

N° d'Ordre

# THÈSE

Présentée

**A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS**

pour obtenir

**LE GRADE DE DOCTEUR-INGENIEUR  
EN HYDROLOGIE**

par

**Hossein SEDGHI**

**ETUDE DE L'ÉCOULEMENT DE  
CASES LYSIMÉTRIQUES**

*Soutenue le 1971 devant la commission d'examen*

**MM. L. GLANGEAUD** *Président*  
**G. LUCAS** *Examineurs*  
**S. HENIN**

A Monsieur Monnier  
avec mes remerciements  
Juillet 1971  
H. Sedghi

PLAN  
\*\*\*\*\*

INTRODUCTION

Première Partie : LYSIMETRES.

I - Installations lysimétriques

I - 1	Caractéristiques .....	1
I - 2	Différents types .....	2
I - 3	Remplissage .....	3

II - Etude du régime de drainage

II - 1	Drainage annuel .....	4
II - 2	Drainage semestriel .....	7
II - 3	Drainage mensuel .....	7
II - 4	Courbes des débits journaliers classés .....	13
II - 4 - 1	Parties de courbes correspondant aux débits intenses ( $q > 0,5$ mm/j)	15
II - 4 - 2	Parties de courbes correspondant aux faibles débits ( $0,5 < q < 0,95$ mm/jour) .....	15
II - 5	Conclusion .....	27

III - Etude des hydrogrammes du drainage (épisodes sélectionnés)

III - 1	Généralités .....	29
III - 2	Analyse des débits d'après les mesures journalières, étude de quelques cas caractéristiques .....	31

III - 2 - 1	Cas sélectionnés pendant les mois chauds .....	31
III - 2 - 2	Cas sélectionnés pendant les mois froids .....	42
III - 2 - 3	Conclusion sur les cas sélec- tionnés de "saison chaude " et de "saison froide .....	44
III - 3	Analyse des drainages recueillis par les appareils enregistreurs (intervalle de temps entre deux mesures souvent très inférieur à 24 heures) .....	48
III - 3 - 1	Généralités .....	48
III - 3 - 2	Analyse des hydrogrammes .....	60
III - 3 - 3	Quantité totale de drainage et sa répartition dans le temps .....	70
III - 3 - 4	Courbes de pluie et de drainages cumulés .....	73
III - 3 - 5	Hydrogrammes du drainage à partir d'une fonte de neige et pendant la période de gel .....	78
III - 3 - 6	Conclusion .....	81
III - 4	Tarissement .....	83
III - 4 - 1	Rappel de quelques formules appliquées à la courbe de taris- sment du drainage .....	85
III - 4 - 2	Ajustement des données .....	85
III - 4 - 3	Description des courbes .....	86
III - 4 - 4	Etude d'ensemble des résultats obtenus dans l'étude du taris- sment .....	87

## Deuxième Partie : BACS EXPERIMENTAUX (abrités)

Généralités .....	100
<u>I. - Installation</u>	
I - 1 Remplissage .....	105
I - 2 Calcul de quelques paramètres du sol . . . . Densité, porosité, etc .....	106
<u>II - Expériences : étude du drainage</u>	
II - 1 Courbe de vidange des bacs après le remplissage .....	108
II - 2 Analyse des hydrogrammes du drainage de différents arrosages .....	112

## Troisième Partie : EXAMEN DE MODELES

### INTRODUCTION

<u>I. - Ecoulement de l'eau dans un cylindre capillaire</u>	
I - 1 Calcul du débit à une température donnée ...	127
I - 2 Influence de la température .....	128
<u>II. - Essais de confrontation avec des résultats expérimentaux concernant l'eau du sol</u> .....	129
II - 1 Tarissement et tubes capillaires .....	129
II - 2 Oscillations diurnes du drainage .....	131
II - 3 A propos d'autres modèles (égouttage).....	132
<u>Résumé et conclusions générales</u> .....	133

## AVANT - PROPOS

---

Avant d'exposer les résultats de ce travail , je voudrais exprimer ma profonde reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont aidé dans sa réalisation .

Je prie Monsieur le Professeur GLANGEAUD , Membre de l'Institut, de bien vouloir accepter ma respectueuse gratitude pour m'avoir permis de m'initier aux nouveautés techniques et scientifiques dans son laboratoire et je le remercie aussi de m'avoir fait l'honneur d'assurer la Présidence du Jury de cette thèse .

Ma très sincère reconnaissance s'adresse également à Monsieur le Professeur HENIN , Membre de l'Académie d'Agriculture , Chef de Département à l'Institut National de Recherches Agronomiques , qui m'a accueilli au Laboratoire des Sols et en acceptant la direction de cette thèse a toujours suivi mes travaux malgré sa lourde charge ; je le remercie vivement d'avoir facilité mon séjour en France grâce à son intervention sur le plan de ma bourse .

Je remercie infiniment Monsieur le Professeur LUCAS d'avoir accepté aimablement de faire partie de ce Jury .

C'est à Monsieur TURC , Maître de Recherches au Laboratoire des Sols du C. N. R. A. que je dois particulièrement la réalisation de ce travail, je suis très heureux de lui exprimer ma profonde reconnaissance pour les encouragements, les critiques et les conseils précieux dont il m'a fait profiter. Je n'oublie pas sa chaleureuse assistance tant sur le plan du travail que pour résoudre mes nombreux problèmes d'ordre personnel ; je le remercie beaucoup d'avoir été pour moi un soutien moral très précieux.

Je n'oublie pas non plus l'aimabilité de Monsieur BETREMIEUX, Directeur du Laboratoire des Sols qui a bien voulu me permettre de poursuivre mes recherches dans son Laboratoire et qui a facilité énormément la préparation de cette thèse ; je lui en suis très profondément reconnaissant.

Je remercie Messieurs FEODOROFF et MONNIER, Maîtres de Recherches au Laboratoire des Sols qui m'ont apporté également leur aide précieuse.

Mes remerciements s'adressent à tous les autres membres de l'équipe du Laboratoire des Sols (Personnel scientifique et technique et secrétaire° qui m'ont accepté parmi eux et qui m'ont apporté leur aide amicale.

En particulier, je dois remercier Madame LECERF pour son aide technique qu'elle n'a cessé de m'apporter tout au long de ce travail.

Je remercie d'autre part, très vivement Monsieur B. LENEUF, Ingénieur à la S C E T - Coopération pour avoir facilité le séjour de ma famille en France.

## INTRODUCTION

---

Dans l'étude de divers problèmes concernant le régime hydrique des sols, et en particulier, la façon dont les sols drainent et se ressuient, on utilise depuis longtemps des cases lysimétriques ou lysimètres ; il s'agit de cuves remplies de terre, alimentées en eau par les précipitations ou artificiellement, à la base desquelles on recueille quantitativement l'eau qui a traversé la terre (1)

Dans ces installations expérimentales, on s'efforce de reproduire le mieux possible les conditions de sol en place, mais cette reproduction est toujours imparfaite ; en ce qui concerne le ressuyage, c'est la présence du fond drainant qui semble susceptible d'introduire les perturbations les plus graves, sauf lorsque le sol en place comprend une couche superficielle de texture relativement fine reposant sur un matériau plus grossier et qu'on peut utiliser des lysimètres de profondeurs supérieures à l'épaisseur de la couche de terre fine. En réalité, lorsque la condition précédente n'est pas remplie, on peut obtenir néanmoins des approximations convenables et l'emploi de cases s'est souvent montré très utile. Ceci justifie la poursuite d'études concernant le fonctionnement des cases lysimétriques ; c'est à certains aspects de ce fonctionnement qu'est consacré le travail que nous allons présenter. En étudiant l'écoulement de cases lysimétriques, la façon dont elles drainent, nous souhaitons apporter une contribution à la façon d'utiliser les cases et à la connaissance des conditions de drainage de certains sols.

---

(1) - Voir description d'une case lysimétrique au début du premier chapitre

Cette étude débute par une présentation du matériel utilisé : des lysimètres dans lesquels on étudie le régime de drainage d'un sol nu et sans végétation. Nous examinons l'évolution du drainage en fonction du temps et surtout sa décroissance au cours des périodes sans apport d'eau.

Les premiers hydrogrammes que nous considérons sont constitués par les relevés quotidiens de drainage, nous les avons complétés ensuite en utilisant des appareils enregistreurs qui permettent de suivre l'évolution du drainage pendant les intervalles de temps beaucoup plus courts. Tout au long de cette étude, nous avons comparé entre eux les résultats obtenus avec des cases à sol nu de profondeurs différentes : ce sont les trois profondeurs de 50 cm, 100 et 150 cm qui ont été utilisées.

Etant donné la fréquence des pluies naturelles, auxquelles sont soumises à Versailles les cases lysimétriques, il est très difficile de trouver des épisodes de tarissement complets ; il a paru donc nécessaire d'installer des modèles sous abri, arrosés artificiellement (arrosages représentatifs des pluies naturelles sur les lysimètres). Ces modèles que nous avons appelés "bacs expérimentaux" ont été installés dans une serre froide ; les mêmes études des hydrogrammes du drainage et du tarissement ont été réexaminées sur ces nouveaux appareils contenant les mêmes matériaux que les cases. Puisqu'on avait comparé les drainages de cases de profondeurs allant de 50 à 150 cm, on utilise des bacs ayant les mêmes profondeurs ce qui a permis de confirmer les différences observées entre les cases.

Enfin, nous avons calculé ce que serait la circulation de l'eau dans certains modèles constitués de "tubes capillaires" ; le tarissement, ainsi que l'effet de la température sur l'écoulement dans ces modèles, ont été examinés et les résultats ont été confrontés avec les observations expérimentales.

## PREMIERE PARTIE

=====

### CASES LYSIMETRIQUES

---

#### I. - INSTALLATIONS -

-----

##### I. - 1 - CARACTERISTIQUES

Les cases lysimétriques sont des cuves enterrées ayant des parois verticales et un fond étanche, remplies par le matériau à étudier jusqu'à quelques centimètres de leur bord supérieur. La surface supérieure de ces matériaux est au niveau du sol environnant. L'eau du drainage est recueillie et mesurée par un évacuateur qui se trouve dans les cases que nous avons utilisées au point le plus bas.

Il existe de telles cases de dimensions très différentes ; leur surface varie d'une fraction de mètre carré jusqu'à plusieurs centaines de mètres carrés, (exemple : cases de 625 m<sup>2</sup> à Castricum, Pays-Bas) ; leur profondeur qui dépasse de quelques décimètres l'épaisseur de la couche du sol introduite dans la case est variable elle aussi. Nous présentons sur la figure I - 1 le plan et la coupe verticale d'une case prototype.

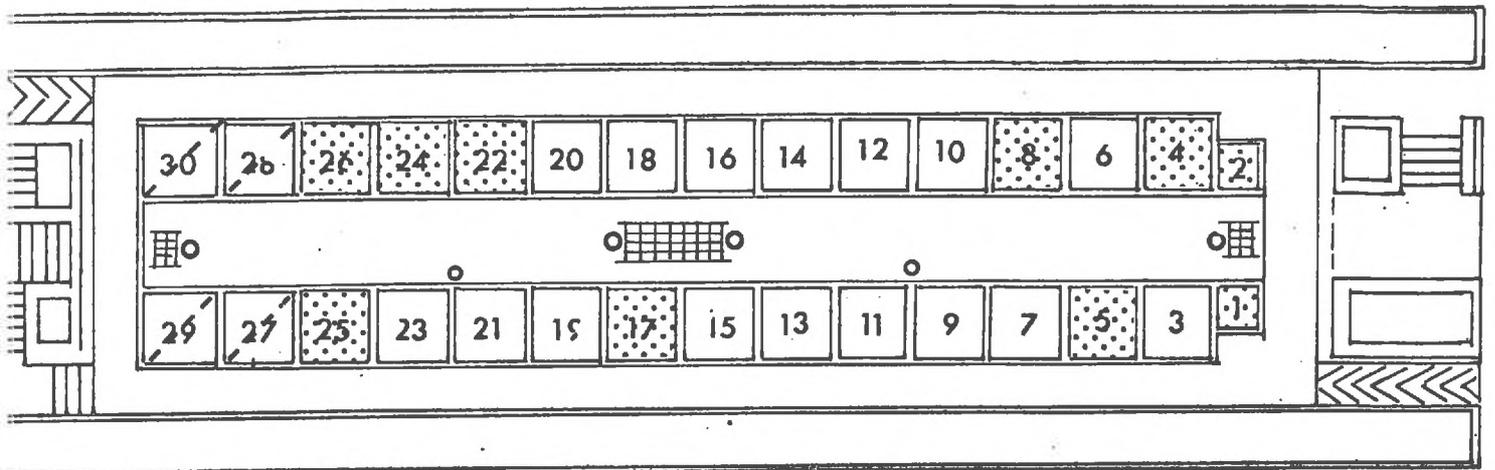
##### I - 2 - DIFFERENTS TYPES

On peut distinguer :

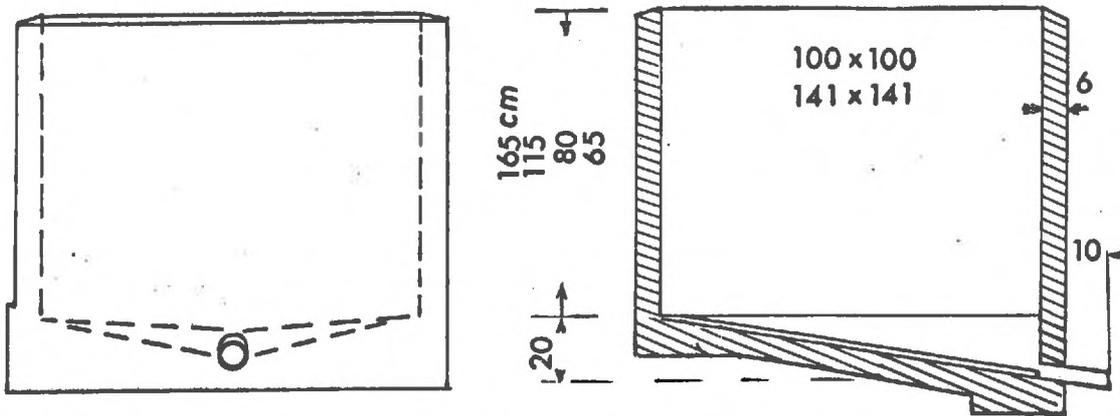
- Cases monolithes : cases bâties autour d'un bloc de terre non remanié ; le profil pédologique dans la case est le même que celui du sol environnant ;

ou bien cases remplies : le sol a été remanié et séché, puis introduit dans la case creusée et construite. Le profil pédologique peut être alors différent de celui du sol voisin ; le remplissage peut se faire

FIG. 1-1



- PLAN -



- COUPES VERTICALES -

SCHEMA DES INSTALLATIONS LYSIMETRIQUES  
DU CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES AGRONOMIQUES  
(VERSAILLES)

CASES NUES ETUDIEES :

N°	Surface m <sup>2</sup>	Profondeur du sol m	remplies du :
1	1	0,60	granite broyé "horizon A"
2	1	0,60	
4	2	0,50	"Horizon B"
5	2	1,0	
8	2	1,50	
17	2	1,50	
22	2	1,50	
24	2	1,50	
25	2	1,50	
26	2	1,50	

en respectant l'ordre du profil du sol.

- Cases non pesables ou bien cases pesables : on obtient des cases pesables soit en les montant sur une bascule, soit par d'autres systèmes, on peut suivre ainsi les variations de l'humidité du sol d'après les variations du poids des cases.

Notre étude est basée sur les résultats d'observations lysimétriques faites au Centre National de Recherches Agronomiques de Versailles, sur des cases remplies, non pesables, installées et exploitées depuis janvier 1956. Nous étudions les drainages de cases dont le sol est nu, c'est-à-dire qu'il ne porte ni végétation, ni autre couverture (paille par exemple) ; de plus, il ne subit pas de traitement superficiel particulier (tel que damage ou binage). Parmi ces "cases nues", deux ont une surface de  $1 \text{ m}^2$  et une profondeur utile (épaisseur de la terre) de 60 cm, et contiennent des matériaux différents du contenu des autres cases ; les autres ont  $2 \text{ m}^2$  de surface, l'une ayant 0,50 m de profondeur utile, une autre 1 m et le reste 1,50 m.

### I. - 3 - REMPLISSAGE

La terre utilisée pour le remplissage a été prise sur le domaine de la Minière, dans un secteur limoneux où on distingue trois couches superposées :

- une première couche superficielle de 30 cm d'épaisseur ayant 2 à 3 % de matières organiques, sans calcaire ;
- une deuxième couche ou couche intermédiaire, allant jusqu'à une profondeur de 70 à 100 cm avec 0,5 à 1 % de matières organiques et 30 % d'argile ( $\phi < 2 \mu$ ) ; sans calcaire ;
- une troisième couche qui commence à partir de 100 à 130 cm de profondeur, contenant du calcaire.

C'est la deuxième couche qui a été utilisée ; la composition de cette terre est donnée dans le tableau I ci-dessous :

Classe de taille des particules	%
Argile ( $\phi < 2 \mu$ )	28,5
Limon fin (2 à $20 \mu$ )	24,0
Limon grossier (20 à $50 \mu$ )	44,5
Sable fin (50 à $200 \mu$ ) Sable grossier ( $200 \mu$ à 2 mm)	2,4
Matières organiques	0,6

Tableau N.° 1 - Composition granulométrique

Le remplissage de ces cases a été effectué par submersion, afin que la terre atteigne de façon relativement rapide un état de tassement proche de celui du sol en place (la terre, séchée à l'air, est jetée dans l'eau où elle éclate, on veille à ce que tout au long du remplissage le niveau de la terre reste au-dessous du niveau de l'eau) ; ensuite, on a ouvert les goulotte de drainage et les cases sont ressuyées.

On peut estimer qu'après deux ou trois ans, les caractères physiques du sol s'approchent de leur état initial.

Des comparaisons faites par différents auteurs entre les drainages mensuels des cases remplies et de certaines cases bâties autour de blocs de terre en place n'ont pas montré de différences notables.

## II. - ETUDE DU REGIME DE DRAINAGE

Présentation du milieu de travail :

Les volumes de drainage journaliers pendant près de 14 années d'observations nous permettent de faire les dépouillements qui facilitent leur analyse pour en tirer les éléments qui nous intéressent. Nous avons présenté dans ce chapitre les drainages annuels, semestriels, mensuels, etc... par une série de tableaux et de graphiques, afin de comparer les résultats de trois cases ayant respectivement 50, 100 et 150 cm de profondeur.

### II - 1 - DRAINAGE ANNUEL

Le tableau II - 1 - 1 présente la hauteur annuelle du drainage d'une case de 50 cm, d'une case de 100 cm et de six cases profondes de 150 cm. Les 14 années d'observations ont été découpées en 4 périodes et nous avons donné pour chacune la hauteur moyenne du drainage en mm par an.

Période	Années commençant au 1 <sup>er</sup> janv.	C. 4 0,5 m	C. 5 1,0 m	C. 8 1,5 m	C. 12 1,5 m	C. 17 1,5 m	C. 24 1,5 m	C. 25 1,5 m	C. 26 1,5 m
1	1956 - 58	217,26	259,52	234,81	263,80	253,35			
2	1959 - 62	297,48	295,24	311,47	312,82	303,56	305,68	299,65	292,44
3	1963 - 66	309,50	335,75	343,96	356,18	338,42	321,88	345,44	333,32
4	1967 - 69	271,75	284,26	303,63	323,23	318,31	318,58	313,23	321,45

Tableau N° II - 1 - 1

Comparaison des drainages annuels des lysimètres  
(1956 - 1969)

Tableau N° II - 1 - 2

ANNÉE	Hauteur du drainage en mm			
	Case 4 0,5 m	m de 1,50	M de 1,5	P
1959	325,00	249,12	336,40	470,3
1960	364,83	369,75	387,80	690,9
1961	263,40	266,60	290,40	557,3
1962	236,69	247,80	261,40	512,1
1963	209,13	225,19	244,89	576,5
1964	120,85	152,13	204,90	493,7
1965	445,10	447,40	490,26	837,4
1966	460,34	450,85	498,58	814,4
1967	290,73	303,13	321,25	640,4
1968	313,70	346,86	356,75	586,3
1969	210,83	258,78	305,82	603,2
Moyenne	291,56	306,84	336,20	616,5

$$(\bar{M} - \bar{m}) = 29,36 \text{ mm}$$

$$(\bar{m} - \bar{d}r 50) = 15,28 \text{ mm}$$

m = moyenne entre les 2 plus faibles valeurs de drainage de C150

M = moyenne entre les 2 plus fortes valeurs de drainage de C150

Sur ce tableau, les valeurs de la case de 50 cm sont presque toujours inférieures à celles des cases de 150 cm.

Parmi les drainages annuels de six cases profondes, les moyennes des deux valeurs les plus grandes (M) et celles des deux valeurs les plus faibles (m) ont été calculées et comparées avec les valeurs correspondantes de la case de 50 cm. Les données sont présentées dans le tableau II - 1 -2.

Sauf pour l'année 1959 où trois des six cases profondes qui venaient d'être mises en service ont drainé en quantité plus faible que les autres, on remarque que les valeurs de la case de 50 restent inférieures, exceptionnellement égales ou peu supérieures (1966), au plus faible drainage des cases de 150. La différence entre la hauteur moyenne annuelle de la case 50 et la moyenne des plus faibles valeurs est de l'ordre de 15 mm par an, tandis que la différence entre la moyenne des valeurs les plus fortes M et les plus faibles m, est deux fois plus grande.

Comme on n'a qu'une seule case de 50 cm qui soit remplie du même matériau que les cases profondes, on ne peut estimer si cette faible différence peut être considérée comme due à l'effet de la différence de profondeur ; la case de 1 m ne se distingue pas, ici, des cases de 1 m 50.

On ne met pas en évidence de liaison entre la profondeur des cases nues et le total annuel du drainage.

Il faut indiquer que les cases sont alignées en deux rangées parallèles, les cases peu profondes étant groupées à une extrémité. On pourrait craindre alors d'attribuer à des différences de profondeur des différences de drainage dues en réalité à des différences de position ; en fait, les comparaisons entre les drainages des cases profondes ont montré qu'il n'apparaît pas d'influence des positions relatives.

## II. - 2 - DRAINAGE SEMESTRIEL

-----

Etant donné la faiblesse des différences entre les quantités d'eau drainées par les lysimètres de profondeurs différentes au cours de périodes annuelles, les conditions ont paru convenables pour effectuer aisément des comparaisons portant sur des périodes plus courtes : le semestre et le mois. Nous avons découpé l'année en deux saisons, la première commençant le 1er avril et finissant le 30 septembre, la seconde à pour début le 1er octobre et pour fin le 31 mars de l'année suivante. Nous avons présenté les données pour trois cases dans le tableau II - 2.

En raison du pouvoir évaporant de l'atmosphère, une pluviosité donnée provoque un drainage plus important en hiver qu'en été ; le tableau II - 2 montre que, la pluviométrie moyenne sur 13 ans étant presque égale pendant la saison chaude et pendant la froide (48,2 % du total annuel pendant "l'hiver" et 51,8 % pendant "l'été"), le drainage moyen durant la saison chaude est seulement 20,3 % du total annuel pour la case de 50 cm, 21,1 % pour la case de 100 cm et 22,2 % pour la case de 150 cm.

Ces résultats montrent d'autre part que le rapport du drainage en été sur le total annuel a tendance à être légèrement plus élevé dans les cases plus profondes. Ceci semble dû à ce que, pour la case de 50 cm, les faibles débits deviennent rapidement presque nuls alors qu'ils se maintiennent plus longtemps à des valeurs notables pour les cases profondes (cette différence entre case de 50 cm et cases profondes sera mise en évidence plus loin, pour l'étude des drainages journaliers).

## II. - 3 - DRAINAGE MENSUEL

-----

La distribution de la quantité d'eau drainée au cours de l'année est, comme nous avons déjà indiqué surtout fonction de la répartition des précipitations et des facteurs climatiques qui conditionnent la fraction de celles-ci qui est perdue par évaporation.

En ce qui concerne les précipitations, nous avons calculé le coefficient pluviométrique de chacun des 12 mois de l'année moyenne pour la période de 1956 à 1969 ; ce coefficient est le quotient de la hauteur des précipitations mensuelles moyennes mesurées par une moyenne calculée ainsi : la précipitation annuelle est divisée par le nombre de jours de l'année et multipliée par le nombre de jours du mois. Les valeurs sont les suivantes :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Coefficient Pluviométrique	1,03	0,82	0,67	0,94	0,94	1,04	1,08	1,18	1,07	1,11	1,07	1,04

Tableau II - 2

Drainage semestriel des cases lysimétriques en mm pour la période 1956 - 1969

Année	Case No 4 Case de 50 cm		Case No 5 Case de 100 cm		Case No 8 Case de 150 cm		Pluviométrie	
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
1956 - 57	23,7	167,9	45,0	182,6	18,8	148,0	263,7	243,5
1957 - 58	35,6	171,3	35,0	193,2	24,4	232,1	304,5	275,5
1958 - 59	96,7	235,6	153,6	244,0	106,5	236,5	414,5	293,8
1959 - 60	32,1	289,0	34,5	278,1	26,5	286,2	159,8	291,4
1960 - 61	64,4	292,7	53,2	304,8	59,7	319,6	322,2	343,9
1961 - 62	25,5	239,2	25,7	227,6	30,4	240,3	280,2	290,4
1962 - 63	32,0	172,3	35,0	182,3	41,4	185,6	290,6	187,5
1963 - 64	84,4	112,7	97,3	115,0	101,3	114,2	375,4	211,0
1964 - 65	11,4	215,0	25,8	223,0	22,2	221,9	264,4	289,3
1965 - 66	123,2	301,0	142,9	317,2	143,2	336,1	459,6	373,2
1966 - 67	85,6	303,3	104,5	303,3	110,4	317,0	351,9	400,0
1967 - 68	54,5	340,8	48,3	338,1	64,0	357,4	309,2	424,9
1968 - 69	70,7	164,6	81,1	186,5	94,1	193,0	364,4	239,1
Moyenne sur 13 ans	56,9	231,1	67,8	238,1	64,8	245,3	320,0	297,0
Moyenne sur 11 ans depuis 58 - 59	61,9	242,3	72,9	272,3	73,2	255,3	326,5	304,0
Total annuel	304,2		345,20		328,5		630,5	
%	20,3	79,7	21,1	78,9	22,2	77,8	51,8	48,2

S<sub>1</sub> : 1er Semestre d'Avril à Septembre

S<sub>2</sub> : 2ème Semestre d'Octobre à Mars

On voit qu'à Versailles, ce coefficient reste proche de 1, ce qui donne une distribution assez uniforme des précipitations au cours de l'année. Les variations du drainage d'un mois à l'autre sont alors dues surtout aux variations de l'évaporation.

Nous avons présenté les valeurs de précipitations et du drainage moyen mensuel dans le tableau II - 3 et sur la figure correspondante I - 2.

Le découpage de l'année en 12 mois ne pose pas de problème pour les précipitations qui sont faciles à déterminer pour chaque période, mais il n'en est pas ainsi pour le drainage dès qu'on s'occupe non plus de moyennes interannuelles mais d'une année particulière ; en effet, le drainage mesuré au cours d'un mois de calendrier n'est pas toujours représentatif du drainage dû à la pluie mensuelle, car une pluie survenant à la fin d'un mois va augmenter le drainage du mois suivant. Mais la division de l'année en périodes naturelles, intervalles de temps limités par le début d'une pluie et la fin du drainage correspondant, présente également des difficultés et manque de précision. Il ne s'agit dans le cas présent que d'une comparaison entre trois couches du sol d'épaisseurs différentes, et les erreurs dues à cet effet seront négligeables lorsqu'on considérera des moyennes interannuelles.

Nous avons ainsi observé que :

Le drainage est maximum pendant les mois de décembre et janvier, la quantité d'eau drainée dépasse la pluie mensuelle, nous avons vu que cela peut être dû à la quantité d'eau stockée dans le sol à l'état liquide à la fin du mois précédent, ou bien à l'effet du dégel qui provoque parfois un drainage important, ou encore à ce que les précipitations reçues par les cases seraient supérieures à ce qu'on mesure avec le pluviomètre.

Le minimum de drainage est observé au mois de juin, il est de l'ordre de 10 à 12 % du drainage maximum et de 10 % de la pluviométrie mensuelle. (1)

Cet examen des drainages mensuels précise un résultat observé sur les drainages semestriels : le drainage varie au cours de l'année approximativement en sens inverse du pouvoir évaporant de l'atmosphère, il est faible pendant les mois chauds et ensoleillés et élevé pendant les mois d'hiver.

La différence concernant les faibles drainages qui semblait apparaître dans l'étude des drainages semestriels (cf. II - 2) paraît se confirmer ici : pendant 13 ans, c'est-à-dire sur 156 mois, les mois

---

(1) Remarque :

La précipitation mensuelle de février est presque aussi faible que celle de mars, contrairement à ce qu'on a vu plus haut pour les coefficients pluviométriques, car ici on n'a pas corrigé les égalités de durée entre les mois.

Tableau N1 II - 3

Drainage et pluviométrie moyens mensuels

(Moyennes interannuelles de 13 années de janvier 1956 à décembre 1969)

MOIS	Drainage (moyennes mensuelles en mm)			Pluie moyenne mensuelle (en mm)
	Case 4 0,5 m	Case 5 1,0 m	Case 8 1,5 m	
Janvier	50,9	54,13	55,9	53,7
Février	30,6	31,5	34,0	38,5
Mars	14,2	17,6	19,9	35,2
Avril	11,3	14,7	14,8	47,5
Mai	6,9	9,4	9,4	48,8
Juin	5,5	7,1	5,9	52,2
Juillet	7,7	9,8	9,0	56,1
Août	9,5	10,7	11,7	59,3
Septembre	15,4	16,0	14,4	55,4
Octobre	24,9	26,0	25,5	55,7
Novembre	48,7	47,7	48,6	55,7
Décembre	52,8	52,1	55,0	52,4
Totaux	278,4	296,7	304,1	610,5

Fig. 1-2

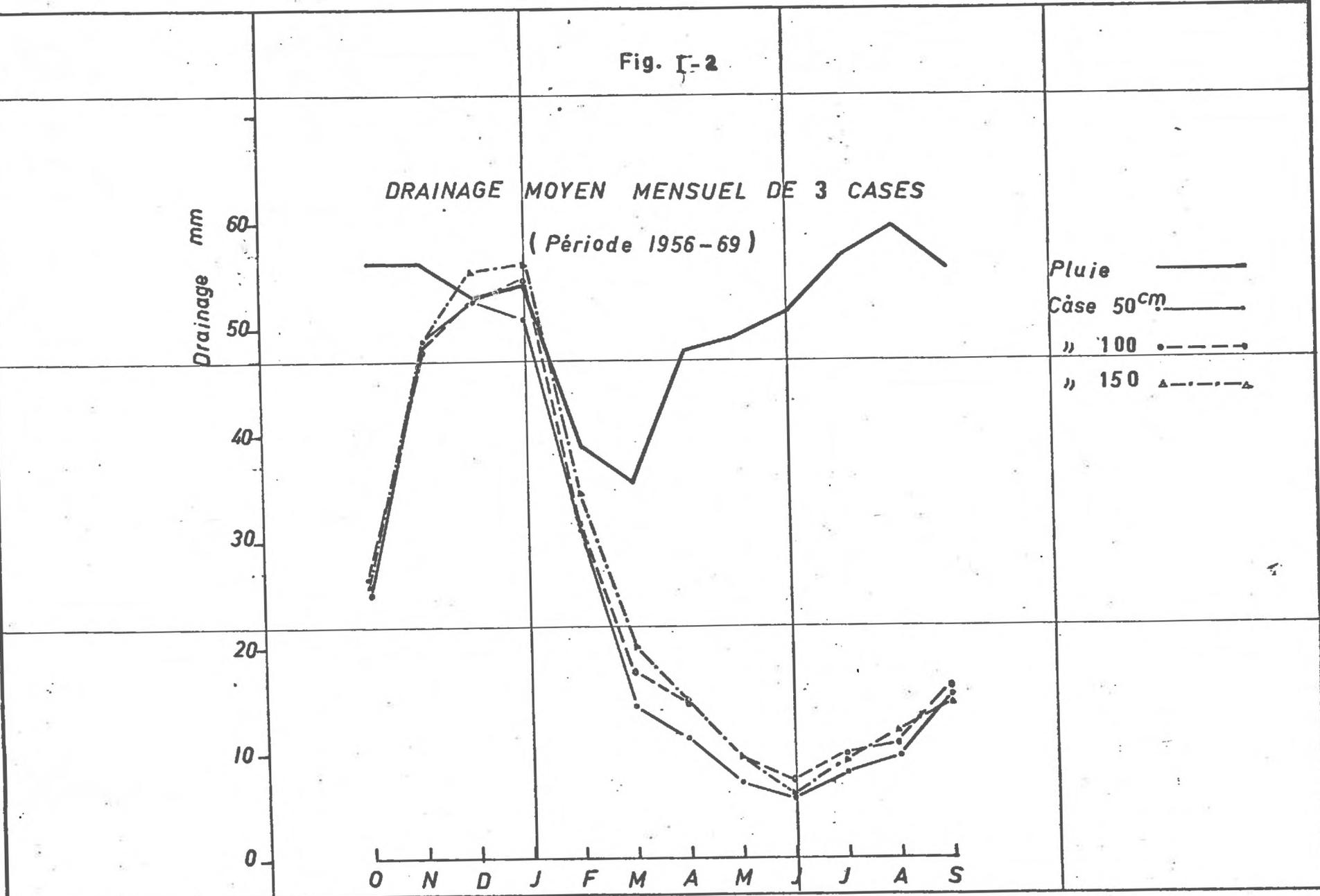
DRAINAGE MOYEN MENSUEL DE 3 CASES  
( Période 1956-69 )

Drainage mm

Pluie ———  
Case 50<sup>cm</sup> ———  
» 100 - - - -  
» 150 ▲ - - - -

60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

O N D J F M A M J J A S



à drainage très faible (ou nul) sont plus nombreux pour la case de 50 cm que pour les autres ; nous avons compté par exemple les mois pour lesquels le drainage est inférieur à 2 mm ; on en trouve

45 pour la case 4 ( 50 cm)

28 pour la case 5 (100 cm)

et 26 pour la case 8 (150 cm).

D'autre part, pour la case 22 (profondeur 150 cm), 17 mois sur 156 ont un drainage inférieur à 2 mm, enfin pour la case 1, peu profonde et remplie d'un matériau très différent, grossier, le nombre de ces mois est de 35, il est de 45 pour la case 2, peu profonde et remplie d'"horizon A". Les résultats concernant les cases 22, 1 et 2 sont en accord avec ce qu'on a obtenu pour les cases 4, 5 et 8, compte tenu des modifications apportées par le fait que les cases 1 et 2 contiennent des matériaux différents.

Disposant des valeurs mensuelles du drainage pour une installation de cases lysimétriques qui a longuement fonctionné avant les cases que nous utilisons maintenant (E.M. Bastisse, 1951), ainsi que pour des cases nues situées à Rothamested qui ont pour nous l'avantage d'être, comme celles que nous étudions actuellement, de différentes profondeurs : une case de 50 cm, une de 100 cm et une de 150 cm, nous avons examiné le drainage mensuel de ces cases de la même façon que celui des cases 4, 5 et 8.

Pour une case nue ayant fonctionné à Versailles pendant les années 1936 à 1948 sur 156 mois, 64 ont eu le drainage inférieur à 2 mm, cette case peu profonde (60 cm) et d'ailleurs de surface plus faible que les nôtres (1 m<sup>2</sup>) semble donc avoir un comportement plus proche de celui de notre case 4 que de celui de nos cases profondes, la différence que nous avons vue apparaître entre la case 4 et les cases profondes semblant même ici très amplifiée ; précisons que notre case 2 a été construite de façon à reproduire le mieux possible cette ancienne case, elle a été remplie du même matériau, et à sec, comme l'avaient été les cases de Demolon et Bastisse.

L'examen des drainages mensuels à Rothamested n'a rien apporté qui aille dans le sens des observations que nous venons de faire à Versailles. Sur 108 mois (1930 - 1938, Rothamested Report for 1930 - 1938), 28 à 30 mois ont eu un drainage inférieur à 2 mm, ceci aussi bien pour la case de 50 cm que pour celles de 100 et 150 cm. Rappelons à ce propos qu'à cette époque, les cases de Rothamested fonctionnaient déjà depuis une soixantaine d'années alors que les nôtres ne fonctionnent que depuis une dizaine d'années, qu'à Rothamested les cases, ayant chacune une surface de 4 m<sup>2</sup> environ, ont été construites autour de monolithes de sol laissé en place, comportant plusieurs horizons pédologiques, alors que les nôtres ont été remplies (sous l'eau comme nous l'avons indiqué précédemment), on a réalisé un profil homogène constitué d'un matériau évidemment différent de celui de Rothamested, enfin les conditions climatiques sont quelque peu différentes ; peut-être ces facteurs contribueraient-ils à expliquer que nous n'ayons pas retrouvé pour le drainage mensuel de Rothamested les différences entre les cases de 50 cm et les cases profondes que nous avons observées à Versailles.

Comme nous l'avons déjà annoncé à la fin de II - 2, l'étude des drainages journaliers va permettre de préciser ces différences ; il semble que l'examen des drainages journaliers de Rothamested montrerait peut-être des différences faibles mais dans le même sens, malgré le résultat négatif obtenu dans l'examen des drainages mensuels, en effet, dans une publication de Penman et Schofield (Penman et Schofield 1941), on peut lire : "(Après que la pluie a cessé), le débit décroît constamment, disparaissant en 24 heures (case de 50 cm), ou environ 48 heures (case de 150 cm)".

## II. - 4 COURBES DES DÉBITS JOURNALIERS CLASSES

-----

Afin d'avoir une idée plus précise sur l'ordre de grandeur des variations de débits du drainage au cours d'une année ou un semestre d'une part, et pour comparer les résultats des cases de différentes profondeurs d'autre part, nous avons établi une série de courbes dites courbes des débits classés. Sur la période d'observation, nous avons sélectionné deux années caractéristiques, l'une étant relativement sèche et l'autre : humide. En les divisant en quatre semestres, nous avons classé les débits journaliers de chaque semestre par ordre de grandeur décroissante. Nous avons porté ensuite sur les diagrammes en ordonnées le débit journalier et en abscisses le numéro du jour d'après le classement en débits décroissants (on a employé des coordonnées semi-logarithmiques, si bien que les longueurs portées en ordonnées sont les logarithmes des débits); cette courbe donne en ordonnée le débit journalier qui a été atteint ou dépassé pendant le nombre de jours correspondant à l'abscisse.

On a ainsi obtenu douze courbes qui correspondent à trois cases, réparties sur quatre semestres. Pour faciliter la comparaison, chaque courbe a été coupée en deux parties, forts et faibles débits :

Tout débit supérieur à 1 litre en un jour équivalent à 0,5 mm en un jour (la surface des cases étant 2 m<sup>2</sup>), est classé comme fort, et inférieur à cette valeur, jusqu'à 0,1 l/j ou 0,05 mm en un jour comme faible. Nous avons négligé les débits au-dessous de 0,05 mm en un jour dont la fréquence est assez faible et la contribution au drainage total négligeable, de plus, au-dessous de cette valeur, la précision relative des mesures n'est pas suffisante.

Les périodes sélectionnées pour ce but sont les années 1961 - 62 et 1965 - 66, les quatre semestres ont été choisis de la façon suivante :

- 1er semestre du 1er avril 1961 au 30 septembre 1961
- 2ème semestre du 1er octobre 1961 au 31 mars 1962
- 3ème semestre du 1er avril 1965 au 30 septembre 1965
- 4ème semestre du 1er octobre 1965 au 31 mars 1966

Sur les graphiques I - 3 - 1 à I - 3 - 4 sont représentées les douze courbes.

De plus, nous avons réparti les débits journaliers en classes et nous avons établi des tableaux indiquant pour chacune des 12 courbes la répartition des drainages dans les différentes classes (tableaux II - 4 - 3 et II - 4 - 4).

Les courbes des débits classés sont très utilisées depuis longtemps dans les calculs hydrologiques des cours d'eau afin d'en tirer les débits caractéristiques tels que le débit maximum, débit de fréquence 1/2, débit de l'étiage, etc... Le but essentiel de leur utilisation dans notre étude est comme nous l'avons déjà dit :

1) Préciser l'ordre de grandeur des variations du débit du drainage d'une certaine épaisseur de sol, délimitée à sa partie supérieure par l'atmosphère et à sa partie inférieure, par des matériaux grossiers, au cours d'une période déterminée.

2) Voir ensuite si l'épaisseur utilisée (de 50 cm à 150 cm) peut avoir une certaine influence sur la forme de ces variations, en comparant les courbes concernant les différentes cases.

Nous avons dit que les quatre semestres sélectionnés ont été choisis de façon à ce qu'ils présentent des conditions hydriques et thermiques assez différentes. Voici ci-dessous la pluviométrie de chaque semestre, ainsi que la valeur moyenne intersemestrielle de 13 années d'observation du drainage.

Semestre	Avril - Septembre	Octobre - Mars
Valeur moyenne intersemestrielle	<u>320,0</u>	<u>297,7</u>
Année 1961 - 62	280,2	300,4
Année 1965 - 66	459,6	373,2

On voit que les deux semestres chauds sont très différents l'un de l'autre en ce qui concerne les précipitations ; ajoutons que les précipitations ont été distribuées, pour les quatre semestres, respectivement sur 66, 93, 97 et 101 jours.

L'examen de l'ensemble des douze courbes met en évidence deux sortes de variations sur la forme de ces courbes.

- Variation de la forme des courbes d'une même case d'une période de l'année à l'autre ; cela est dû, bien entendu, à la quantité d'eau drainée et à sa répartition dans le temps, conséquences de la variation des conditions climatiques.

- Variations au cours d'une même période de courbes correspondant aux cases de différentes profondeurs. La différence observée vient, en supposant toutes choses égales par ailleurs, de l'effet de la profondeur du sol. Nous examinons brièvement les résultats obtenus.

II - 4 - 1 Parties des courbes correspondant aux débits de drainage intenses ( $q \geq 0,5 \text{ mm/j}$ )

Cette partie des courbes a tendance à être assez peu différente pour les trois couches de différentes profondeurs. Sa pente varie d'une saison à l'autre suivant les précipitations et la température, etc ... et reste plus ou moins indépendante de la profondeur de la couche drainante. Le tableau ci-dessous présente le nombre de jours, pendant chaque période, couverts par cette partie de courbe.

Tableau II - 4 - 1

Nombre de jours de drainage avec  $q \geq 0,5 \text{ mm/j}$

Semestre	Case 4 50 cm	Case 5 100 cm	Case 8 150 cm
Avril - Septembre 61	9	8	7
Octobre 61 - Mars 62	88	86	91
Avril - Septembre 65	25	29	26
Octobre 65 - Mars 66	85	92	92

II - 4 - 2 Parties correspondant aux faibles débits ( $0,5 > q > 0,05 \text{ mm/j}$ )

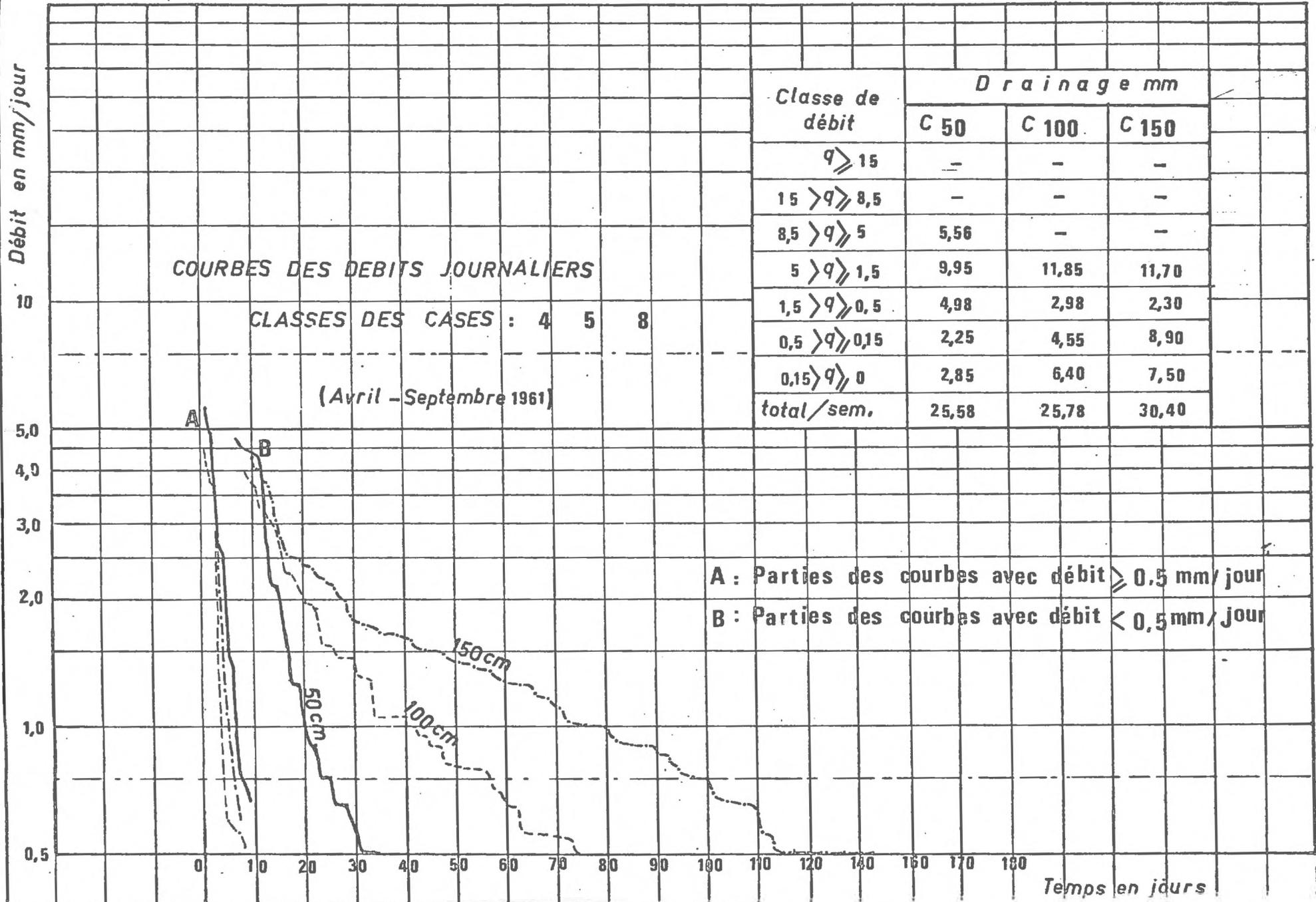
Contrairement à ce que l'on a observé pour la première partie, les courbes des débits de drainage classés avec  $q < 0,5 \text{ mm/j}$  sont différentes d'une case à l'autre au cours d'une même période. La pente de cette courbe varie selon la profondeur de la couche drainante ; un tableau II - 4 - 2, pareil au précédent, montre le nombre de jours de drainage observé pour les trois cases, avec débit inférieur à  $0,5 \text{ mm/j}$ .

Tableau II - 4 - 2

Nombre de jours de drainage avec  $0,05 < q < 0,5 \text{ mm/j}$

Semestre	Case 4 50 cm	Case 5 100 cm	Case 8 150 cm
Avril - Septembre 61	25	66	125
Octobre 61 - Mars 62	80	88	91
Avril - Septembre 65	31	76	144
Octobre 65 - Mars 66	19	54	88

Fig. I-3-1



-16-

Fig. I-3-2

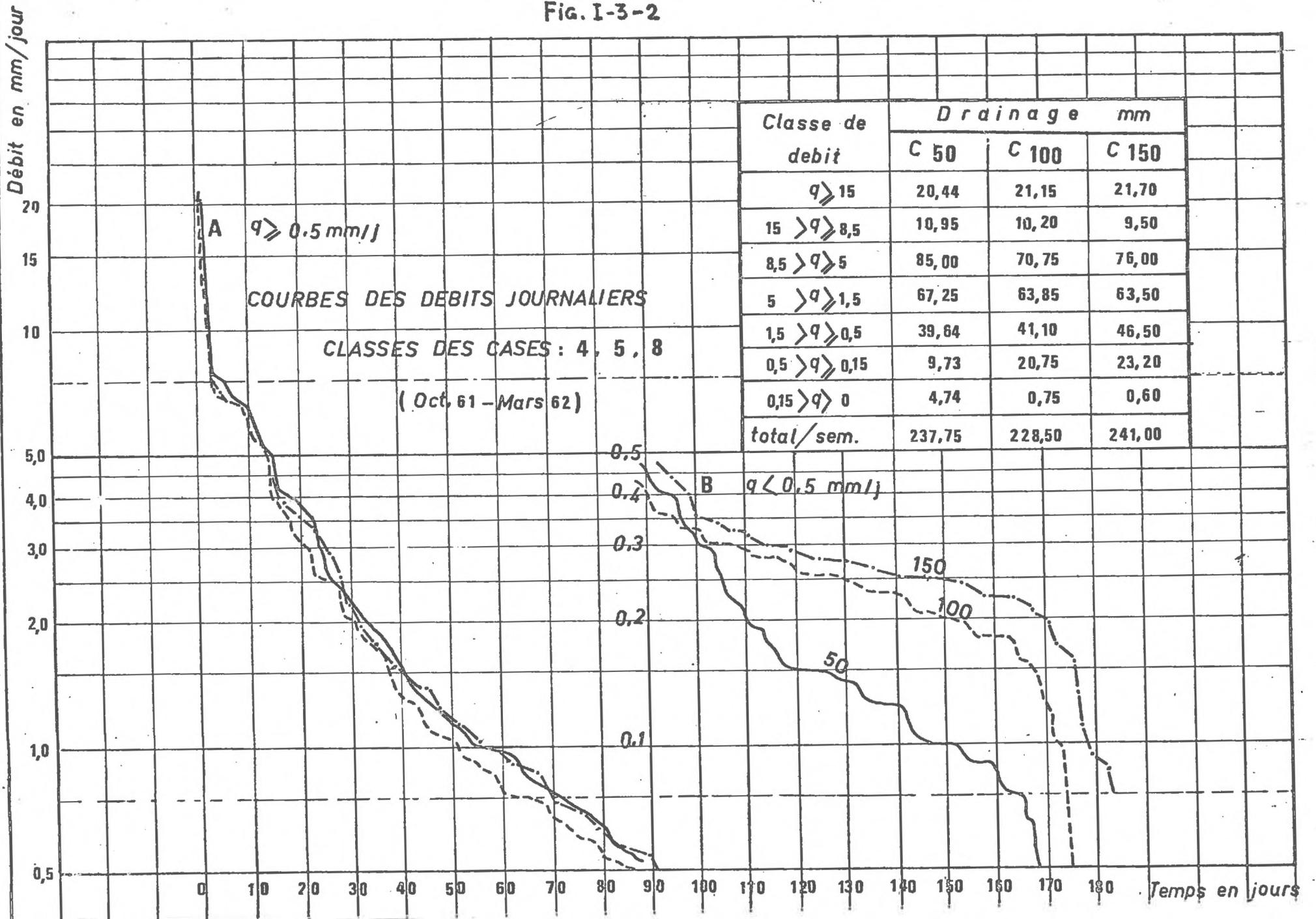
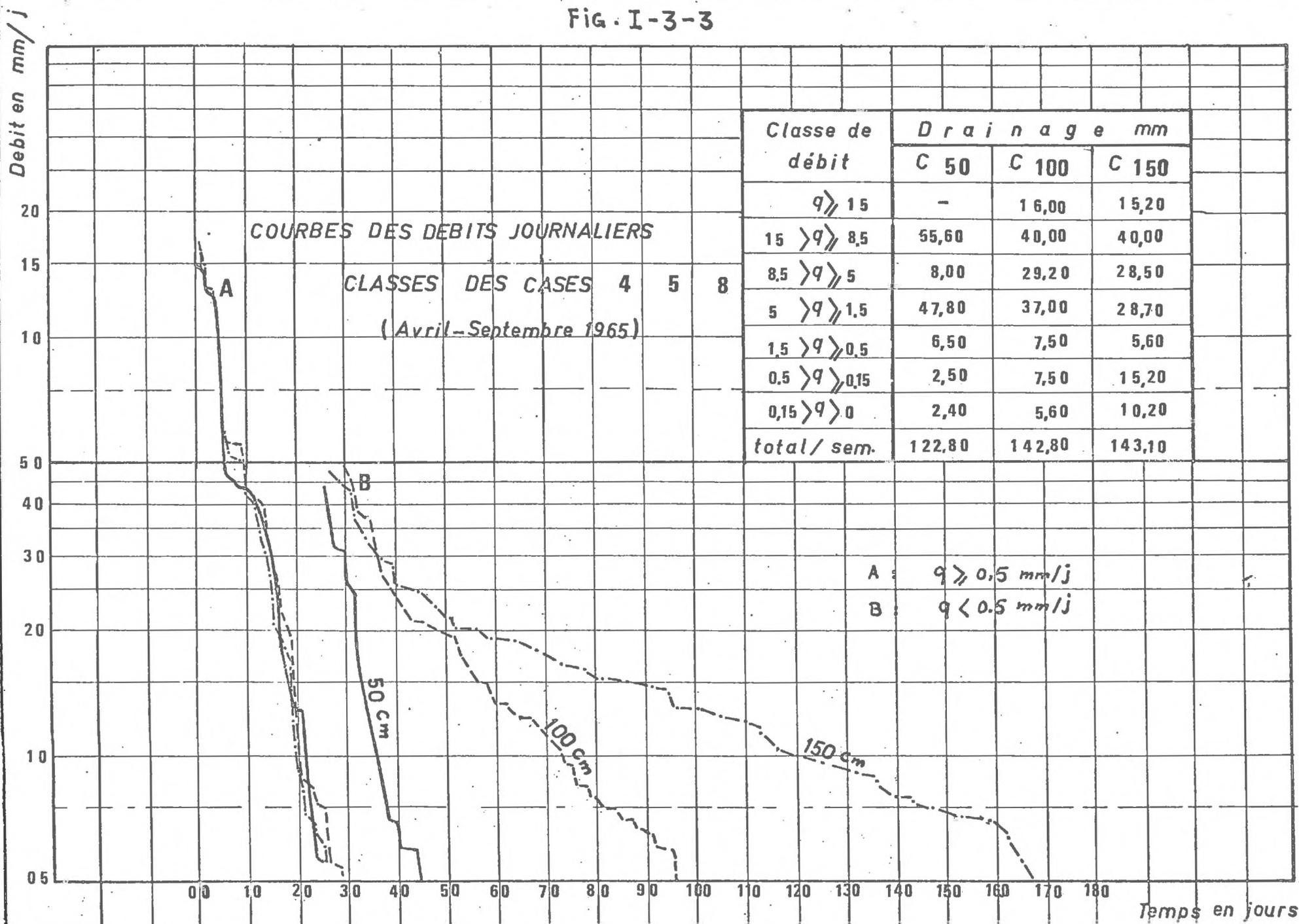
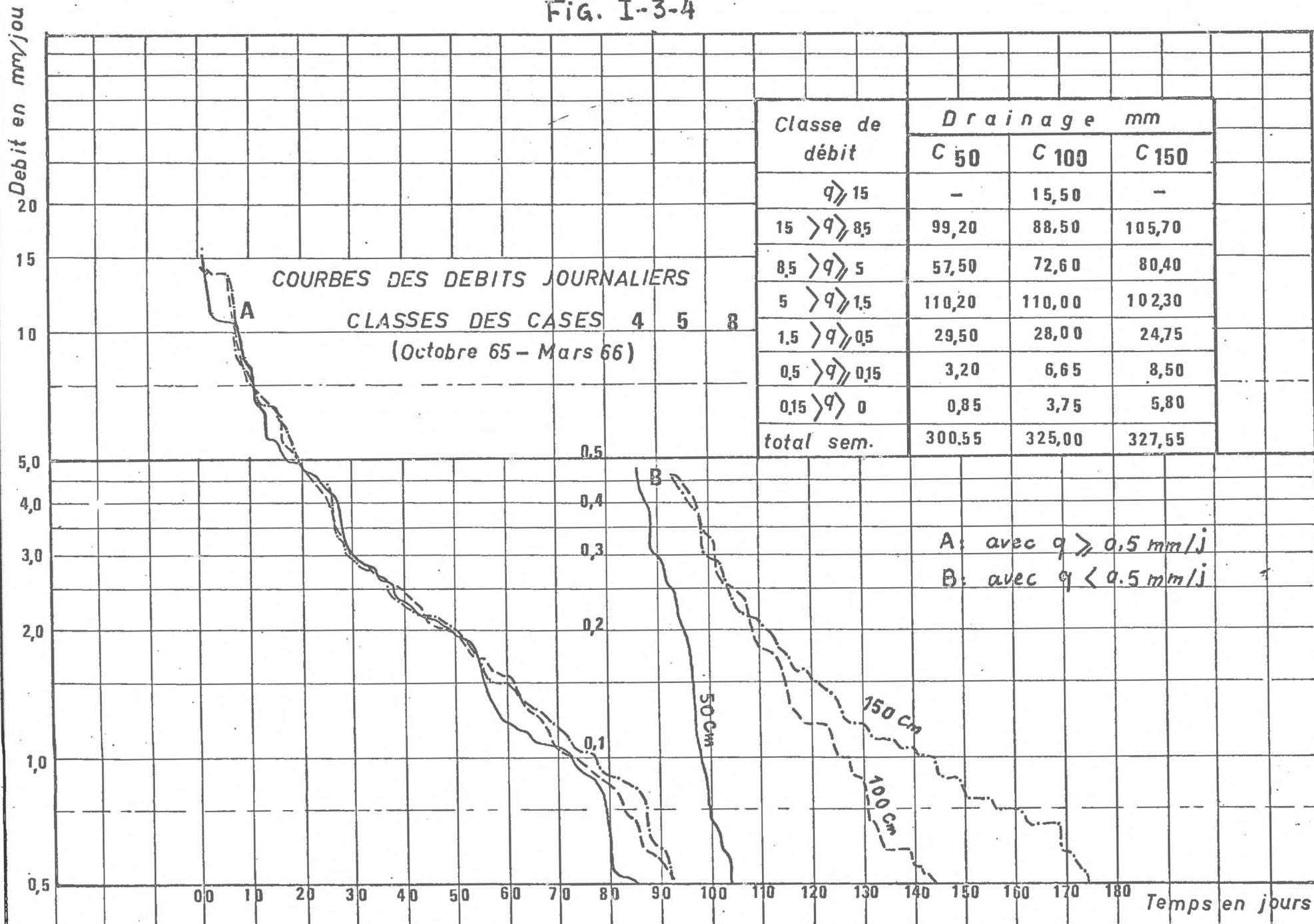


Fig. I-3-3



Classe de débit	D r a i n a g e mm		
	C 50	C 100	C 150
$q \gg 15$	-	16,00	15,20
$15 \gg q \gg 8,5$	55,60	40,00	40,00
$8,5 \gg q \gg 5$	8,00	29,20	28,50
$5 \gg q \gg 1,5$	47,80	37,00	28,70
$1,5 \gg q \gg 0,5$	6,50	7,50	5,60
$0,5 \gg q \gg 0,15$	2,50	7,50	15,20
$0,15 \gg q \gg 0$	2,40	5,60	10,20
<b>total / sem.</b>	<b>122,80</b>	<b>142,80</b>	<b>143,10</b>

Fig. I-3-4



D'autre part, les tableaux II - 4 - 3 et II - 4 - 4 récapitulent les hauteurs du drainage par chaque classe de débits, ainsi que la fraction avec les débits supérieurs à 0,5 mm/j et celle avec des débits inférieurs à ce seuil pour chaque semestre.

L'examen des tableaux II - 4 - 3 et II - 4 - 4 montre que :

Les quantités totales du drainage au cours ou d'un semestre pour trois couches de profondeurs différentes diffèrent assez peu, comme on l'a vu dans l'étude des "drainages semestriels". La différence atteint en valeur relative 20 % pour le semestre avril - septembre 1961 entre une case de 150 cm et celles de 100 et 50 cm, mais cela concerne de très faibles drainages si bien que la différence n'atteint pas 5 mm.

De même, les drainages donnés par les "débits intenses" ne diffèrent pas beaucoup suivant la profondeur du sol, les valeurs correspondant au drainage des trois cases restent voisines pour chaque semestre.

C'est ce qui concerne la hauteur de la lame d'eau drainée avec les "faibles débits" qu'une différence nette apparaît suivant la profondeur du sol. Ce pourcentage du drainage total du semestre, drainé avec  $q < 0,5$  mm/j croît sensiblement avec la profondeur du sol. Par exemple, pour le semestre avril - septembre 1961, cette valeur varie de 19 % pour la case de 50 cm à 42 % pour la case de 100 cm et atteint 53 % pour celle de 150 cm de profondeur.

Ces différences sont beaucoup plus nettes pendant la saison chaude et cela pour deux raisons très simples : premièrement, les débits faibles ( $q < 0,5$  mm/j) sont plus fréquents pendant les mois chauds de l'année ; deuxièmement, le débit demeure plus intense dans les cases plus profondes quand il est au-dessous de 0,5 mm/j.

#### Comparaison avec les drainages d'autres cases que les trois examinées ci-dessus :

La plupart des cases de l'installation ne diffèrent entre elles que par la profondeur et par le fait que le sol soit nu ou couvert. Parmi ces cases, nous étudions les drainages de celles dont le sol est nu, or, une seule d'entre celles-ci a une profondeur utile de 0,50 m et une seule une profondeur de 1 m ; c'est pourquoi l'étude des courbes des débits classés a porté sur trois cases, une seule pour chaque profondeur, case 4, case 5 et case 8 (0,50 m, 1 m et 1 m 50).

Bien que la case de 1 m donne souvent des résultats intermédiaires entre ceux des deux autres cases, il fallait chercher à confirmer les résultats par l'examen des drainages d'autres cases.

Nous avons donc effectué les mêmes opérations sur les drainages de deux autres lysimètres de 50 cm (en réalité, leur profondeur utile est plutôt de 60 cm) appartenant à la même installation mais qui diffèrent de celles déjà étudiées, d'une part par leur surface qui ne fait qu'un m<sup>2</sup> et d'autre part par les matériaux utilisés pour leur remplissage : l'une a été remplie avec du granite broyé et l'autre avec un échantillon de sol dit "horizon A". En même temps, pour la profondeur de 150 cm, nous avons examiné les résultats d'autres lysimètres que ceux de la "case 8" en particulier ceux de la "case 22" ; rappelons que ces cases de 150 cm, contrairement à celles de 50 cm, sont en principe identiques les unes aux autres.

Tableau II - 4 - 4

## Distribution de drainages journaliers dans les différentes classes de débits

(Année 1961 - 62)

Classe de débit de drainage mm/jour	H a u t e u r   d u   d r a i n a g e   e n   m m					
	Avril - Septembre 1961			Octobre 1961 - Mars 1962		
	Case 4 50 cm	Case 5 100 cm	Case 8 150 cm	Case 4 50 cm	Case 5 100 cm	Case 8 150 cm
$q \geq 15$	-	-	-	20,44	21,15	21,70
15 $q$ 8,5	-	-	-	10,95	10,20	9,50
8,5 $q$ 5,0	5,56	-	-	85,00	70,75	76,00
5,0 $q$ 1,5	9,95	11,85	11,70	67,25	63,85	63,50
1,5 $q$ 0,5	4,9	2,98	2,30	39,64	41,10	46,50
0,5 $q$ 0,15	2,25	4,55	8,90	9,73	20,75	23,20
0,15 $q$ 0,0	2,85	6,40	7,50	4,74	0,75	0,60
Total / Semest;	25,58	25,78	30,40	273,75	228,50	241,00
Total avec $q \geq 0,5$	20,48	14,83	14,00	223,28	207,00	217,20
Total avec $q < 0,5$	5,10	10,95	16,40	14,47	21,50	23,80
% Total avec $q < 0,5$	19	42	53	6	9,4	9,9
% de pluie drainée	9,1	9,2	10,8	79,2	76,0	80,0

## Distribution de drainages journaliers dans les différentes classes de débits

(Année 1965 - 66)

Classe de débits mm/jour	H a u t e u r   d u   d r a i n a g e   e n   m m					
	Avril - Septembre 1965			Octobre 1965 - Mars 1966		
	Case 4 50 cm	Case 5 100 cm	Case 8 150 cm	Case 4 50 cm	Case 5 100 cm	Case 8 150 cm
$q \geq 15$	-	16,00	15,20	-	15,50	-
15 $q$ 8,5	55,60	40,00	40,00	99,20	88,50	105,70
8,5 $q$ 5,0	8,30	29,20	28,50	57,50	72,60	80,40
5,0 $q$ 1,5	47,80	37,00	28,70	110,20	110,00	102,30
1,5 $q$ 0,5	6,50	7,50	5,60	29,50	28,00	24,75
0,5 $q$ 0,15	2,50	7,50	15,20	3,20	6,65	8,50
0,15 $q$ 0,0	2,40	5,60	10,20	0,85	3,75	5,80
Total / Semestre	122,80	142,80	143,40	300,55	325,00	327,55
Total avec $q \geq 0,5$	117,90	129,70	118,00	296,50	314,60	313,25
Total avec $q < 0,5$	4,90	13,10	25,40	4,05	10,40	14,30
% Total avec $q < 0,5$	3,9	9,1	17,7	1,3	3,2	4,3
% de pluie drainée	26,7	31,0	31,2	80,5	87,1	87,8

Fig. I-3-5

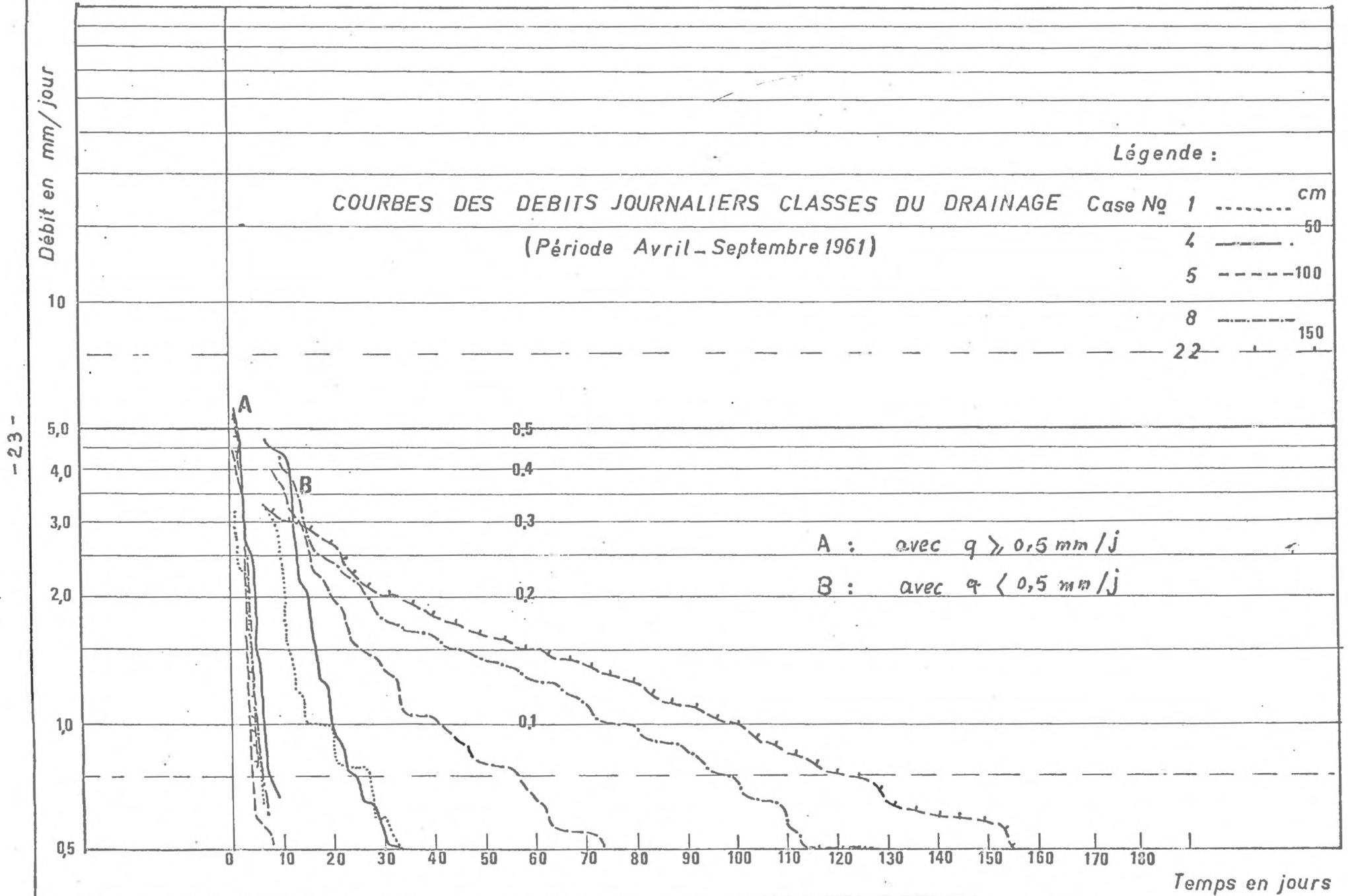


Fig. I-3-6

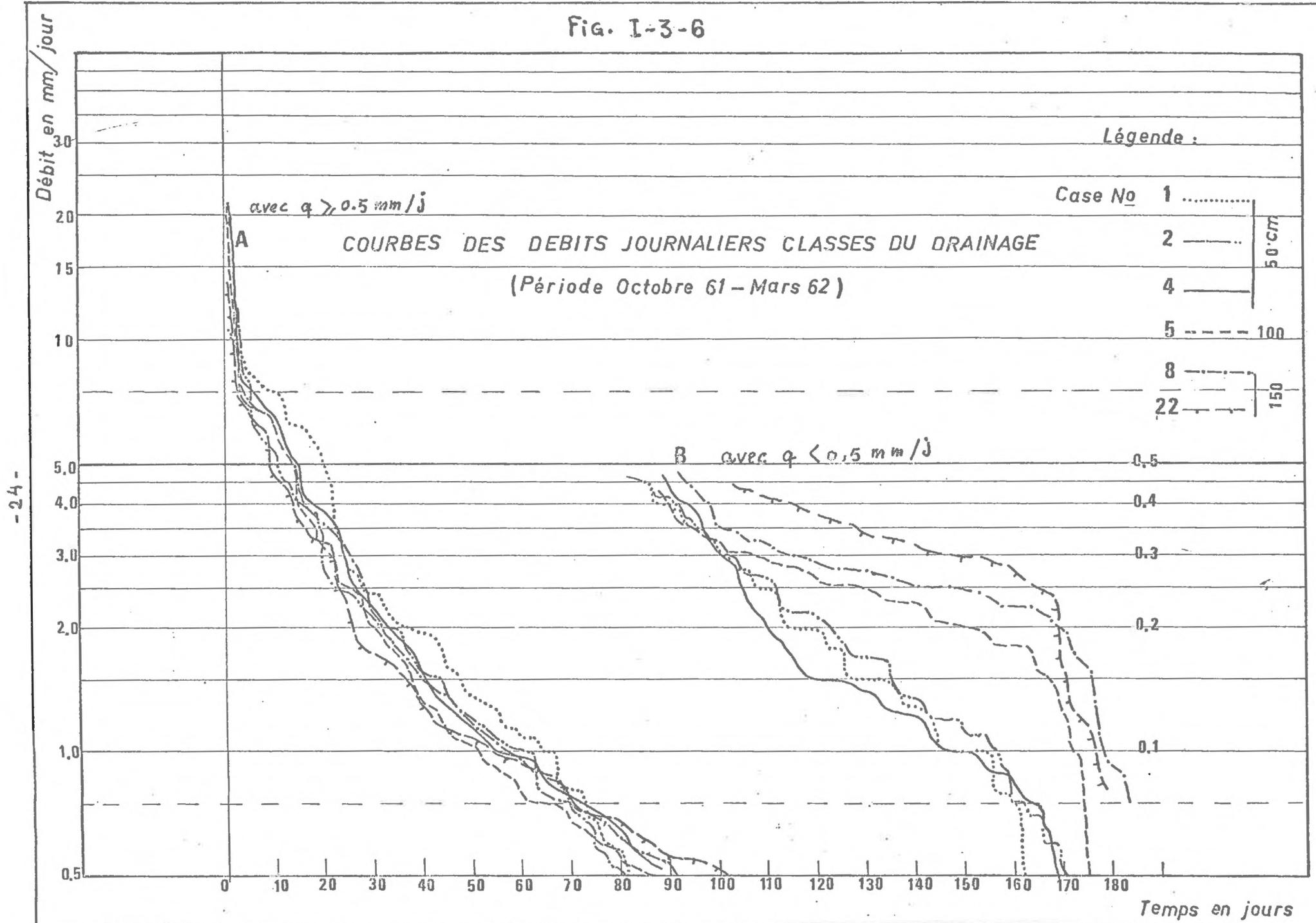


Fig. I-3-7

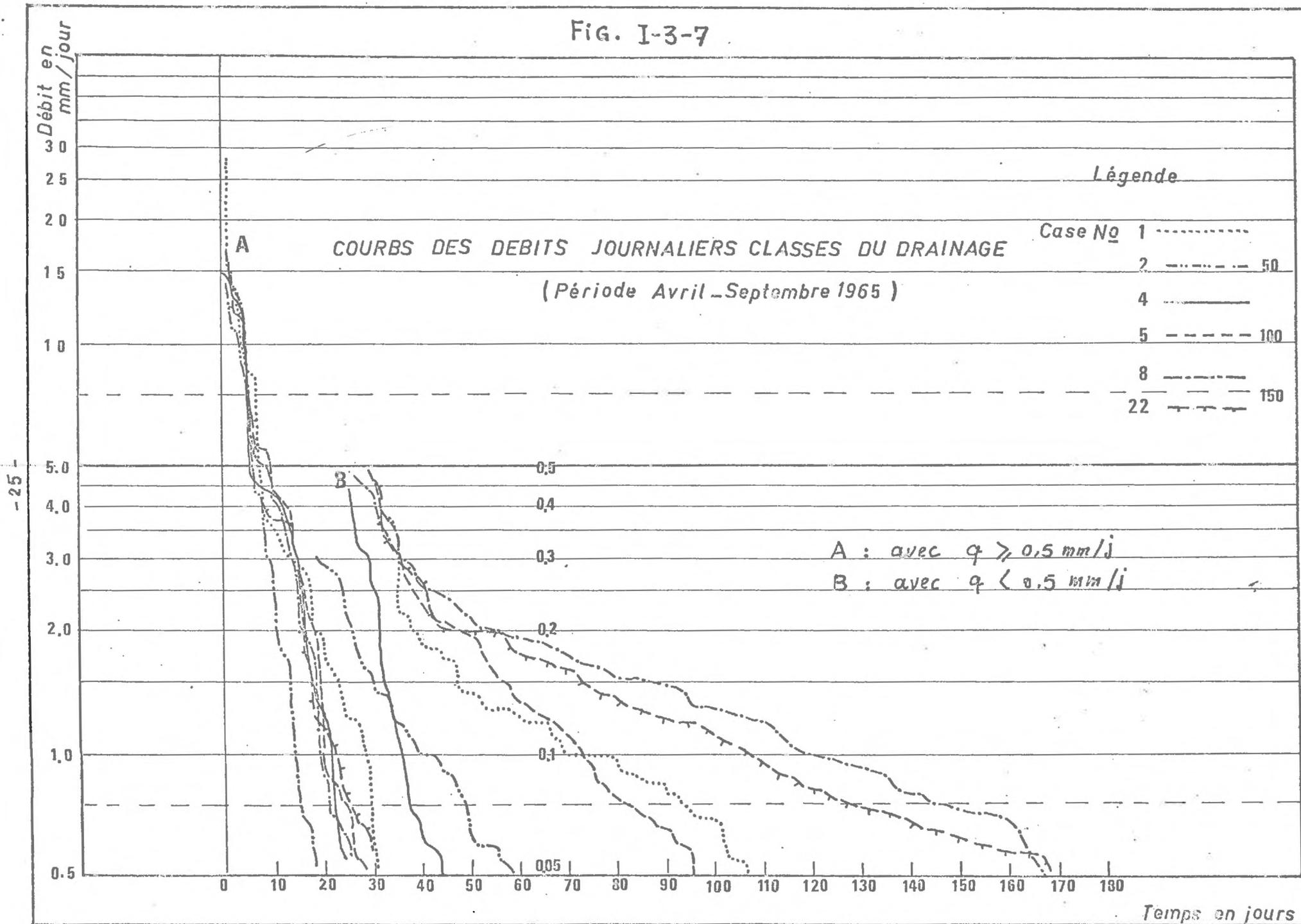
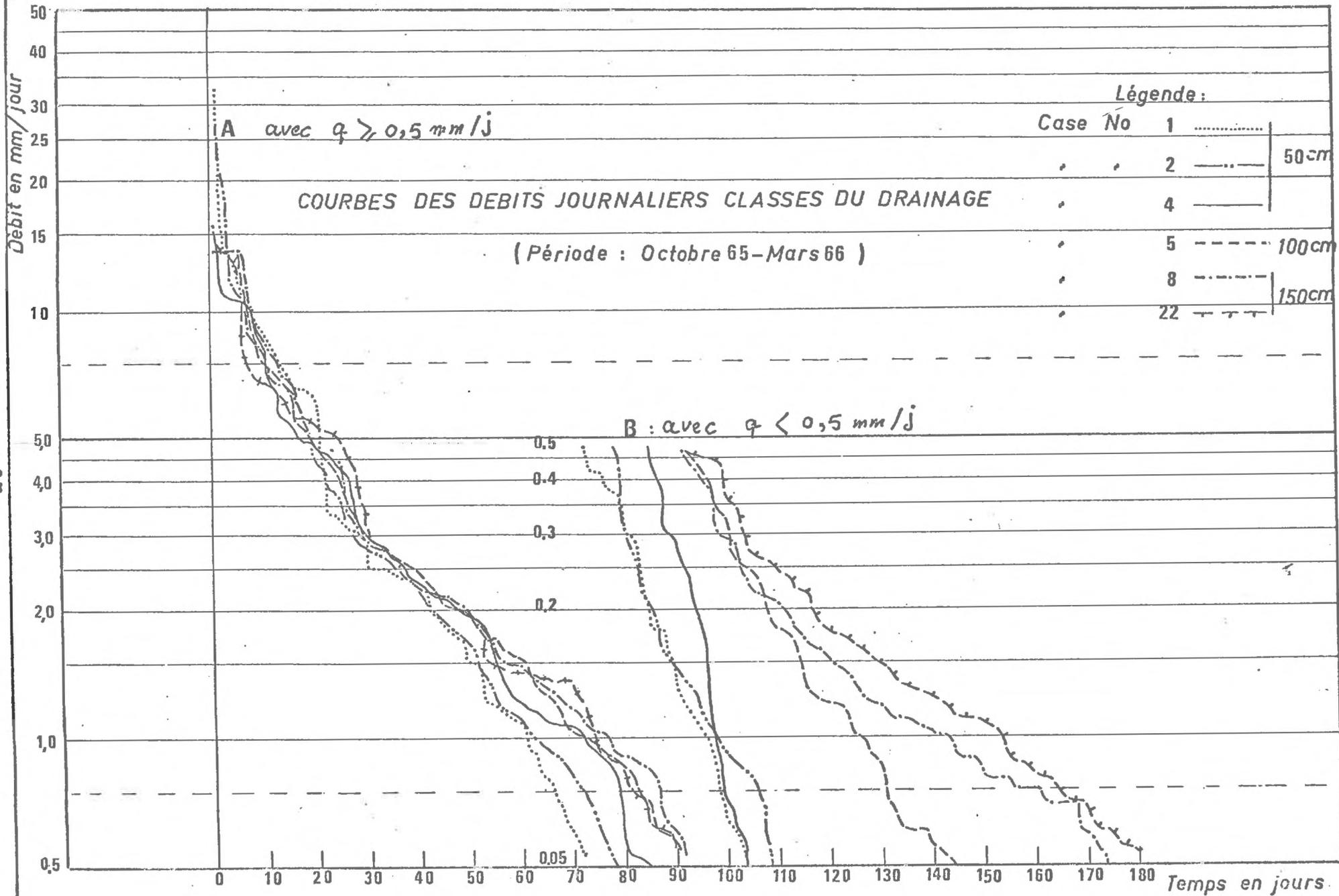


Fig. I-3-8



Nous avons ainsi porté sur quatre graphiques l'ensemble de ces courbes, six courbes pour chaque semestre représentant trois cases de 50 cm, deux cases de 150 cm et une seule case de 100 cm. Le résultat est assez satisfaisant et leur comparaison montre que les courbes des cases de 50 cm se situent de la même manière, ainsi que celles de 150 cm. La case de 100 cm a une position intermédiaire (Voir graphiques I - 3 - 5 à I - 3 - 8).

Les courbes des débits journaliers classés d'une période déterminée, présentent approximativement la forme générale et régularisée des courbes de décroissance du débit du drainage de l'ensemble des épisodes pluvieux de cette période, car les phases croissantes sont très brèves.

Ces dernières courbes dites courbes de tarissement constituent le sujet principal de notre travail, nous verrons par la suite ce que nous avons observé dans ces cas, c'est-à-dire la façon dont évoluent dans le temps les courbes de débits correspondant aux cases de différentes profondeurs.

## II. - 5 - CONCLUSION -

-----  
-

Au cours de cette première analyse dont le but essentiel était la présentation de l'installation lysimétrique et du régime de drainage du sol nu, les résultats se présentent analogues à ceux déjà obtenus précédemment par les mêmes genres d'études effectuées dans des conditions un peu différentes des nôtres. A Rothamested, en Grande-Bretagne, trois lysimètres monolithes avec sol nu, les profondeurs étant respectivement de 50, 100 et 150 cm, installés depuis 1881, ont été sujets de différents travaux. Ces trois cases n'ont pas montré de différences importantes en ce qui concerne la quantité totale du drainage. Nous avons vu également à plusieurs reprises que pour de longues périodes, l'épaisseur du sol n'influence pas beaucoup le drainage total. D'autres observations peuvent être soulignées.

1) Le drainage moyen annuel a été d'à peu près la moitié des précipitations moyennes annuelles. Ainsi, pendant la période de avril 1956 à Mars 1969 : les valeurs correspondantes de la pluviométrie moyenne et du drainage moyen de trois cases sont respectivement 630,5 et 325 mm, ce qui donne une évaporation de 305 mm environ. D'après les observations sur les anciennes cases lysimétriques de Versailles par E. M. Bastisse (1951) pour une moyenne pluviométrique

annuelle de 594,0 mm, l'évaporation était d'environ 364 mm et le drainage de 230 mm.

2) A pluviométrie presque égale, le drainage pendant les périodes hivernales est beaucoup plus important que pendant les périodes chaudes. D'après les résultats obtenus, le drainage moyen d'"avril à septembre" (tableau II - 3) est presque un quart du drainage moyen de "Octobre à mars".

3) La fraction des précipitations mensuelles drainées varie d'un mois à l'autre. Nous avons vu que cela atteint et même dépasse 100 % de la pluie mensuelle pendant les mois de décembre et de janvier. Par exemple, la case de 150 cm a drainé en moyenne 55,9 mm au mois de janvier avec 53,7 mm de pluie, et 5,9 mm seulement au mois de juin avec presque la même moyenne pluviométrique (52,2 mm).

4) La profondeur de la couche traversée qui ne modifie guère le drainage sur une période assez longue, n'est pas sans influence sur le drainage des périodes courtes et pendant les différentes saisons de l'année. Son intervention est marquée surtout à la fin du drainage ou pendant la saison chaude où le débit tombe à un certain seuil au-dessous duquel les cases profondes, 1 m 50 de terre ont un drainage plus élevé que les cases peu profondes.

C'est ce dernier résultat qui ressort essentiellement de cette partie du travail. Il a été bien mis en évidence par l'étude des courbes des débits journaliers classés, méthode qui permet de prendre en compte tous les drainages journaliers qui se sont produits pendant un intervalle de temps quelconque, et de faire simplement des comparaisons quantitatives entre ces drainages. Dans la partie suivante, on examinera l'évolution effective du drainage dans le temps au cours de certains "épisodes sélectionnés", nous serons plus près du déroulement réel d'un phénomène; par contre, la critique des résultats sera plus délicate, nous pourrions alors nous appuyer sur ce qui vient d'être établi: les cases profondes drainent, au cours des périodes où leurs débits sont faibles, des quantités d'eau nettement supérieures à celles que drainent les cases peu profondes lorsque celles-ci ont de faibles débits.

### III. - ETUDE DES HYDROGRAMMES DU DRAINAGE

(épisodes sélectionnés)

#### III - 1 - GENERALITES -

-----

Nous appellerons "tarissement d'une couche de sol", la décroissance, après une période de pluie, des débits du drainage de cette couche, en l'absence de nouvelles précipitations. Cette expression a été empruntée à la définition de la courbe de tarissement des cours d'eau, c'est-à-dire la vidange des réserves régulatrices de ceux-ci durant la ou les saisons sèches, ou encore ce qu'on appelle le régime non influencé. Nous utilisons ce terme bien qu'ici le phénomène à étudier ne corresponde pas exactement à celui des cours d'eau.

Etant donné les faibles dimensions d'une case lysimétrique choisie comme instrument de la présente étude du tarissement du sol, par rapport à une nappe régulatrice d'une rivière, on observe au cours d'une année, plusieurs charges et décharges à la suite des pluies qui se succèdent et qui alimentent ces petites réserves. Le drainage se produit à partir de chaque pluie suffisamment importante et continue après l'arrêt de celle-ci jusqu'à ce que l'eau emmagasinée dans le sol et échappant à l'évaporation et aux forces de rétention du sol soit ainsi drainée. Le débit du drainage est ainsi en croissance, au départ après la chute de pluie, ensuite, il décroît pour finalement devenir presque inexistant ; on observe donc une variation du débit du drainage ayant quelque analogie avec celle du débit d'une rivière après une chute de pluie ou des averses ; dans le cas de la rivière, il se produit une croissance rapide du débit (courbe de crue), un débit maximum ou débit de pointe, suivi d'une décroissance relativement rapide ou décrue, après l'arrêt des précipitations ; les eaux de ruissellement ainsi écoulées, l'écoulement hypodermique et la vidange de la nappe constituent la dernière partie de l'hydrogramme de ruissellement. Dans le cas des lysimètres, il n'y a pas de ruissellement superficiel, mais il apparaît parfois à la suite de pluies très intenses, un plan d'eau à la surface.

La façon dont se déroule l'évolution du débit dépend a priori de la forme et de l'intensité de la pluie et du comportement du sol ; une pluie suffisamment intense et prolongée devrait permettre d'atteindre un débit plafond approximativement constant et caractéristique de la perméabilité du sol, mais nous n'avons pas eu l'occasion d'observer ce phénomène, bien que dans certains cas il ait drainé jusqu'à 3 mm d'eau en une heure.

### Définition des épisodes sélectionnés

Afin de pouvoir analyser l'évolution du débit du drainage, dans toutes ses phases, et en particulier, d'observer la décroissance pendant un temps suffisamment long, il faut que soient remplies les conditions suivantes :

a) Une pluie abondante qui provoque un drainage assez important, soit au moins 3 mm en un jour.

b) Une période de tarissement qui suit cette précipitation. Cette période doit durer assez longtemps sans être troublée par de nouvelles pluies pour permettre de suivre le drainage dû à la pluie précédente et son évolution dans le temps, jusqu'à des débits inférieurs à 0,1 mm par jour.

Comme nous venons de le dire, le drainage dans des cases lysimétriques qui n'ont que 2 m<sup>2</sup> de surface et quelques 2 ou 3 m<sup>3</sup> de terre, est très influence par la pluviométrie de telle manière qu'à la suite de chaque pluie importante, le débit du drainage subit des variations plus ou moins sensibles. Il a paru donc indispensable de chercher tout au long de la durée d'observation où les volumes drainés pendant 24 heures ont été mesurés, à sélectionner certains épisodes qui s'adaptent mieux aux conditions exigées. On trouve difficilement des cas satisfaisants ; dans la recherche de ces cas, l'intervention de pluies parasites, susceptibles de troubler le phénomène étudié, a été abordée de la façon suivante :

a) Nous avons toléré l'occurrence de petites pluies qui n'ont pas provoqué de remontée notable du drainage (voir en III et en III - 3 quelques précisions à ce sujet), on a admis qu'il n'y avait pas de "remontée notable" du drainage sous l'influence des petites pluies tombées en cours de tarissement tant que le drainage d'un jour quelconque ne dépassait pas de plus de 0,1 mm le plus faible des drainages journaliers antérieurs appartenant au même épisode de tarissement ; on a bien sûr vérifié que pendant les périodes sans pluie les données utilisées ne présentent jamais de remontées des drainages journaliers qui soit supérieure à 0,1 mm.

b) Des pluies plus importantes mais isolées, c'est-à-dire suivies par une période de sécheresse qui interrompent la courbe de tarissement antérieure seront elles-mêmes à l'origine d'un nouvel épisode de drainage. Nous obtiendrons alors deux épisodes de drainage successifs, séparés par la remontée du drainage.

Nous allons d'abord présenter les observations sous forme de tableaux et de graphiques ; ensuite viendra l'étude de ces résultats, au cours de laquelle nous avons essayé d'ajuster les courbes observées à des formules mathématiques afin de rendre plus facile leur comparaison. Nous verrons au fur et à mesure, et ce, bien entendu, dès le début, s'il apparaît certaines différences entre les trois cases de 50, 100 et 150 cm que nous avons choisies pour examiner l'effet de la profondeur (d'après l'étude précédente, portant sur les courbes de débits journaliers classés, de telles différences doivent apparaître).

N.B. - Il faut rappeler que les périodes de gel et de dégel ont été exclues de cette étude.

III. - 2 Analyse des débits d'après les mesures journalières, étude de  
-----  
quelques cas caractéristiques  
-----

Il s'agit donc d'analyser quelques épisodes de tarissement sélectionnés.

Nous avons divisé ces épisodes en deux catégories, suivant qu'ils se sont produits pendant la saison chaude ou froide (les périodes dites ici "saison chaude" et "saison froide" sont en réalité les six mois d'avril à septembre, dont les jours sont plus longs que les nuits, et les six autres dont les jours sont plus courts ; cette division coïncide avec le classement selon les valeurs mensuelles de l'évapo-transpiration potentielle).

III - 2 - 1 Ci-après, voici tout d'abord quelques épisodes choisis pendant les mois chauds.

Cas N° 1 - Avril - Mai 1959 -

La pluviométrie qui a provoqué ce premier épisode est présentée dans le tableau III - 1 :

Tableau III - 1

Pluviométrie de la Station du C.N.R.A.

(Avril 1959)

Date	Pluie (mm)	Durée (heures)	Intensité (mm/h)
25 Avril 1959	1,3	3,8	0,34
26 " "	6,2	11,7	0,53
27 " "	1,5	3,3	0,45
28 " "	2,4	4,3	0,52
29 " "	12,3	13,3	0,93
30 " "	11,3	18,5	0,61
Total	35,0	55,2	0,63

Il y a eu donc au total 35 mm de pluie durant 6 jours, et répartis sur 55,2 heures, ce qui correspond à une intensité moyenne de 0,63 mm/h. Mais la majeure partie de ces précipitations (23,6 mm, soit 70 % du total) est tombée le 29 et le 30 avril. A partir de cette date, on observe une période sans pluie qui dure 18 jours. Le débit du drainage était tombé à son minimum le 28 avril à la suite des pluies précédentes (0,05, 0,25 et 0,18 mm/j respectivement pour les cases de 50, 100 et 150 cm).

Le tableau III - 2 présente les drainages journaliers en mm de trois cases lysimétriques, au cours de la période considérée. Les précipitations survenues pendant la période de vidange sont également présentées.

Les hydrogrammes correspondants sont figurés sur le graphique I - 4 - 1, la pluie est schématisée par des traits verticaux.

Le graphique I - 4 - 1 montre la variation du débit du drainage journalier qui constitue ce que nous nommons l'hydrogramme de drainage.

Pour le cas présent, on voit que :

- le drainage étant à son minimum à la suite des pluies précédentes, commence à croître rapidement après le 29 avril, alors que la pluie avait mis fin à la période sèche précédente le 25 avril (total de précipitations du 25 au 28 : 11,4 mm, le 29 : 12,3 mm).

Tableau III-2 - Drainages journaliers des cases lysimétriques en mm.

Date	P mm	C 4 50 cm	C 5 100 cm	C 8 150 cm	Date	P mm	C 4 50 cm	C 5 100 cm	C 8 150 cm
/59	2,4	0,05	0,25	0,18	16/5/59		0,05	0,20	0,16
/59	12,3	0,05	0,28	0,17	17/5/59		0,04	0,20	0,16
/59	11,3	7,60	5,57	1,78	18/5/59	1,3	0,02	0,14	0,16
/59		8,90	9,50	8,00	19/5/59	5,5	0,02	0,12	0,16
/59	1,0	2,10	2,20	2,20	20/5/59	2,6	0,06	0,15	0,13
/59		0,53	0,80	0,95	21/5/59	5,9	0,07	0,12	0,12
/59		0,30	0,60	0,70	22/5/59	0,3	0,05	0,10	0,09
/59		0,15	0,43	0,37	23/5/59		0,04	0,09	0,08
/59		0,08	0,36	0,29	24/5/59		0,03	0,08	0,09
/59		0,06	0,35	0,28	25/5/59		0,03	0,08	0,09
/59		0,04	0,34	0,28	26/5/59		0,07	0,13	0,11
/59	0,8	0,03	0,31	0,28	27/5/59		0,02	0,07	0,04
/59		0,04	0,27	0,23	28/5/59		0,01	0,07	0,03
/59		0,04	0,27	0,23	29/5/59		0,01	0,04	0,02
/59		0,05	0,24	0,17	30/5/59		0,01	0,04	0,02
/59		0,05	0,23	0,17	31/5/59		0,005	0,04	0,02
/59		0,05	0,23	0,18	1/6/59		0,005	0,02	0,015
/59		0,05	0,20	0,16	2/6/59		0,005	0,02	0,015

DEBIT mm en jour

10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1  
0.9  
0.8  
0.7  
0.6  
0.5  
0.4  
0.3  
0.2  
0.1

Fig. I-4-1

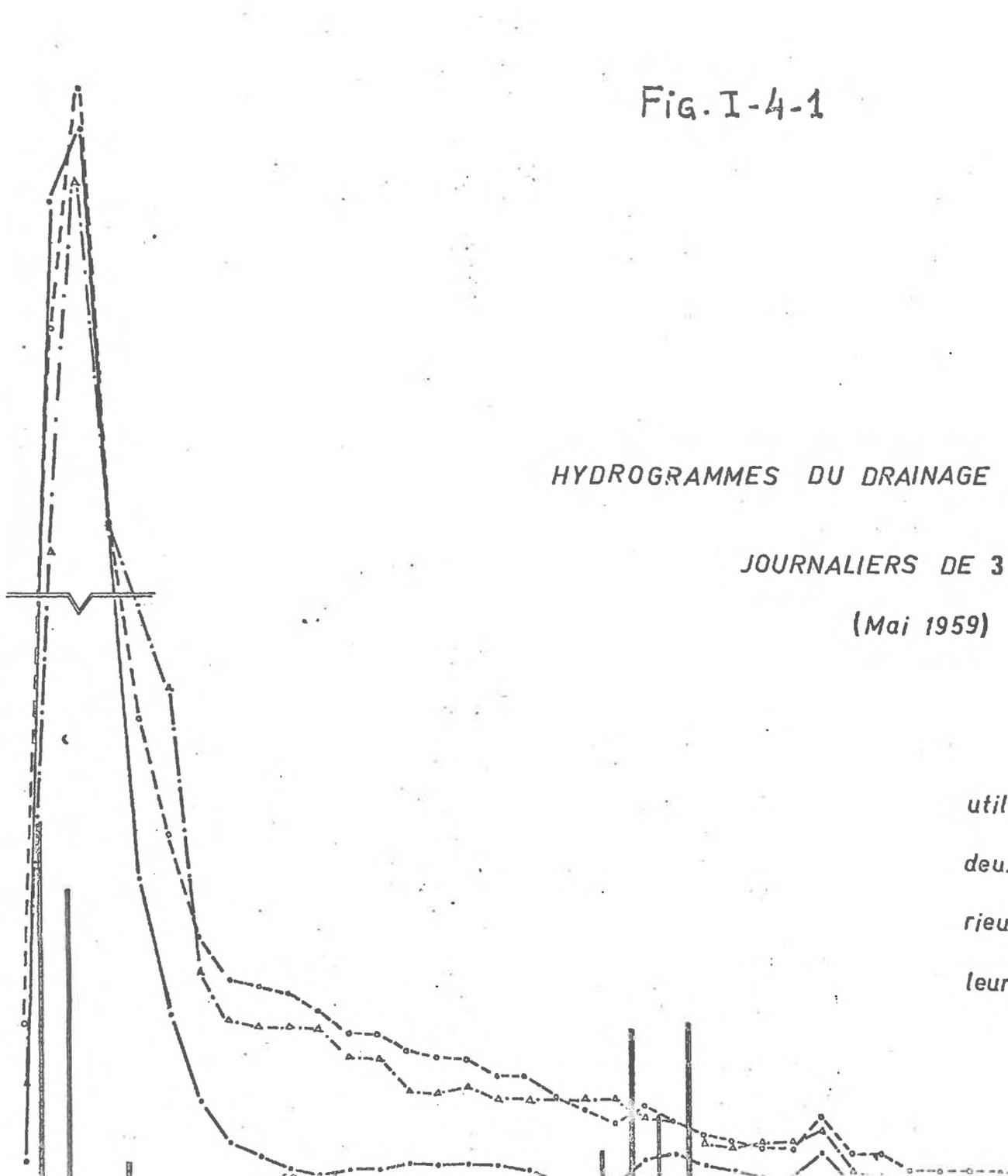
Case No	4	.	.	.	50
"	5	.	.	.	100
"	8	▲	▲	▲	150

HYDROGRAMMES DU DRAINAGE D'APRES LES DEBITS

JOURNALIERS DE 3 CASES

(Mai 1959)

NB - En ordonnées nous avons utilisé deux échelles différentes : toutes les deux linéaires, l'une pour les valeurs supérieures à 1 mm/j et l'autre pour les valeurs inférieures



-34-

- à partir de cette dernière date, le débit du drainage croît très vite depuis une fraction de mm jusqu'à 9 à 10 mm par jour.

Le drainage atteint son maximum le 1er mai (entre 30 avril et 1er mai 9 h - 9 h) après l'arrêt total des précipitations le 30 avril.

- le débit du drainage baisse très rapidement pendant les 2 à 4 premiers jours après la pluie ; la pente de la courbe descendante devient de plus en plus faible (c'est-à-dire qu'après avoir eu de fortes valeurs négatives, elle se rapproche de zéro) jusqu'à l'épuisement approximatif de l'eau drainable.

Cette période de diminution progressive du débit pour le cas présent s'étend à 1 mois environ. Il est évident que l'allure de chacune des parties expliquées ci-dessus est liée à certaines caractéristiques, telles que la pluie et son intensité, la surface, l'épaisseur et la capacité d'infiltration ou la perméabilité du terrain à étudier, etc...

Nous comparons les résultats de trois cases de différentes profondeurs, ayant considéré les autres conditions plus ou moins identiques :

- le débit de la case de 50 cm dans le cas présent, croît plus rapidement que les deux autres ; le débit maximum observé dans cet exemple sur un jour s'est présenté avec la case de 100 cm ou case de profondeur moyenne, mais dans la majorité des cas étudiés, c'est avec la case de 50 cm que cela se produit.

- La décroissance du débit elle aussi est plus rapide dans la case moins profonde, nous verrons plus tard que, durant les trois ou quatre premiers jours du drainage après la pluie, il n'est pas facile de distinguer une relation entre le débit du drainage et l'épaisseur du sol. Mais à partir de là, les variations des débits prennent une forme plus régulière et la différence des débits journaliers entre les trois cases est plus nette.

- Le tarissement complet se produit tout d'abord dans la case moins profonde, le drainage se poursuit plus longtemps dans la case moyenne et plus encore dans la plus profonde.

- Une pluie de 1 mm survenue le 2 mai n'a aucun effet visible sur la forme des courbes en décroissance rapide, alors que la pluie de 0,8 mm sur 20 minutes du 9 mai fait croître sensiblement le débit du drainage de la case moins profonde sans être remarquée dans les deux autres. De même, les précipitations du 18 au 22 mai semblent ne pas avoir modifié le drainage des cases profondes, tandis que l'on aperçoit une augmentation relativement forte pour la case de 50 cm.

- Les quantités totales de drainage ont été calculées pour les trois cases pendant la durée de ce premier cas. Elles sont : présentées dans le tableau III - 3. La période a été divisée en trois sous-périodes séparées par de petites quantités de pluie.

Tableau III - 3

Hauteur totale du drainage en mm

Sous-période	C. 4 50 cm	C. 5 100 cm	C. 8 150 cm
30 Avril	7 → 60	5 → 57	1 → 78
1 - 19 Mai	12 → 56	16 → 80	15 → 12
20 Mai - fin	0 → 59	1 → 13	1 → 42
Total	20 → 75	23 → 50	18 → 32

La comparaison montre que la case profonde a drainé en quantité totale moins que les autres ; par contre, la case de 100 cm donne un maximum, la différence est marquée notamment sur les premiers jours du drainage où la case de 150 cm a drainé moins d'un quart de la case de 50 et presque un tiers de celle de 100 cm. Une partie de cette différence est compensée les deux jours suivants, il s'agit d'un retard se produisant sur le délai de réponse dans celle-ci.

- Les courbes de hauteurs de drainages cumulés ont été établies pour chaque case. Elles donnent en ordonnées, pour chaque instant, l'intégrale :

$$Dr = \int_{t_0}^t q. dt$$

Dr représente la hauteur totale du drainage depuis le temps  $t = 0$  choisi comme origine de commencement du drainage. A chaque point la pente de la tangente à la courbe donne le taux instantané "q" du drainage. Nous ferons plus tard une comparaison entre les courbes concernant plusieurs cas étudiés, pour voir si cette répartition en pourcentage en fonction du temps reste analogue pour une même case.

La figure I - 5 présente une superposition de ces courbes du drainage cumulé, de trois cases. Les valeurs numériques correspondantes sont présentées dans le tableau III - 4.

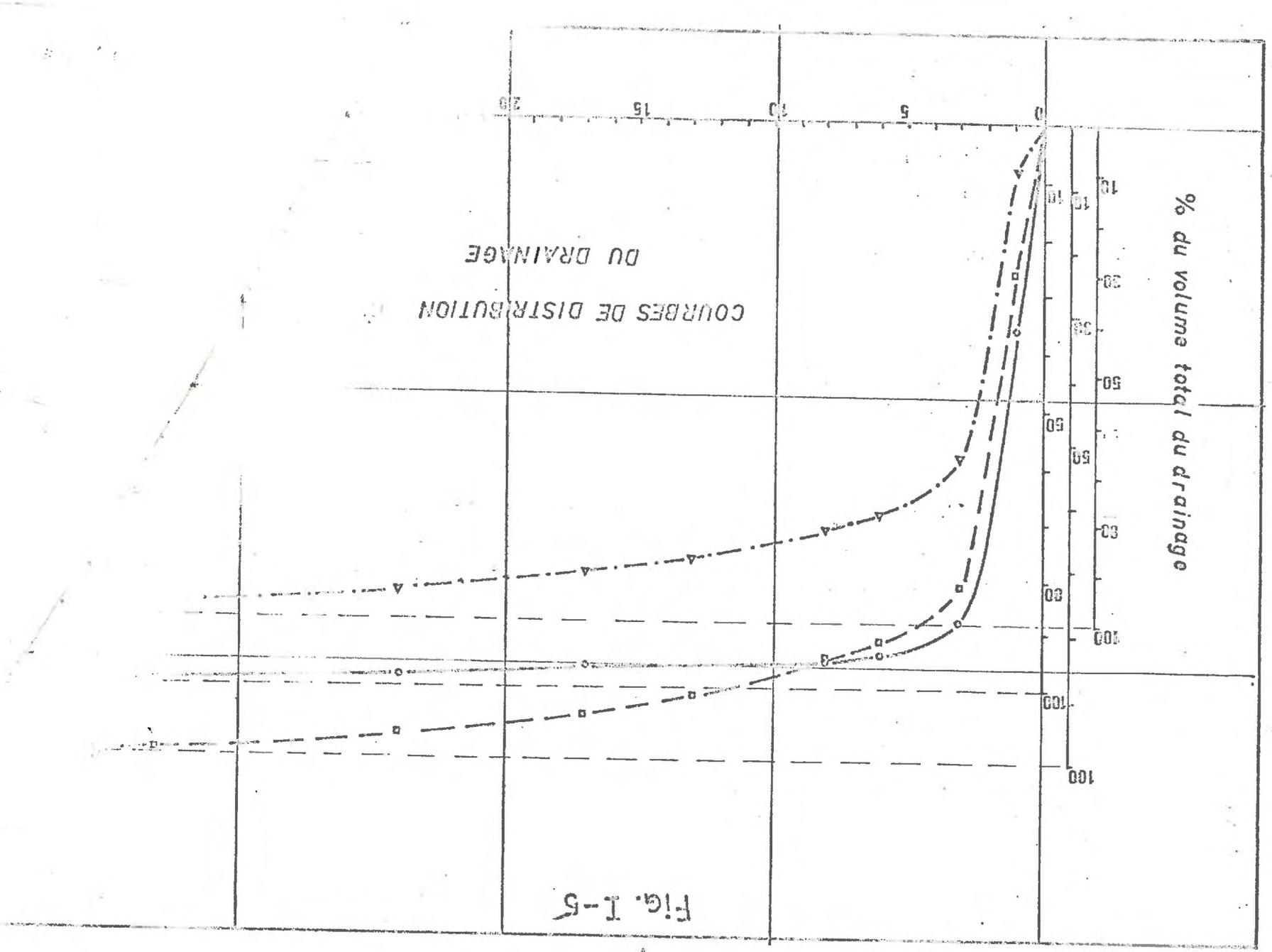


Tableau III - 4

% de drainages cumulés des lysimètres  
(50, 100 et 150 cm) (30 avril - fin mai 1959)

N. de jours du drainage	C. 4 50 cm	C. 5 100 cm	C. 8 150 cm
1	36,62	23,70	9,87
3	89,58	72,84	66,40
6	94,30	80,62	77,50
8	94,97	83,64	80,70
13	-	89,72	87,20
17	96,84	93,07	91,10
24	98,18	96,81	95,60
33	99,09	99,19	97,40
35	100,0		
43		100,0	
72			100,0

La figure I - 5 montre la répartition du drainage dans le temps qui varie d'une case à l'autre. Par exemple sur le graphique, pour un  $t$  donné en abscisse, il y a trois valeurs correspondantes sur l'axe des ordonnées, ainsi pour  $t = 3$ , nous obtenons les valeurs de 90 %, 73 % et 65 % respectivement pour les cases 50, 100 et 150 cm. Cela montre une fois de plus l'effet régularisateur de l'épaisseur du sol pour l'évacuation de l'eau gravitaire de la couche drainante.

Nous avons suivi de la même façon d'autres épisodes de tarissement qui se sont produits durant les mois chauds de l'année :

- |                     |    |              |      |
|---------------------|----|--------------|------|
| 1. - du 6 Juin      | au | 16 Juillet   | 1961 |
| 2. - du 27 Juillet  | au | 20 Septembre | 1961 |
| 3. - du 3 Avril     | au | 5 Mars       | 1962 |
| 4. - du 2 Août      | au | 30 Septembre | 1963 |
| 5. - du 31 Juillet  | au | 25 Août      | 1965 |
| 6. - du 3 Septembre | au | 15 Novembre  | 1965 |
| 7. - du 18 Juillet  | au | 12 Août      | 1966 |

Drainage  
en mm

1.75

1.50

1.25

1.0

0.75

0.5

0.25

Fig. I-4-2

HYDROGRAMMES DE DRAINAGES JOURNALIERS  
DE CASES LYSIMETRIQUES  
( juin-juillet 1961 )

- Case N° 4 ( 50 cm )
- Case N° 5 ( 100 cm )
- Case N° 8 ( 150 cm )

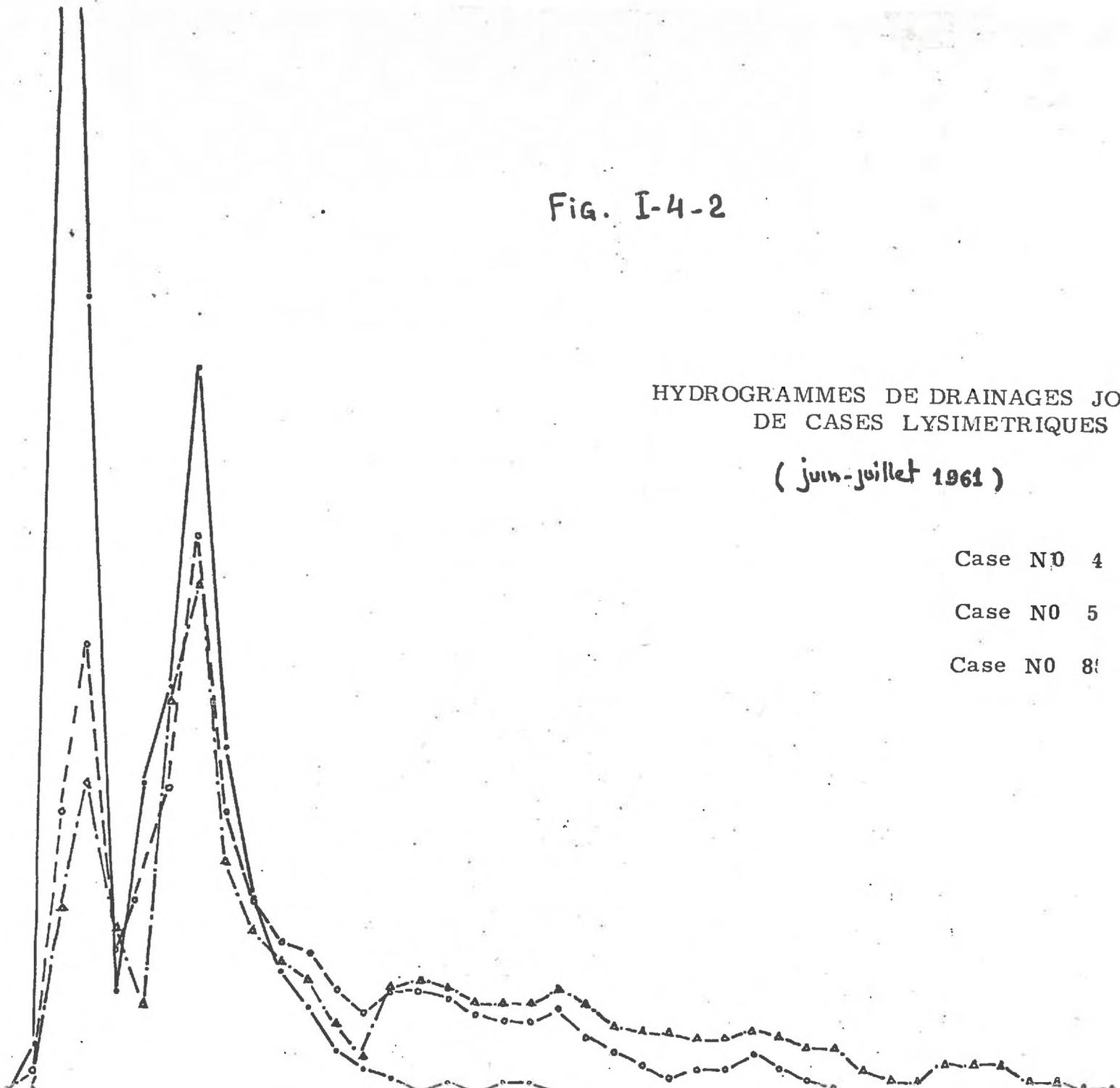


Fig. I-4-3

VARIATION DE DÉBITS JOURNALIERS DU DRAINAGE DE  
CASES LYSIMÉTRIQUES EN FONCTION DU TEMPS  
( du 7 Février au 31 Mars 1961 )

Case N° 4	( 50 cm )
Case N° 5	( 100 cm )
Case N° 8	( 150 cm )

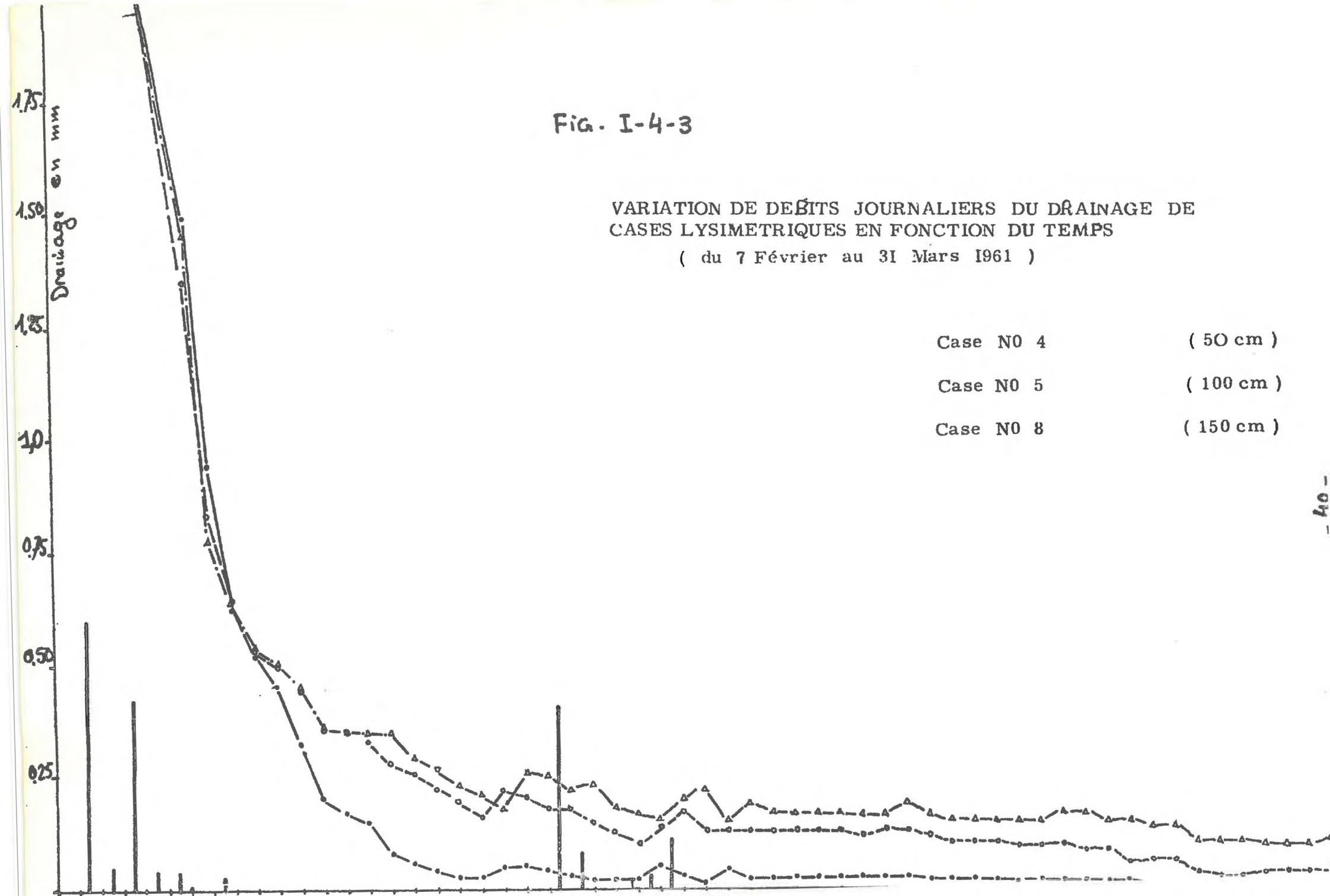
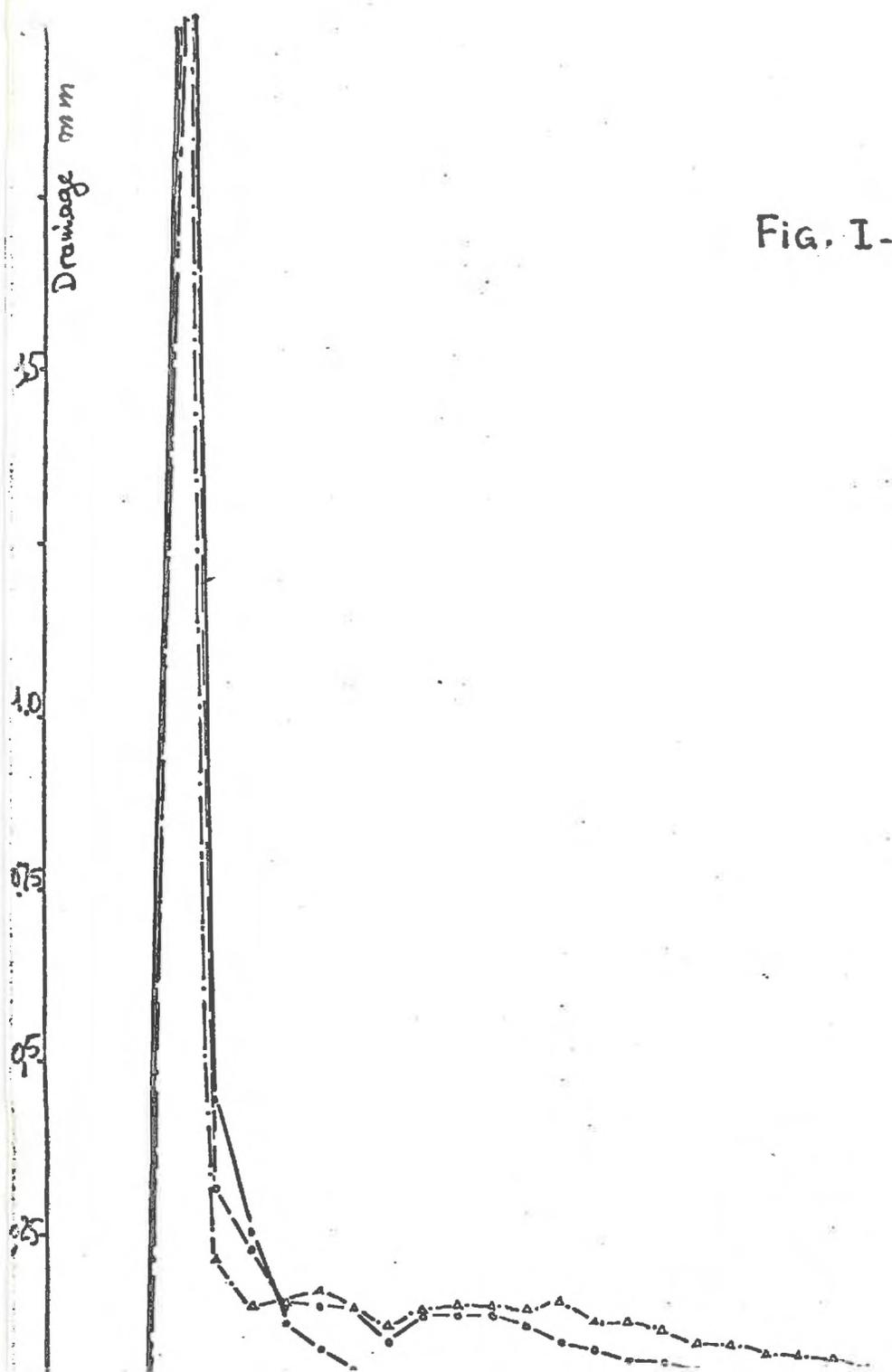


Fig. I-4-4

HYDROGRAMMES DE DRAINAGES JOURNALIERS  
DE CASES LYSIMETRIQUES

( juillet- Août 1961 )

Case N° 4	( 50 cm )
Case N° 5	( 100 cm )
Case N° 8	( 150 cm )



Nous avons établi pour chacun de ces épisodes les hydrogrammes qui correspondent aux trois cases de 50, 100 et 150 cm de profondeur. Parmi ces cas, on trouve quelques-uns qui sont divisés par deux ou trois périodes pluvieuses qui se sont succédées. Ils nous fournissent alors autant de courbes de tarissement à condition que les périodes de pluie soient, bien entendu, assez éloignées l'une de l'autre. L'examen des hydrogrammes correspondant aux cas sélectionnés ci-dessus montre que :

1) - Suivant la règle générale, après chaque pluie et suivant sa quantité totale et son intensité, le drainage se met à croître après le temps nécessaire pour l'imbibition et l'infiltration. Nous verrons plus tard que cette croissance se produit en général d'abord dans la case la moins profonde ; limitant ici l'étude à des données mesurées toutes les 24 heures, il n'est pas facile de mettre en évidence ce phénomène.

2) - La décroissance du débit des drainages journaliers est très rapide, pendant les 2 à 4 premiers jours, puis elle devient de plus en plus lente.

3) - Dans la phase suivante, la courbe correspondant à la case de 50 cm descend plus rapidement que les deux autres ; le tarissement s'effectue donc d'abord dans celle-ci, et puis respectivement dans celles de 100 et de 150 cm. On retrouve donc ici le résultat obtenu dans l'étude des courbes de débits journaliers classés. Nous parlerons plus tard, après avoir ajusté les différentes courbes à des formules pour exprimer l'ordre de grandeur de l'effet de la profondeur sur le temps nécessaire pour qu'un sol libre la quasi-totalité de l'eau drainable qu'il contient.

Nous présentons dans le tableau III - 5 - 1 pour chacun des cas sélectionnés pendant les mois chauds de l'année, la hauteur de pluie survenue tout au long de la période considérée et les hauteurs totales de drainage, ainsi que le nombre de jours du drainage pour les trois cases.

Le nombre de jours de drainage pour les deux cases profondes peut être bien supérieur aux valeurs indiquées dans le tableau III - 5 - 1. Ces valeurs montrent seulement la durée de périodes pratiquement sans pluie entre deux pluies successives importantes.

### III. - 2 - 2 - Cas sélectionnés pendant la saison froide

Nous avons vu au cours de l'étude des courbes des débits classés de drainage, que pendant la saison froide, une très grande partie des précipitations s'infiltrer dans le sol, le pouvoir évaporant de l'atmosphère étant faible en hiver. Le sol reste plus humide qu'en été, il est donc rare qu'une pluie, même faible, ne provoque pas une remontée du débit de drainage ; en général, le tarissement ne peut pas être suivi sur une longue période.

Numéros	Date	50 cm		100 cm		150 cm		P mm
		N. j. dr.	Drainage	N. j. dr.	Drainage	N. j. dr.	Drainage	
1	6.06.61	40	9,85	40 +(a)	8,61	40 +	9,14	65,0
2	27.07.61	19	6,78	31	6,93	55	7,68	56,0
3	3.04.62	33	24,35	33 +	25,70	33 +	27,37	68,0
4	2.08.63	46	48,6	52	54,2	60	57,0	168,0
5	31.07.65	20	39,8	27	43,2	31	44,0	139,6
6	3.09.65	32	77,7	50	81,9	72	83,0	195,6
7	18.07.66	13	28,2	23	37,2	23	36,5	88,4

Tableau III - 5 - 1

Drainage et pluviométrie durant les périodes sélectionnées parmi les mois chauds

(:a) le signe + devant les chiffres exprime que le tarissement a été interrompu par un nouvel épisode du drainage

Voici ci-dessous quelques épisodes que nous avons choisis parmi les données journalières présentant ainsi une période de tarissement :

1. - du 28 Janvier	au 8 Avril	1961
2. - du 12 Décembre	au 30 Décembre	1961
3. - du 5 Février	au 3 Mars	1962
4. - du 4 Novembre	au 10 Décembre	1962
5. - du 19 Novembre	au 5 Décembre	1963
6. - du 1 Février	au 3 Mars	1965

Les hydrogrammes du drainage ont été établis pour chacun des cas ci-dessus. Nous trouvons également ici des cas possédant 2 ou 3 épisodes de drainage et de débit de tarissement successifs dus aux pluies intervenant en cours de tarissement.

Le tableau III - 5 - 2 présente le drainage total et la pluviométrie au cours de chaque cas ainsi que la durée approximative des épisodes étudiés.

### III. - 2 - 3 Conclusions sur les cas sélectionnés de "saison chaude" et de "saison froide"

L'examen d'un certain nombre de cas, ainsi choisis parmi soit les données des mois froids, soit celles des périodes chaudes de l'année nous permet au moins de voir la forme de variation de débit du drainage d'une couche de sol nu et désigner en plus les différentes composantes de la courbe représentant ces variations que nous avons appelé "l'hydrogramme du drainage". Nous avons vu que cela ressemble par sa forme à celle qu'on observe à l'exutoire d'un bassin versant après une averse isolée. Nous avons ensuite suivi ces variations dans des couches de sol ayant les profondeurs différentes. Bien que le manque de précision sur les données journalières ne permette pas de mettre en évidence l'hypothèse suivant laquelle il y aurait une certaine différence de forme des hydrogrammes du drainage de ces couches drainantes ; nous avons vu au moins pour la partie descendante de celle-ci (qui est le sujet même de notre étude), une tendance à ne pas se manifester de la même façon pour les couches du sol d'épaisseurs différentes. C'est dire que le drainage ayant atteint un maximum, en l'absence de nouvelles alimentations, la décroissance est très rapide, le taux de variation de volume de drainage d'un jour à l'autre atteint même de 1 à 1/10 au cours de 24 heures, par exemple, la case de 150 cm a drainé 22,8 mm d'eau le 7 août 1963 à la suite de 49,8 mm de pluie survenue le jour précédent, tandis que le 8 août c'est-à-dire un jour après la quantité d'eau recueillie pour cette même case ne dépassait pas de 2,25 mm. De même, les cases de 100 cm et 50 cm passaient respectivement pendant ces 2 jours de 21,65 à 3,05 mm et de 20,4 à 3,05 mm.

Tableau III - 5 - 2

Cas No.	Date	50 cm		100 cm		150 cm		Pluie mm
		Nombre de jours de drainage	Drainage mm	Nombre de jours de drainage	Drainage mm	Nombre de jours de drainage	Drainage mm	
1	28.01.61	53	44,85	71	47,44	71	50,35	57,20
2	12.12.61	18 +	11,3	18 +	12,5	18 +	13,1	
3	5.02.62	25 +	21,5	25 +	22,7	25 +	23,8	51,3
4	4.11.62	37 +	77,9	37 +	75,3	37 +	73,3	
5	19.11.63	14	27,22	16	30,44	18	31,80	36,8
6	1.02.65	22	33,20	29	41,90	33	43,00	44,7

Drainage et pluviométrie durant les périodes sélectionnées parmi les mois froids

Mais la durée de ces fortes variations est assez courte par rapport à la durée totale nécessaire pour que le drainage cesse. On observe seulement pendant un ou deux jours une telle descente, à partir de ce moment, les variations de l'intensité du drainage d'un jour à l'autre sont de plus en plus faibles et d'autant plus faibles que le sol est plus profond. C'est dire que les courbes descendantes du débit qui ont pendant les premiers jours une forme confuse qui rend très difficile leur comparaison, peuvent être assez bien distinguées l'une de l'autre à partir de ce moment ; car normalement sur l'axe des abscisses à un instant donné, le débit plus élevé correspond à la couche drainante plus épaisse. Le drainage s'arrête tout d'abord dans la couche moins profonde et ensuite dans celle de moyenne profondeur et finalement dans la plus profonde.

Voici quelques indications quantitatives plus précises sur la décroissance des drainages après la pluie :

Il faut d'abord rappeler qu'en étudiant les débits journaliers classés, nous avons constaté que dans les exemples traités (tableaux II - 4 - 3 et II - 4 - 4), le drainage fourni par les jours dont le débit est inférieur à 0,5 mm par jour est de l'ordre d'une quarantaine de mm par an pour les cases de 150 cm de profondeur et inférieur à cette valeur pour les autres cases ; si maintenant on envisage les jours où le débit est inférieur à 0,15 mm par jour, on tombe à une contribution annuelle qui est de l'ordre de grandeur de la dizaine de mm, soit quelques p. 100 du drainage annuel (par exemple, 1 à 4 %).

Examinons donc maintenant comment se situent les courbes de tarissement par rapport à ces débits de 0,5 mm par jour et 0,15 mm par jour :

Sur les épisodes sélectionnés, nous avons calculé pour quelques cas caractéristiques (absence de pluie pendant le tarissement), le nombre de jours de drainage ainsi que la hauteur totale drainée avec le débit de drainage supérieur à 0,5 mm par jour - entre 0,5 et 0,15 mm par jour et inférieur à 0,15 mm par jour : ces résultats se trouvent sur le tableau III - 6 ; on note que 2 à 4 jours après la fin de la pluie, le drainage tombe en-dessous de 0,5 mm par jour, c'est-à-dire à un débit déjà faible (contribution au drainage annuel peu supérieure à 10 p. 100) encore 2 à 4 jours plus tard, le drainage de la case de 50 cm est devenu inférieur à 0,15 mm par jour, ce qui, à bien des égards, est négligeable, alors que cette phase dure souvent une dizaine de jours pour la case de 100 cm et plus pour celle de 150 cm.

Date initiale	Classe de q mm/j.	Case 4			Case 5		Case 6	
		Fin Pluie	Nombre Jours	Drainage mm	Nombre Jours	Drainage mm	Nombre Jours	Drainage mm
11.12.61	q $\geq$ 0,5	13.12	7	18,42	7	18,20	7	18,94
	0,5 > q $\geq$ 0,15		3	0,73	10	2,54	12	2,70
	q < 0,15		9	0,39	2	0,25	-	-
12.06.61	q $\geq$ 0,5	13.06	4	3,38	4	2,69	3	2,20
	0,5 > q $\geq$ 0,15		3	0,86	13	3,01	22	3,71
	q < 0,15		28	1,04	18	1,32	10	1,00
17.04.62	q $\geq$ 0,5	18.04	4	5,11	5	5,40	5	5,90
	0,5 > q $\geq$ 0,15		4	0,85	10	2,82	13	4,00
	q < 0,15		10	0,65	4	0,23	1	0,10
29.07.61	q $\geq$ 0,5	28.07	1	5,56	1	4,42	1	3,64
	0,5 > q $\geq$ 0,15		2	0,71	5	1,02	11	1,77
	q < 0,15		14	0,46	24	1,50	30	1,88
30.09.65	q $\geq$ 0,5	2.10	6	27,93	6	26,61	6	27,90
	0,5 > q $\geq$ 0,15		1	0,19	6	1,58	8	2,13
	q < 0,15		6	0,36	19	0,64	20	1,78

Tableau III - 6

Nombre de jours de drainage et le drainage total pour les différentes classes de débits

Avant d'effectuer une comparaison plus détaillée des différentes parties de l'hydrogramme de drainage, nous examinerons les données obtenues par les appareils enregistreurs pour se rendre compte également des variations du débit qui peuvent survenir au cours de 24 heures. Nous aurons recours également à quelques formules mathématiques proposées pour ce genre d'études, pour faciliter notre comparaison par les moyens des chiffres et des graphiques déduits. Indiquons, d'autre part, qu'avec les appareils enregistreurs, nous étudierons plusieurs cases de 150 cm de profondeur, comme cela a été fait en II - 4 (débits journaliers classés) et non pas seulement la case 8, ce qui permettra là encore de confirmer les résultats obtenus avec la case 8.

III. - 3 Analyse des drainages recueillis par les appareils enregistreurs -  
(intervalles de temps entre deux mesures souvent très inférieures à 24 heures)

III. - 3 - 1 - Généralités

A partir du mois de février 1968, trois appareils enregistreurs (pluviographe à augets basculeurs) ont été installés à l'exutoire de trois lysimètres destinés à notre étude. Le drainage a été ainsi enregistré et suivi pendant deux années (sauf interruptions intervenues par le mauvais fonctionnement des appareils). Quant à la pluviométrie, nous avons utilisé les données de la station météorologique du C.N.R.A. qui se trouve à quelques 300 mètres de notre installation. Depuis février 1968, nous possédons donc une série de courbes expérimentales de la variation du débit de drainage de trois lysimètres de différentes profondeurs à la suite des précipitations.

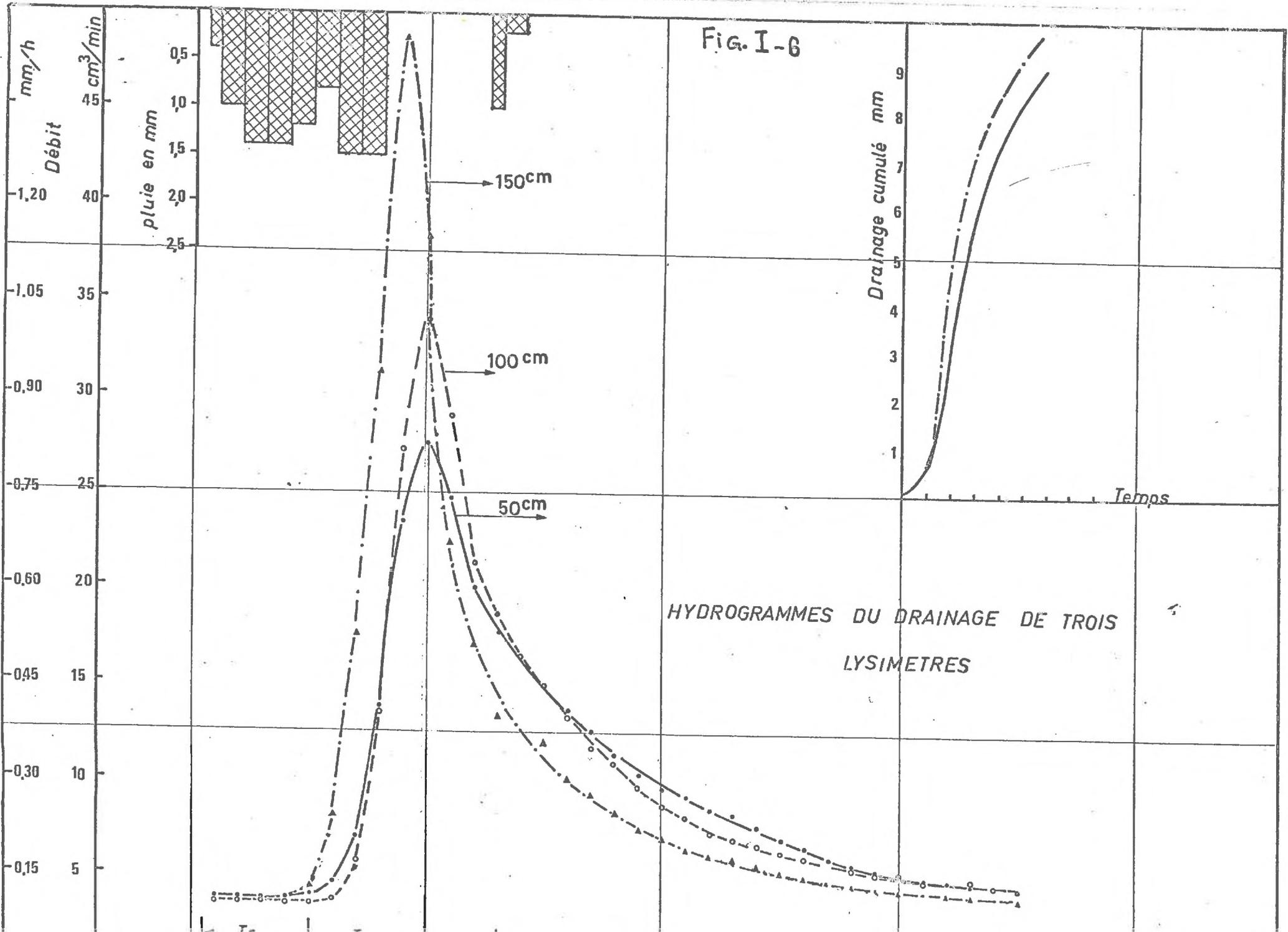
Les périodes suivantes ont été sélectionnées parmi l'ensemble des données :

1.	- du 7 Février	au 14 Février	1968	Saison froide
2.	- du 14 Février	au 21 Février	1968	Saison froide
3.	- du 21 Février	au 21 Mars	1968	Saison froide
4.	- du 21 Mars	à fin Avril	1968	Saison chaude
5.	- du 1 Nov.	au 30 Novembre	1968	Saison froide
6.	- du 12 Mars	au 24 Avril	1969	Saison chaude
7.	- du 25 Avril	au 20 Mai	1969	Saison chaude
8.	- du 24 Juin	au 10 Juillet	1969	Saison chaude

Comme dans l'étude des épisodes du drainage journalier, nous avons présenté, pour chacune des périodes ci-dessus l'hyéto-gramme de la pluie et l'hydrogramme du drainage correspondant en examinant les différentes composantes de celle-ci et en comparant les résultats de trois lysimètres. Ce choix des épisodes sélectionnés a été basé sur les mêmes règles que nous avons présentées précédemment : pluies importantes et isolées, épisode du drainage assez long pour suivre l'évolution du drainage dans le temps, etc... On aperçoit à ce sujet que la durée des épisodes (intervalle de temps entre le commencement du drainage ou sa remontée et la fin ou son interruption) est bien différente d'un épisode à l'autre. Cela varie de quelques heures pour un épisode de tarissement non complet à plus d'un mois pour les cas non interrompus par les précipitations et qui aboutissent donc à un tarissement presque complet. Cela montre que le problème des pluies parasites a été résolu, ici comme dans l'étude précédente (mesures journalières), par l'interruption de l'épisode là où la pluie fait croître le drainage de plus de 0,1 mm à partir du minimum atteint antérieurement. Mais dans certains cas, la pluie n'ayant pas provoqué d'augmentation sensible du débit, il semble qu'elle provoque une prolongation dans le temps du drainage, qui aurait un effet de retardement sur le tarissement. Cela est observé surtout vers la fin de l'épisode du drainage dans les cases profondes à partir des précipitations assez faibles.

Avant d'examiner les épisodes sélectionnés, nous avons présenté sur le graphique I - 6 un hydrogramme-type du drainage ainsi que l'hyéto-gramme correspondant. Les différentes composantes de cet hydrogramme qui peuvent être considérées en quelque sorte comme des caractéristiques hydrauliques des cases sont présentées ainsi :

$t_1$	l'instant de commencement de pluie
$t_2$	le début de réponse
$t_0$	l'instant du débit maximal, origine de temps pour la courbe de décroissance de débit
$t_3$	la fin de l'épisode étudié
$T_r$	Temps de réponse
$T_m$	Temps de montée
$T_v$	Temps de décroissance



$Q_1$	Débit initial de drainage
$Q_M$	Débit maximal

De plus, nous avons établi des tableaux récapitulatifs qui présentent les valeurs numériques des paramètres ci-dessus pour les différents épisodes et sous-épisodes étudiés.

### Description des tableaux

Pour l'ensemble des épisodes pluvieux examinés au cours de ce chapitre, un certain nombre de paramètres tirés à partir des hydrogrammes sont chiffrés et mentionnés dans les tableaux III - 8 - 1 à III - 8 - 5 ; les différentes colonnes de ces tableaux montrent respectivement :

- 1) Date : le ou les jours où les épisodes pluvieux se sont produits
- 2) Profondeur : l'épaisseur de la couche drainante des cases étudiées
- 3) Début de réponse ( $t_2$ ) : il s'agit de l'instant où la remontée du débit de drainage est marquée sur les diagrammes des enregistreurs
- 4) Débit initial ( $Q_1$ ) en mm/h : c'est le débit du drainage juste avant la remontée à l'instant  $t_2 - 1$ . Il est à peu près nul dans le cas où le sol est à la capacité au champ avant l'arrivée de pluie provoquant un épisode de drainage.

Mais, étant donné qu'en présence de pluies successives et fréquentes, il y a un régime de drainage continu, ce débit a souvent une valeur non négligeable. Cette valeur varie suivant les cas que nous avons sélectionnés de 0 à 0,2 mm/h. Etant donné que faute de mesures nous n'avons pas de connaissance de l'humidité du sol, ce débit initial est le seul facteur permettant de caractériser l'état d'humidité du sol.

- 5) Temps de réponse : nous avons défini le temps de réponse comme intervalle de temps  $\Delta t$ , entre  $t_2 - t_1$  le commencement de la pluie et la remontée du drainage. On utilise souvent le "lag" qui est le temps compris entre les deux sommets correspondants respectivement à l'hyétochrome de la pluie (ou le centre de gravité de celle-ci) et à l'hydrogramme du drainage. Le temps de réponse tel qu'il est défini, dépend beaucoup de l'état initial du sol en humidité et des autres facteurs tels que la granulométrie, la porosité, les matières organiques, etc ... et encore des caractéristiques de la pluie. Autrement dit, la capacité d'infiltration joue un rôle très important pour la détermination de ce temps de réponse. Nous avons calculé à partir de cela le rapport  $L/T_r$  que nous nommons vitesse de transfert de l'eau à travers la couche

drainante,  $L$  étant la profondeur de celle-ci. Cette évaluation est approximative car des fluctuations de l'ordre d'une dizaine de minutes au plus, interviennent quand il s'agit de préciser les deux extrémités de  $T_r$  (commencement de pluie et la remontée du drainage). Notons d'autre part que l'eau doit s'accumuler à la base, un peu avant le drainage, ce qui accroît  $T_r$ . Nous avons présenté quelques valeurs numériques de cette "vitesse de transfert" dans le tableau III - 7. La pluviométrie ainsi que le débit initial du drainage pour chaque cas et chaque case sont également présentés, nous avons considéré le débit initial comme un élément en corrélation avec l'humidité initiale du sol.

Ces valeurs sont plus ou moins en accord avec les résultats obtenus au cours d'une étude d'infiltration au champ par la méthode de tensiomètre (A. Féodoroff, 1969), d'après laquelle, la vitesse d'infiltration dans un sol limon au long d'une dizaine de cas observés, varie de 3,10 à 8,33 cm par heure. Ces dernières valeurs intéressent, il est vrai, une couche de 25 cm de profondeur. D'après le tableau III - 7, que nous avons établi par la méthode de drainage, cette vitesse de "transfert" est plus grande suivant la profondeur croissante des cases étudiées.

Le graphique I - 7 montre la variation du temps de réponse en fonction du débit initial, les points expérimentaux relatifs à trois cases y sont présentés.

Tableau III - 7  
Vitesse de "transfert" de l'eau ( $L/T_r$ )

Date	Pluie		Case 4 50 cm		Case 5 100 cm		Case 22 150 cm	
	Hauteur mm	Intensité mm/h	$q_i$ mm/h	$V_f$ cm/h	$q_i$ mm/h	$V_f$ cm/h	$q_i$ mm/h	$V_f$ cm/h
8.2.68	2,5	0,55	0,120	6,89	0,150	11,4	0,13	31,57
13.2.68	8,0	1,10	0,027	6,25	0,030	8,69	0,030	17,64
20.2.68	8,1	0,90	0,005	4,16	0,020	4,76	0,020	6,81
21.2.68	6,6	0,66	0,090	4,87	0,080	8,00	0,080	12,50
25.3.68	6,3	0,70	0,010	4,15	0,030	5,85	-	-
21.4.69	19,0	4,60	0,000	1,11	0,008	1,96	0,010	2,54

6) Débit maximum ou débit de pointe : les chiffres présentés dans la colonne 6 des tableaux récapitulatifs sont les valeurs de drainage observé pendant une heure et ne présentent pas le drainage maximum instantané qui peut être bien plus élevé. (Rappelons que l'enregistrement est discontinu : un basculement pour chaque écoulement de 20 ml, ce qui pour les cases de 2 m<sup>2</sup> correspond à un drainage de 0,01 mm ; les plus faibles des débits de pointe étudiés étant de l'ordre de 2 ou 3 centièmes de mm par heure, cela justifie le choix de l'heure comme plus petit intervalle de temps utilisé).

Le débit de pointe survient dans la majorité des cas, une ou deux heures après la fin de la pluie. Sa valeur varie, suivant le cas, au cours de nos observations, d'une fraction de mm à 3,3 mm/h pour la case de 150 cm, 2,25 mm/h pour celle de 100 et 1,98 mm/h pour la case de 50 cm. Les deux premiers chiffres sont observés le 1er novembre 1968 avec une pluviométrie de 24,1 mm et le troisième, le 12 mars 1969 à la suite de 12,6 mm de pluie ; le même jour, le débit maximum de la case de 100 cm était 2,2 mm qui est voisin avec le débit observé le 1er novembre par la même case.

Les débits de pointe seront introduits dans les formules des courbes de tarissement que nous présentons plus tard. Remarquons ici que les débits de pointe peuvent être utilisés pour essayer de caractériser la perméabilité des cases ; mais sous le climat de Versailles, où les pluies les plus intenses et les plus abondantes sont relativement modérées, et avec le sol utilisé, on n'observe que rarement la formation d'un plan d'eau à la surface ; nous examinons donc seulement dans cet essai, pour chacune des trois profondeurs, le plus grand des débits de pointe observés ; supposons qu'alors ces débits se produisent avec un plan d'eau à la surface des cases :

D'après la loi de Darcy : 
$$q = K S \frac{\xi + L}{L}$$

L étant la profondeur de la couche du sol, ici égale à 1 mètre.

Nous prenons  $\frac{\xi + L}{L}$  c'est-à-dire la charge hydraulique égale à 1,

on a :

$$K = \frac{q}{S}$$

S : la surface de la section = 2 m<sup>2</sup>

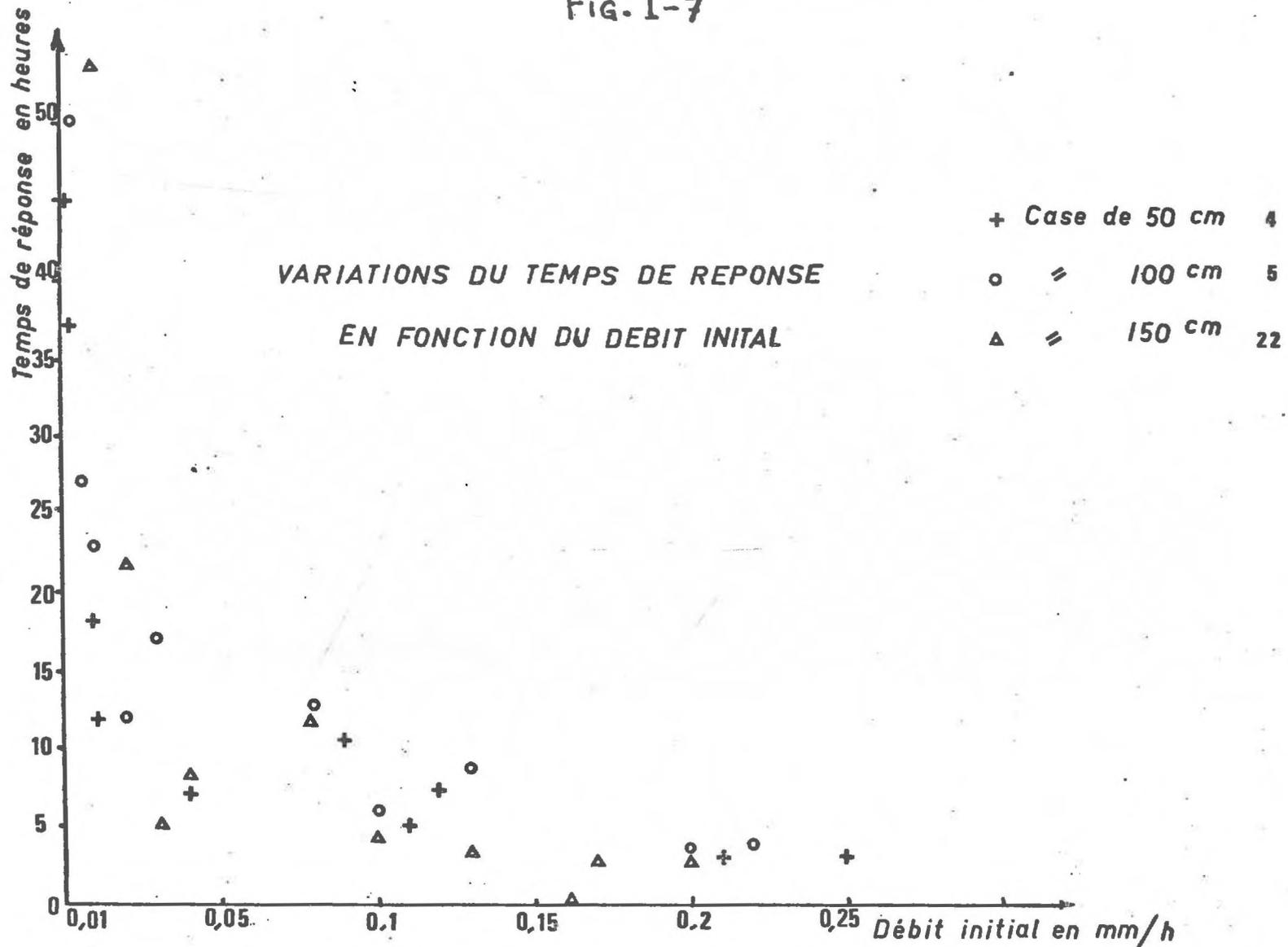
$$K_{150} = \frac{0,0066}{3600 \times 2} = 9,2 \times 10^{-7} \text{ m/s} = 9,2 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

$$K_{100} = \frac{0,0045}{3600 \times 2} = 6,8 \times 10^{-7} \text{ m/s} = 6,1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

$$K_{50} = \frac{0,0039}{3600 \times 2} = 5,5 \times 10^{-7} \text{ m/s} = 5,5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

Les trois cases manifestent ici une perméabilité moyenne.

Fig. I-7



7) Temps de montée : c'est l'intervalle de temps ( $t_2 - t_1$ ) entre le début et la fin de la courbe de montée. Il dépend surtout de la durée et de l'hétérogénéité de la pluie et de la profondeur du sol, ainsi que sa teneur initiale en humidité. La croissance du débit est assez lente pendant l'arrivée des premières gouttes de drainage, elle devient ensuite très rapide jusqu'au débit de pointe. La durée du temps de montée varie au cours des cas sélectionnés de 2 à 24 heures.

8) Volume écoulé pendant le temps de montée : nous avons divisé le volume d'eau total écoulé au cours d'un épisode de drainage en deux parties : le volume écoulé pendant la courbe de montée, et celui drainé au cours de la décroissance de celle-ci. La fin de la pluie peut être également un critère pour effectuer cette division car le volume d'eau drainé après la pluie représente la quantité d'eau stockée dans la réserve, en plus de la capacité de rétention, moins certaines pertes par évaporation. Mais comme nous parlerons souvent de la courbe de décroissance de débit, nous avons préféré présenter le drainage total correspondant à chaque hydrogramme par deux parties, une avec le débit croissant et l'autre avec le débit décroissant. Les colonnes 8 et 11 des tableaux présentent ces valeurs pour une dizaine de cas sélectionnés.

9) La durée de décroissance : nous l'avons définie comme l'intervalle de temps couvert par la courbe de décroissance du débit de drainage ; autrement dit, l'intervalle de temps pendant lequel le débit est régulièrement en baisse. Cette durée varie dans les cas de tarissement non complet suivant la distance entre deux pluies successives, et dans les cas de tarissement très poussé, suivant la profondeur des cases.

On aperçoit dans la colonne correspondante du tableau que cette durée varie de 3 heures (cela est certainement le cas d'un sous-épisode) à 980 heures, c'est-à-dire 41 jours environ. Nous en parlerons au cours d'études des épisodes de drainage.

10) La dernière colonne du tableau présente le débit final, pour chaque épisode qui doit être normalement le débit minimum observé à la fin de la courbe de décroissance. Au cas de deux épisodes successifs, le débit final du premier sera bien entendu le débit initial du second. Les caractéristiques pluviométriques de chaque épisode sont présentées également à la fin.

Après cette présentation assez détaillée de différentes composantes des hydrogrammes en général, nous examinerons les épisodes chacun séparément comme dans le cas de drainages journaliers. Ici encore, les épisodes seront divisés en deux catégories suivant qu'ils sont situés au cours des mois chauds ou des mois froids de l'année.

DATE	L	D. R.	Q1	Tr	Q Max	Tm	Vc	D. dec	T <sub>v</sub>	V. dec	Q min	V	PLUVIOMETRIE				
													H	P			
	cm		mm/h	h	mm/h	h	l/l	mm	h	l/l	mm/h	mm	I Max	I Min			
1968	7	50	16 H 30	0,11	5.	0,83	4,5	4,5	27	15,22	0,12	19,7	9,7	9,0	1,08	1,5	
	Février 1968	100	17 H 30	0,10	6.	4,02	3,5	4,72	27	15,70	0,13	20,4		20,4			
		150	15 H 45	0,10	4,25	1,46	4,25	6,45	3,22	27	14,10	0,13	20,5		20,5		
8 - 9	50	01 H 00	0,12	7,25	0,19	5,00	1,28	0,64	113,5	11,80	0,027	13,0	2,5	4,5	0,55	1,2	
	Février 1968	100	02 H 30	0,13	8,75	0,17	4,00	1,32	117,0	15,60	0,031	16,9		16,9			
		150	22 H 30	0,13	4,75	0,18	7,50	2,10	1,05	114,0	14,60	0,04	16,7		16,7		
13 - 14	50	23 H 30	0,027	8,0	0,23	7,5	1,84	0,92	138,0	10,78	0,005	12,6	8,0	6,25	1,1	1,8	
	Février 1968	100	03 H 00	0,030	11,5	-	-	-	-	-	0,02	-		-			
		150	00 H 00	0,04	8,5	0,20	12,0	2,80	1,40	142,0	13,16	0,02	15,96		15,96		
20	50	03 H 00	0,005	12,0	0,12	12,0	1,80	0,90	15,0	2,92	0,09	4,72	8,1	9,0	0,9	1,8	
	Février 1968	100	12 H 00	0,02	21,0	0,07	10,0	0,80	8,0	8,0	1,20	2,00		2,00			
		150	13 H 00	0,02	22,0	0,07	10,0	1,00	0,50	9,0	1,40	0,08	2,40		2,40		
		150	12 H 00	0,02	21,0	0,07	10,0	0,90	0,45	10,0	1,40	0,08	2,30		2,30		
1968	20	12 H 00	0,02	21,0	0,07	10,0	0,90	0,45	10,0	1,40	0,08	2,30		2,30			
	Février 1968	100	12 H 00	0,02	21,0	0,07	10,0	0,80	8,0	1,20	0,08	2,00		2,00			
		150	13 H 00	0,02	22,0	0,07	10,0	1,00	0,50	9,0	1,40	0,08	2,40		2,40		
		150	12 H 00	0,02	21,0	0,07	10,0	0,90	0,45	10,0	1,40	0,08	2,30		2,30		

DATE	T cm	D. R.	Q1 mm/h	Pr h.	QM mm/h	Tm h.	Vc l/l	D.dec mm	T <sub>v</sub> h	V.dec l/l	Qmin mm/h	V mm	PLUVIOMETRIE			
													H mm	D h	I mm/h	I Max mm/h
1968 20 - 21 Février	50	06 H 00	0,09	10,25	0,28	7,0	2,34	1,17	6,0	2,87	0,21	5,21	6,6	11,0	0,66	1,2
	100	07 H 00	0,07	12,50	0,21	8,0	2,20	1,10	4,0	1,65	0,20	3,85				
	150	07 H 00	0,08	12,00	0,26	7,0	1,80	0,90	4,0	1,40	0,20	3,20				
	150	07 H 00	0,08	12,00	0,26	7,0	1,80	0,90	4,0	1,40	0,20	3,20				
1968 21 - 22 Février	50	19 H 40	0,21	3,00	0,57	3,25	2,80	1,40	11,0	7,80	0,25	10,60	5,7	2,3	2,5	7,2
	100	19 H 00	0,20	3,8	0,64	2,50	2,50	1,25	11,0	7,80	0,22	10,30				
	150	18 H 00	0,20	2,25	1,0	3,0	4,20	2,10	12,0	7,48	0,17	11,68				
	150	18 H 30	0,18	2,5	0,75	4,0	3,40	1,70	11,0	7,20	0,18	10,60				
1968 22 Février	50	10 H 30	0,25	5,0	0,60	3,5	3,30	1,65	17,0	13,10	0,25	16,40	8,5	9,7	0,9	1,6
	100	10 H 30	0,22	5,0	0,68	3,5	3,30	1,65	17,0	14,20	0,22	17,50				
	150	10 H 00	0,17	4,5	0,90	3,0	4,00	2,00	18,0	12,60	0,20	16,60				
	150	09 H 00	0,18	3,5	0,78	4,0	3,00	1,50	18,0	11,0	0,20	14,0				

DATE	L cm	D.R.	Qi mm/h	Tr h	-QM mm/h	Tm h	Vc li mm	D.dec	Tv h	V.dec li mm	Q min mm/h	V li mm	PLUVIOMETRIE			
													H mm	D H	IM mm/h	Im mm/h
23 Fevrier 1968	50	07 H 00	0,25	3,0	0,42	4,5	1,70 0,85	10 H 00	670,0	19,50 9,75		21,20 10,60	3,3	1,5		2,2
	100	08 H 00	0,22	4,0	0,42	3,5	1,60 0,80	10 H 00	672,0	29,10 14,55	0,006	30,70 15,35				
	150	07 H 15	0,20	-	0,44	2,0	1,40 0,70	09 H 00	670,0	29,10 14,55	0,008	30,50 15,25				
	150	07 H 15	0,20	--	0,40	2,0	1,40 0,70	09 H 00	670,0	29,10 14,55	0,008	30,50 15,25				
21 - 22 Mars 1968	50	11 H 00 22	0,00	9:22 37 P	0,18	4,0	1,00 0,50	17 H 00 23	82,0	9,90 4,90	0,01	10,9 5,45	5,5	3,2	1,6	3,2
	100	07 H 00	0,006	5 P1 27 P2	0,09	18,0	1,40 0,70	01 H 00 24	75,0	8,20 4,10	0,03	9,60 4,80	9,6	4,2	2,2	3,1
	150	09 H 00	0,006	5 P2 27 P	0,05	-	-	-	-	-	-	5,60 2,80				
	150	08 H 00	0,008	-	0,03	-	-	-	-	-	-	2,20 1,10				
25 - 26 Mars 1968	50	05 H 00 26	0,01	12,0	0,06	14,0	1,10 0,55	19 H 00 26	200 +480	3,34 1,67	0,00	4,44 2,22	6,3	9,5	0,7	2,0
	100	10 H 00 26	0,03	17,0	0,05	10,0	1,10 0,55	23 H 00 26	680,0	12,00 6,00	0,003	13,10 6,55				
	150	20 H 00 26	0,012	27,0	0,025	36,0	1,80 0,90	12 H 00 28	680+	-	-	-				

Tableau Récapitulatif III - 8 - 3

DATE	L cm	D. R.	Qi mm/h	Tr h	Q MAX mm/h	Tm h	Vc li : mm	D. dec	Tv h	VV. dec li mm	Q Min mm/h	V li mm	PLUVIOMETRIE			
													H mm	D h	I min mm/h	IMax mm/h
31 Oct.	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,3	1,1	5,7	22,2
1 Nov. 1968	100	08 H 00	0,015	10	0,25	4,0			10,0		0,22	5,40 2,70				
	150	06 H 00	0,020	8	0,39	4,0			11,0		0,22	8,80 4,40				
SUITE	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,8	7,25	2,5	6,6
1 Nov. 1968	100		0,22	4	2,25	2			458,0		0,006	50,60 25,30	8,2	12,25		
	150		0,22	3	3,30	2			460,0		0,006	43,0 21,5				
11 - 12 Mars 1968	50	07 H 00 12	0,00	18 P1 10 P2	1,98	21,0	16,80 8,40	05 H 00 13	980	38,40 19,20	0,00	55,2 27,6	32,05	34,7	0,93	6,7
	100	12 H 00	0,01	23, P1 15 P2	2,19	17,0	12,60 6,30	05 H 00	980	47,68 23,84	0,008	60,28 30,14				
	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
21 Avril 1969	50	22 H 00 22		45,0	0,18	16,0	2,60 1,30	12 H 00 23	66	8,60 4,30	0,04	11,2 5,60	19,0	4,2	4,6	8,0
	100	04 H 00 23	0,008	51,0	0,09	20,0	2,40 1,20	02 H 00 24	45	7,50 3,75	0,02	9,90 4,95				
	150	12 H 00 23	0,01	59,0	0,08	24,0	2,20 1,10	12 H 00 24	41	3,40 1,70	0,03	5,60 2,60				

Tableau Récapitulatif III - 8 - 4

**Tableau Récapitulatif III - 8 - 5**

DATE	L cm	D.R.	Qi mm/h	Tr h	Q Max mm/h	Tm h	Vc li mm	D. dec	Tv h	Vdec li mm	Q min mm/h	V li mm	PLUVIOMETRIE			
													H mm	D h	Im mm/h	IMax mm/h
25-26	50	06 H 00 26	0,04	6,0	1,5	4,0	5,00 2,50	10 H 00 26	590	12,60 6,30	0,00	17,60 8,80	10,8	7,75	1,4	6,4
Avril	100	09 H 00 26	0,02	9,0	1,2	2,0	3,20 1,60	11 H 00	589	22,00 11,00	0,005	25,2 12,6				
1969	150	05 H 00	0,03	5,0	1,37	3,0	4,10 2,05	09 H 00	590	21,70 10,85	0,005	25,8 12,9				
23	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,3	14,5	1,26	2,8
Juin	100	00 H 00 26		13,5 P2 48 P1	0,8	2,0	1,00 0,50	03 H 00	687	20,0 10,0	ε	21,0 10,5				
1969	150	23 H 00 26		12,5 P2 47 P1	0,7	2,0	1,00 0,50	02 H 00	688	15,5 7,7	ε	16,5 8,25				

**L** : Profondeur de la case étudiée

**D.R.** : Début de réponse

**Qi** : Débit initial

**Tr** : Temps de réponse

**QMax** : Débit maximum observé

**Tm** : Temps de montée

**Vc** : Volume et hauteur du drainage avec le débit croissant

**Vdec** : Volume et hauteur du drainage avec le débit décroissant

**Ddec** : Début de décroissance du débit

**Tv** : Temps de vidange

**Qmin** : Débit minimum à la fin de l'épisode

**V** : Volume et hauteur totaux de drainage

### III. - 3 - 2 Analyse des hydrogrammes

Nous avons défini précédemment les différents éléments des hydrogrammes du drainage et leurs utilités ; nous avons donné également les tableaux qui englobent les renseignements au sujet des différents épisodes du drainage. Il faut noter que, parmi les périodes sélectionnées, certaines comprennent plusieurs épisodes successifs ; les caractéristiques des hydrogrammes de chacun ont été présentées séparément. Une autre case de 150 cm (case N° 8) a été étudiée à partir du 20 février 1968, ce qui porte le nombre des cases de 150 à deux, permettant ainsi la comparaison des résultats de cases de même profondeur.

L'examen des enregistrements montre que pour les années dont le drainage a été suivi, il y a drainage en permanence dans les cases profondes ; le débit prend des valeurs extrêmement faibles mais non nulles : de l'ordre du millième de mm/h, à la fin des épisodes et atteint les valeurs importantes : 3 mm/h après les pluies abondantes. Les résultats obtenus par cette étude sont en accord avec ceux déjà observés au cours de l'analyse des données journalières ; de plus, ici, nous avons certaines précisions sur des éléments qui intéressent la circulation de l'eau dans les cases.

Voici brièvement les résultats qui peuvent être soulignés à partir de ces observations :

- Etant donné que l'état de l'humidité du sol avant l'arrivée de la pluie varie d'un cas à l'autre, le temps nécessaire pour l'eau afin de provoquer le drainage est également différent. Comme il a été indiqué le débit initial qui est observé au début de chaque épisode est un indice de l'humidité du sol avant la pluie ; ce débit varie suivant l'importance de la pluie précédente, ainsi que l'intervalle de temps qui le sépare de cette pluie. La profondeur de la couche du sol et le pouvoir évaporant de l'atmosphère influencent évidemment ce débit. Les valeurs du débit initial pour les épisodes étudiés varient de 0 à 0,2 mm/h, le débit 0 correspond à la case de 50 cm qui s'arrête de drainer à la fin de certains épisodes, tandis que les cases plus profondes ont encore un débit non négligeable. Mais ce débit, surtout quand il s'agit du drainage à la fin des épisodes longs, n'est en vérité que représentatif de l'humidité d'une couche peu épaisse, à la base, qui a encore une humidité excédentaire à la capacité au champ, l'humidité de la couche supérieure étant conditionnée en grande partie par l'évaporation. A ce sujet, nous possédons trois profils hydriques correspondant à deux cases nues et une case protégée contre l'évaporation, toutes les trois profondes de 150 cm.

Ces profils, établis par G. Monnier le 16 mai 1960, sont présentés sur le graphique I - 9. Les mesures de l'humidité ont été effectuées au moment où les cases ont été exposées à une longue période sans pluie (27 jours), sauf les journées du 12 et 13 mai qui ont été marquées seulement par 1,5 et 1,6 mm de pluie. On remarque que les deux profils appartenant aux deux cases nues, tout en restant identiques entre eux, diffèrent beaucoup de celui de la case mulchée. Cette différence intéresse une profondeur de 50 cm qui est influencée par l'évaporation. Le débit de drainage pour les trois cases au même jour (le 16 mai 1960) est de :

Case 22 nue	Case 16 nue	Case 20 mulchée
0,14 mm/j	0,17 mm/j	0,19 mm/j
ou 0,005 mm/h	0,007 mm/h	0,008 mm/h

Ces valeurs correspondent aux plus faibles débits initiaux observés au cours de notre étude, c'est-à-dire le 22 mars 1968 où les cases de 150 cm ont un débit de 0,008 mm/h ; le drainage continue donc, bien que le déficit de la couche supérieure soit assez important : 37,4 mm pour la case de 150 cm nue contre 5,7 mm de la case mulchée. Mais on voit qu'au-delà de 60 cm de profondeur, les trois cases ont une humidité supérieure à la capacité de rétention, la case mulchée ayant tendance à présenter une humidité un peu plus élevée et, par conséquent, un drainage légèrement plus grand que celui des cases nues. La comparaison des profils hydriques des cases nues et de la case mulchée peut donner une idée sur les profils d'une même case pendant deux saisons ayant les pouvoirs évaporants différents ; autrement dit, le profil hydrique de la case protégée peut être considéré comme celui d'une case nue, mais correspondant à une époque où l'évaporation est beaucoup moins importante. L'intérêt de cette comparaison intervient dans l'interprétation de certains phénomènes tels que la vitesse de transfert que nous avons évoquée précédemment.

Nous avons vu que, d'après le tableau III- 7 qui présente cette vitesse suivant les différentes valeurs du débit initial, et le graphique I - 7, la variation du temps de réponse en fonction du débit initial, qu'il y a une corrélation assez étroite entre ces deux phénomènes. Mais certaines exceptions telles que l'exemple suivant peuvent être interprétées par les profils hydriques :

Le débit initial de la case nue (150 cm) étant 0,02 mm/h le 1er Novembre 1968 et 0,01 mm/h le 23 avril 1969, le temps de réponse est 8 heures pour le premier cas et presque 59 heures pour le second. La différence du débit initial de deux cas (0,01 mm/h) n'est pas si importante pour que cette grosse différence de 51 heures de temps de réponse soit due seulement à celui-ci. On peut donc penser que cela vient surtout du fait que l'humidité de la couche supérieure de la case est différente d'un cas à l'autre. Le 1er novembre 1968,