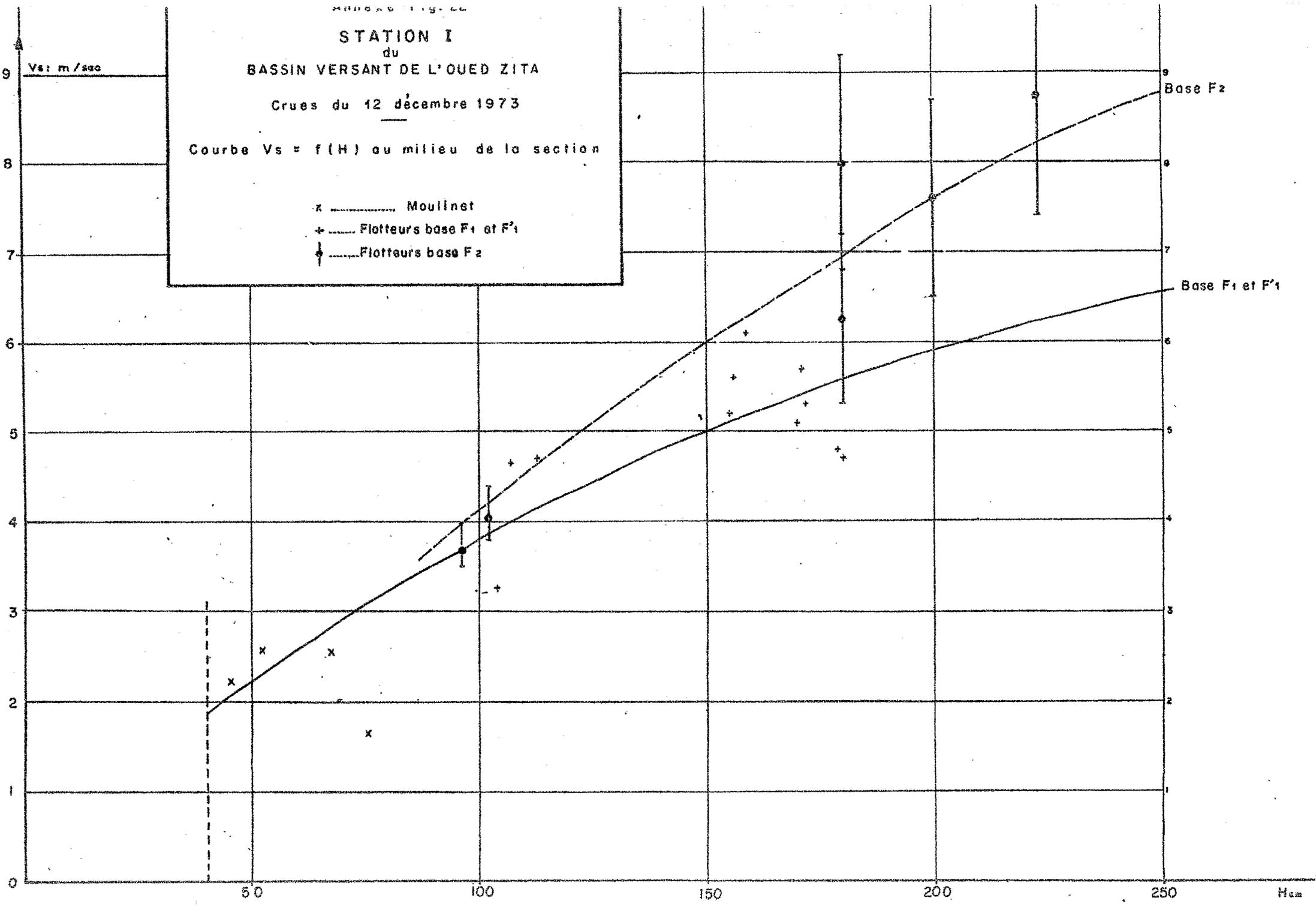
FLOTTEURS BASE F2



STATION I
 du
 BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA
 Crues du 12 décembre 1973

Courbe $V_s = f(H)$ au milieu de la section

- x Moulinet
- + Flotteurs base F₁ et F'₁
- Flotteurs base F₂

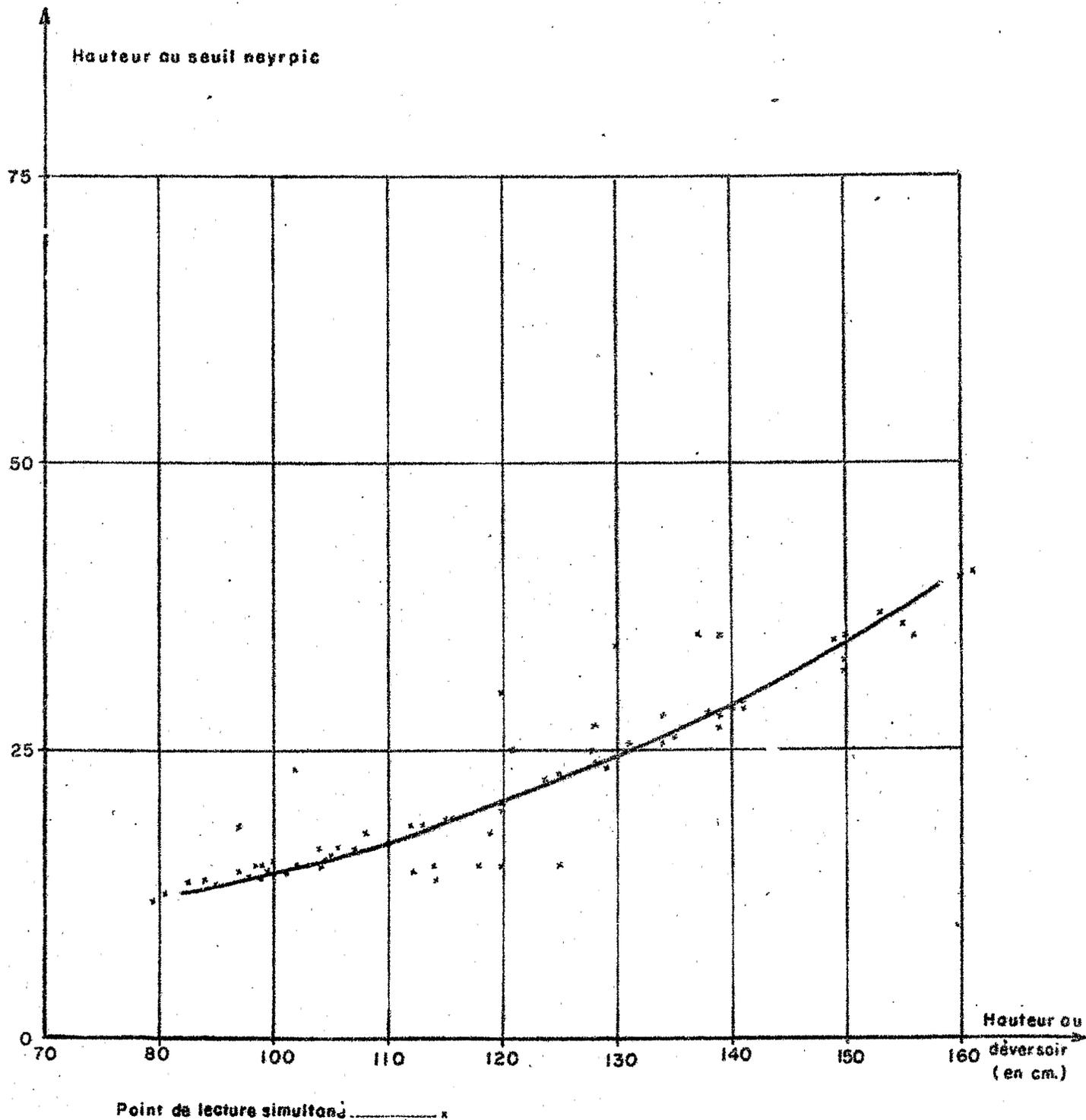


BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA

STATION II

Cruée du 12 décembre 1973

Courbe de corrélation $\frac{\text{échelle déversoir triangulaire}}{\text{échelle seuil neyrpic}}$



Vs: m/sec.

Annexe Fig. 24
STATION III
 du
BASSIN VERSANT DE L'OUED ZITA
 Crues du 12 décembre 1973
 —
 Vitesse de surface (moulinet) - Vs = f (H)

- D ----- Vs rive droite
- e ----- Vs rive gauche
- ● ----- Vs milieu
- V ms

