

OFFICE DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE OUAGADOUGOU - HAUTE - VOLTA
LABORATOIRE D'AGRONOMIE
B. P. 182 OUAGADOUGOU

**ANALYSE SOMMAIRE
DE LA DYNAMIQUE DE L'EAU
DANS LES SOLS SAHELIENS
SOUS PLUIES SIMULEES**

M. SICOT



ORSTOM

MARS 1981

**Analyse sommaire de la dynamique
de l'eau dans les sols sahéliens,
sous pluies simulées**

**M. SICOT
Agronome**

S O M M A I R E

	Pages
<u>Introduction</u>	1
<u>I. Cadre expérimental</u>	2
11. Le milieu naturel.....	2
12. Le dispositif expérimental.....	4
13. Méthodes utilisées pour la mesure des flux hydriques dans le sol	5
<u>II. Résultats et interprétations</u>	6
21. Les profils hydriques initiaux.....	6
22. L'infiltration	9
221. Description du phénomène	9
222. Analyse quantitative.....	10
223. Incidences des caractéristiques pluviométriques des averses	12
224. Incidence de l'état physique des couches superficielles du sol	13
23. Le ressuyage	14
231. Description du phénomène dans le site A	14
232. Quantification du phénomène dans le site A..	14
233. Incidence des facteurs pluviométriques et édaphiques sur le ressuyage dans le site A	14
234. Le ressuyage dans les autres sites	16
<u>III. Discussion</u>	18-19
<u>Conclusion</u>	20
<u>Bibliographie</u>	

INTRODUCTION

Cette étude fait partie de la première opération dite, "Mare d'Oursi", de l'action concertée LAT/O3, conclue entre la DGRST et le laboratoire de Pédologie expérimentale de l'ORSTOM en Côte-d'Ivoire. Avec la seconde opération au Niger, elle a pour but d'étudier le ruissellement, l'infiltration et l'érosion en zones sahéliennes et subdésertiques, en conditions expérimentales, au moyen de pluies artificielles.

La méthodologie, l'appareillage, la conduite des irrigations, ainsi que les mesures effectuées à la surface du sol ont été décrits par Collinet, (COLLINET et al 1979, 1980). Il est ici question des données hydropédologiques internes du sol, recueillies parallèlement, à partir des relevés de profils hydriques avant et après chaque séquence pluvieuse. Elles sont analysées sommairement dans ce rapport, afin de faciliter le rapprochement et l'interprétation conjointe avec les résultats d'hydropédologie de surface.

I. Cadre expérimental

11. Le milieu naturel

111. Géomorphologie

Les sites d'études ont été choisis de manière à constituer une géo-toposéquence typique du bassin versant de la Mare d'Oursi. De l'amont vers l'aval on distingue :

- le site A, constitué par un ensablement éolien surmontant, en piémont les colluvions glabrotiques de la colline de Kolel, ensablement qui en profondeur s'enrichit progressivement en argile,
- le site B, un glacis d'argile sablo-limoneuse légèrement empier-ré en surface,
- le site C, un pédiment à texture grossière et hétérogène, sablo-limono-argileuse en surface et argilo-sableuse en profondeur.

Le site D, bas-fond hydromorphe d'argile verticale, retenu lors de la mission de reconnaissance, (COLLINET et al 1977), n'a pas été étudié, faute de temps.

112. Pédologie

La séquence pédologique a été décrite par Leprun (LEPRUN 1977 a et b), qui distingue :

- des sols ferrallitiques ferrugineux tropicaux peu lessivés, à drainage interne limité en profondeur, pour le site A,
- des sols bruns sub-arides verticaux pour le site B,
- et des sols ferrallitiques, ferrugineux tropicaux lessivés, (ou appauvris), à taches, concrétions et horizon éluvial bien développé pour le site C.

Au tableau 1 sont consignées les caractéristiques physiques principales de ces différents types de sol. Les figures 1 et 2 permettent de comparer leurs profils de densité et leurs réservoirs pour l'eau utile à la plante.

Tableau 1 Caractéristiques texturales et hydro-pédologiques des sites A, B et C

Site	Horizon cm	A %	L %	S %	MO %	D g/cm ³	P %	pF2,5 %	pF3,0 %	pF4,2 %	Pe mm/h	Is
A	0 - 5	3,5	3,1	93,4	0,4	1,48		2,9	2,0	1,7	2,3	
	5 - 20	6,5	3,3	89,9	0,3	1,48	32,9	3,6	2,8	2,0	3,2	0,3
	20 - 60	13,7	2,1	85,3	0,3	1,49	32,7	5,5	4,2	3,2	10,9	-
	60 - 87	12,1	3,6	84,9		1,49	35,5	5,9	4,6	3,3	2,8	0,5
	87 - 103	13,9	3,4	83,0		1,51	34,0	7,6	5,9	3,9	2,2	
	103 - 150	17,4	5,6	72,7		1,51	32,0	9,6	6,8	4,4	1,3	
B	0 - 22	33,5	15,7	44,6	0,7	1,57	19,7	18,6	14,6	10,6	1,5	
	22 - 53	32,0	17,3	45,8	0,5	1,65	19,4	19,3	14,9	10,6	1,8	
	53 - 75	31,6	16,2	45,7		1,63	22,6	20,7	15,5	11,1	0,6	5,4
	75 - 127	27,9	14,6	51,7		1,70	19,2	21,6	15,5	10,6	0,5	-
	127 - 190	6,4	16,3	76,8		1,79		9,4	6,9	3,8	0,7	5,6
C	0 - 14	9,2	8,0	79,6	0,4	1,54	24,5	7,2	5,0	2,7	0,4	1,9
	14 - 32	15,7	3,5	80,5		1,54	32,3	9,2	6,7	4,5	0,1	
	32 - 55	34,6	7,7	52,1		1,69		16,7	14,2	10,2	1,2	3,0

A = taux d'argile
 L = taux de limon
 S = taux de sable
 MO = taux de matière organique
 D = densité apparente sèche
 P = porosité

pF2,5 = humidité à pF 2,5
 pF3,0 = humidité à pF 3,0
 pF4,2 = humidité à pF 4,2
 Pe = perméabilité
 Is = indice d'instabilité structurale

113. Végétation

La végétation est pour l'ensemble une steppe arbustive dégradée, où dominent, les graminées en strate herbacée et les épineux du genre *Acacia* en strate ligneuse.

Au début de la saison sèche, au moment des manipulations, la couverture végétale est constituée de plages de sol couvert d'un tapis de litière hérissé de pailles encore dressées, séparées par le sol nu plus ou moins encroûté en surface.

12. Le dispositif expérimental

Il est constitué dans chaque site par quatre couples de parcelles rectangulaires de 5 m x 10 m, correspondant chacun à une intensité pluviométrique déterminée : couple T, intensité 30 mm/h, couple S intensité 60 mm/h, couple Q, intensité 90 mm/h et couple C, intensité 120 mm/h.

Les couples sont constitués par une parcelle laissée à l'état naturel, (parcelle 1) et une parcelle labourée sur 10 cm suivant les normes du traitement de Wischmeier, (parcelle 2).

Les facteurs pris en compte sont :

- au niveau de la pluie :
la hauteur des averses qui totalisent la moyenne pluviométrique annuelle,
- l'intensité déjà détaillée,
et la durée des averses qui dépasse la période d'installation du régime permanent,
- au niveau de la nature du substrat pédologique ; les textures sableuses, argile sablo-limoneuse, et sablo-limono-argileuse,
- au niveau de la porosité de la surface du sol et des couches sous-jacentes ; la porosité naturelle, (parcelle 1) et la porosité améliorée par le pseudo-labour du traitement de Wischmeier, (parcelle 2).

Sont véritablement combinés par la méthode des couples, les facteurs, intensité, texture et porosité. Il n'y a pas de répétition.

13. Méthodes utilisées pour la mesure des flux hydriques dans le sol.

La détermination de la lame d'eau infiltrée est basée sur le relevé des profils hydriques juste avant et 30 minutes après la séquence pluvieuse. La méthode de neutronique a été totalement utilisée pour la mesure de l'humidité du sol. L'appareil utilisé, l'humidimètre Solo du CEA avait été étalonné auparavant dans les parcelles agronomiques contigues aux sites d'étude. Les mesures d'humidité par gravimétrie, effectuées durant l'expérimentation ont servi à réétalonner l'appareil dans la couche superficielle de sol, (0 - 15 cm), en raison de l'impossibilité d'utiliser un réflecteur neutronique pour les tubes de mesures. Les courbes d'étalonnages obtenues sont reportées individuellement aux figures 3,4 et 5 et comparées à la figure 6. Très proches l'une de l'autre, un étalonnage unique aurait pu être utilisé pratiquement sans erreur. Les tubes de mesure en PVC de 50 mm de diamètre ont été implantés une première fois en 1978. Détériorés en 1979, ils ont été remplacés peu avant le début des manipulations. L'opération s'est faite en l'absence du responsable de cette partie du programme. Il en est résulté des imperfections dans l'installation des tubages qui obligent à examiner l'environnement initial de ceux-ci et les conséquences qui en découlent pour l'interprétation des résultats.

II. Résultats et interprétation

21. Les profils hydriques initiaux

Lorsque des tubes de mesures neutroniques sont installés dans un même site, à proximité l'un de l'autre, si le milieu est homogène et la mise en place réussie, les profils hydriques initiaux ne sont pas modifiés. L'ensemble apparaît homogène présentant des fluctuations en rapport avec l'organisation texturale et structurale du profil pédologique. Les écarts entre tubes sont généralement faibles. Réciproquement il est possible à travers le profil hydrique, d'apprécier l'implantation du tubage. Telle est la motivation de l'examen des profils hydriques initiaux représentés aux figures 7, 8 et 9.

Pour l'ensemble des profils du site A (fig. 7), les écarts sont relativement faibles particulièrement en surface en raison du dessèchement intense en saison sèche et de la mobilité de l'eau dans le sable presque pur. L'augmentation progressive de leurs amplitudes, enregistrée en profondeur, correspond à l'enrichissement de la texture en argile qui retarde l'établissement des équilibres hydriques en ralentissant les échanges. La régularité et le bon appariement des profils voisins, (les profils du couple Q exceptés), laissent préjuger une implantation relativement bonne des tubes de mesures neutroniques.

Dans les sites B et C (figures 8 et 9), au contraire, les écarts entre tubes même voisins sont élevés et irréguliers. Malgré l'hétérogénéité hydrique déjà constatée en de tels milieux, (SICOT 1978) et l'irrigation pratiquée lors du forage de l'emplacement des tubes, on est incité à supposer que les difficultés rencontrées à l'installation de ces tubes, n'ont pas été bien maîtrisées, que le contact est imparfait entre leurs parois et l'environnement. La situation s'est sans doute améliorée avec le temps et les arrosages successifs, mais cette hétérogénéité provoquée des conditions expérimentales, jointe à l'hétérogénéité naturelle sont en grande partie responsables de certains biais qui seront relevés ultérieurement dans les résultats et obligent à nuancer les conclusions de leur interprétation.

Tableau 2 Bilan de l'infiltration dans les différentes parcelles (en mm)

Pluies		1	2	3 - 4	5	6	7	8	9	10	11-12
S I T E A	AT1	44,2	72,1	110,2	133,2	-	-	-	149,2		
	AT2	49,2	67,3	92,8	103,8				114,2		
	AS1	43,0	75,7	136,0	-	190,7	241,9	-	262,5		327,0
	AS2	34	66,7	84,7		113,2	123,6		142,6		168,9
	AQ1	20,9	30,7	61,7	-	94,6	-	120,8	149,8		
	AQ2	34,5	51,8	66,7	-	82,6	-	93,8	98,5		
	AC1	54,7	64,8	86,4	-	142,2	-	170,9	174,0		
	AC2	36,5	38,2	53,4	-	66,9	-	75,2	80,6		
S I T E B	BT1	18,3	23,3	32,1/39,1	-	-	45,4	-			
	BT2	19,0	36,6	39,1/45,9	-	-	62,1	-			
	BS1	19,0	23,1	29,0	-	38,6	43,2	-	52,4		70,0
	BS2	27,6	29,3	37,0	-	43,0	48,9	-	54,2	-	72,4
	BQ1										
	BQ2	8,1	15,3	23,6	-	29,1	35,8	-			
	BC1	9,3	14,5	-	-	29,3	37,1		37,9		
	BC2	7,4	19,8	-	-	25,7					
S I T E C	CT1	19,3			40,7	-	50,0	57,1			
	CT2	16,0			20,0	-	25,6	27,1			
	CS1	9,4	12,9	-	20,5	-	25,7	-	-	33,6	
	CS2	16,0	19,0	-	27,5	-	30,8	-	-	44,2	
	CC1	10,6	15,8	-	22,4	-	30,4	-	-	35,6	
	CC2	18,0	21,2	-	32,1	-	37,3	-	-	43,5	

Tableau 3 Comparaison des mesures hydrologiques de surface aux mesures neutroniques (valeurs en mm)

Fluies		1	2	3 - 4	5	6	7	8	9	10	11-12
AT	SFU	48,5	81,9	168,8	214,2	258,6	288	308,1	323,4		
	AT1	47,3	81,0	137,5	167,8	190,7	238,8	258,3	268,2		
		44,2	72,1	110,2	133,2	-	-	-	149,2		
	AT2	47,5	69,0	109,7							
		49,2	67,3	92,8	103,8				114,2		
AS	SFU	51,2	92,9	165,6	207,3	238,4	299,8	330,2	345,2	403,6	445
	AS1	47,3	81,0	137,5	169,8	190,7	238,8	258,3	268,2	310,7	337,2
		43,0	75,7	136,0	-	190,7	241,9		262,5		327,0
	AS2	42,8	63,1	92,9	110,2	120,3	142,1	151,1	155,3	179,2	194,4
		34,0	66,7	84,7	-	113,2	123,6	-	142,6	-	168,9
BS	SFU	57,3	88,2	143,7	175,7	200,7	230,4	255,3	276,4	326,1	335,8
	BS1	14,1	21,8	31,8	37,8	40,8	47,4	50,3	52,4	61,8	62,6
		19,0	23,1	29,0	-	38,6	43,2	-	52,4	-	()
	BS2	35,1	43,7	52,5	58,6	60,8	66,0	66,0	66,0	77,1	77,7
		27,6	29,3	37,0	-	43,0	48,9	-	54,2	-	72,4
CS	SFU	60,8	91,9	163,4	183,7	224,0	248,9	308,4	338,1	368,5	
	CS1	8,0	13,6	18,7	20,8	25,4	27,1	35,1	38,4	41,4	
		9,4	12,9	-	20,5	-	25,7	-	-	(33,6)	
	CS2	24,7	33,7	45,9	48,1	53,3	56,8	71,1	75,5	79,5	
		16,0	19,0	-	27,5	-	30,8	-	-	44,2	

SFU = pluie utile cumulée

22. L'infiltration

La disparité recherchée des propriétés physiques des sols, de la texture du matériau, en particulier, sont à l'origine des fluctuations observées dans la dynamique de l'eau dans le sol.

221. Description du phénomène

Dans le site A, (figures 10 à 17), l'infiltration est typique des milieux sableux non saturés et a été maintes fois décrites ; (FEODOROFF, MARCESSE, RODE, SICOT).

Le seul fait notable est la descente du front d'humectation au delà de 150 cm contrôlés, dès la septième pluie pour certains traitements.

Dans le site B, l'infiltration illustrée aux figures 18 à 25 revêt une importance moindre et des modalités moins classiques, à cause de l'imperméabilité du substrat et de l'encroûtement superficiel du sol : (20 % des pluies utiles d'irrigation). Il est pour l'essentiel, cantonnée dans les 30 - 45 premiers centimètres du profil sursaturé en surface. La méthode neutronique est impropre à l'enregistrement du fort gradient décroissant d'humidité s'étendant de la surface du sol au front d'humidité, (SICOT 1977).

Elle est par contre sensible aux fluctuations d'humidité, (supérieures à celles découlant des seules variations aléatoires du comptage neutronique), causées par les mouvements de l'eau des fissures englobées dans la sphère d'influence de l'humidimètre. Le profil hydrique est par suite fluctuant au delà de la zone fortement humectée, malgré le blocage relatif de l'infiltration. Le front d'humectation est une surface irrégulière instable, digitée en doigts de gant.

Dans le site C, de la figure 26 à la figure 31, l'infiltration apparaît médiocre en raison de l'imperméabilité et de la battance du matériau superficiel. Environ 20 % au maximum de l'eau des irrigations pénètre dans le profil selon les données hydrologiques disponibles. Mais dès que la couche battante sable-limoneuse est dépassée, l'eau s'infiltré à profondeur variable suivant l'hétérogénéité texturale et porale environnante. Elle atteint par endroit la roche-mère.

A son contact, elle ruisselle sur la surface irrégulière ou s'accumule dans les excavations. L'existence d'écoulements hypodermiques en ce milieu a été démontrée par l'ouverture d'une fosse pédologique à plus de 10 mètres des parcelles irriguées. La longueur utile des tubes de mesure, qui dépasse à peine 60 cm dans les meilleurs cas, est insuffisante à cet égard et ne permet pas d'appréhender toute l'hétérogénéité hydrique du milieu et du processus d'infiltration. On peut s'en rendre compte en examinant la figure 32. Les courbes sont extraites de la chronique des profils hydriques autour d'un tube de mesure de la parcelle agronomique voisin, en 1978, sous conditions pluviométriques naturelles. Elles donnent une bonne idée de la complexité de la dynamique de l'eau dans ce milieu : humectation verticale du haut vers le bas en début d'hivernage, arrivée d'un important flux hydrique latéral d'écoulement hypodermique en profondeur et remontée capillaire, en pleine saison pluvieuse, dessèchement superficiel et ressuyage en profondeur à la fin de l'hivernage...

222. Analyse quantitative de l'infiltration

Il n'a pas été possible de suivre l'humectation du profil en cours d'irrigation. La formulation de la cinétique d'infiltration n'est pas explicitable à partir des chroniques de profils hydriques de ce fait. Cette opération se fera par ailleurs avec plus de précision, (en intégrant à l'échelle de la parcelle l'hétérogénéité hydrique ponctuelle), à partir des données d'hydrologie superficielle. Au niveau du profil hydrique, la lame d'eau infiltrée peut être estimée et l'incidence des facteurs pluviométriques et édaphique explicitée.

2221. Estimation de la lame d'eau infiltrée.

La lame d'eau infiltrée durant chaque séquence pluviométrique correspond à l'accroissement de la réserve du sol avant et après pluie. Les valeurs calculées sont rassemblées au tableau 2 et comparées aux mesures hydrologiques au tableau 3.

On enregistre parfois des accroissements de la réserve hydrique, bien après le relevé du profil hydrique 30 minutes après la pluie. Quelques exemples sont groupés au tableau ci-après.

Tableau 4 : Exemples d'évolutions anormales de la réserve hydrique du sol.

Traitement	AS2				BS2	
numéro d'ordre de la pluie	2è				1è	
temps de ressuyage	0h30'	12h30'	14h30'	20h30'	0h30'	20h30'
Réserve hydrique mesurée (mm)	111,0	122,3	98,8	103,8	90,7	93,2

Dans la majorité des cas, l'augmentation de la réserve est faible et imputable à l'erreur de comptage : 103,8/99,8 et 93,2/90,7. Dans le cas contraire où la réalité du phénomène est incontestable, l'explication est encore à l'état d'hypothèses : mauvaise implantation du tube et réorganisation du sol environnant, écoulement hydrique différé atteignant le tube de mesure situé en aval, modification de la densité apparente du substrat riche en argile smectique...

Ces accroissements d'eau intempestifs sont soit pris en compte et les valeurs sont soulignées, soit négligés et les valeurs sont mises entre parenthèses.

Par rapport aux mesures hydrologiques de surface on constate :

- un très bon accord pour les traitements ; AS1, AS2, BS1, (BS2)
- des différences acceptables pour CS1, AT2,
un complet désaccord pour CS2 et AT2.

Les valeurs trouvées ne sont donc pas identiques, mais les divergences sont acceptables dans l'ensemble. Il ne peut en être autrement.

En effet, à supposer que l'averse soit uniformément répartie sur la parcelle, sa redistribution dans le profil est hétérogène. Ne serait-ce-qu'aux emplacements des nombreuses flaques d'eau qui se forment avant le ruissellement et ne se vident que bien après le ressuyage du reste de la parcelle, l'infiltration est ponctuellement hétérogène. Cette hétérogénéité est intégrée par la mesure hydrologique qui quantifie le phénomène au niveau de la parcelle. Cette valeur mesurée en hydrologie est estimée dans la méthode neutronique, par la moyenne des mesures d'un échantillon représentatif de la parcelle.

La seule mesure au niveau du tube neutronique, même en l'absence de perturbations de l'environnement, ne suffit donc pas pour représenter valablement la parcelle. Il est donc normal qu'il y ait divergences entre les deux types de mesures, bien qu'elles soient du même ordre de grandeur.

223. Incidence des caractéristiques pluviométriques des averses.

Pour un site donné aux propriétés édaphiques bien définies, (conditions naturelles ou pseudo-labour), l'infiltration est fonction des variables pluviométriques, (intensité, durée...), enregistrées par le programme conjoint. Ces données dans leur ensemble, n'étant pas actuellement disponibles, l'analyse de l'incidence des caractéristiques pluviométriques sur l'infiltration ne peut être exhaustive. Par exemple, à la figure 37, sont mis en relation pour les traitements AS, les lames d'eau infiltrées mesurées dans le profil et l'intensité correspondante. Le graphique représentant le traitement de Wischemeier indique que la quantité d'eau infiltrée passe par un maximum pour une intensité voisine de 60 mm/h. Dans celui se rapportant aux conditions naturelles, l'infiltration mesurée pour l'intensité 120 mm/h est nettement plus élevée pour une courbe apparemment du même type. Si les quantités d'eau d'irrigation étaient connues, il aurait été possible de ramener la lame d'eau infiltrée à une même dose d'arrosage et trancher entre l'influence possible de la hauteur d'eau appliquée ou des caractéristiques édaphiques.

224. Incidence de l'état physique des couches superficielles du sol.

L'incidence de l'état physique et plus particulièrement, de la porosité des couches du sol influant sur l'infiltration, peut être appréhendée au niveau de chaque site.

Dans le site A, la quantité d'eau infiltrée et l'épaisseur de sol humectée sont systématiquement inférieures pour le traitement de Wischemeier. Dans ce milieu, l'ouverture artificielle de la porosité, déjà bien développée, apparaît non seulement inopportune, mais en plus néfaste à la circulation de l'eau dans le profil. Le pseudo-labour détruit en effet, la continuité des pores entre la couche supérieure de 10 cm de sol et celles sous-jacentes. Les films capillaires déjà rompus par la sécheresse sont dans ce cas, plus difficiles à rétablir. L'infiltration est par suite ralenti.

Dans le site B, la profondeur d'humectation est le même pour les deux traitements, mais l'infiltration est légèrement augmentée pour le pseudo-labour. L'augmentation se produit surtout pendant les premières pluies, (première et seconde). Ensuite, l'infiltration se poursuit pareillement dans les deux parcelles, à partir de ce décalage. Cela signifie que la porosité médiocre du glacié d'argile sablo-limoneux, peut être améliorée par des travaux de labour. L'élévation de la perméabilité qui en découle dépend de l'importance de ces travaux. Un labour de 10 cm est insuffisant pour dépasser le réseau des fissures et fentes de retrait et approfondir le réservoir édaphique. Mais rapidement colmatée par la dispersion des éléments fins et l'instabilité structurale, l'ouverture de la porosité est de courte durée.

Dans le site C, le pseudo-labour est soit sans influence notable sur la lame infiltrée, soit l'augmente légèrement comme en milieux d'argile sablo-limoneux. Cette indétermination de l'effet peut être due à l'hétérogénéité texturale et structurale du profil, au caractère fragmentaire des profils hydriques relevés, suite au dépassement de la longueur utile des tubes de mesure...

Il est à noter que la profondeur du pseudo-labour est du même ordre de grandeur que l'épaisseur de la couche imperméable dont la porosité est naturellement améliorée par les fissures et les nombreuses galeries creusées par la faune tellurique, les termites en particulier.

23. Le ressuyage.

231. Description du phénomène dans le site A.

Dans les conditions de l'expérience, le ressuyage résulte de l'effet conjugué de l'évaporation et du drainage. Les temps de ressuyage ménagés après les 9^e et 12^e pluies permettent d'analyser commodément le phénomène pour les traitements AS1 et AS2. L'examen des figures 33 à 36 où l'on peut suivre l'évolution du dessèchement incite à discriminer les couches superficielles des couches profondes du profil.

En début de ressuyage l'évaporation se produit en surface, cependant que le drainage se poursuit en profondeur. Entre les flux ascendant et descendant existe "un plan" de flux nul. Détecté par les mesures tensiométriques, il est à la base des calculs permettant de quantifier en les séparant, l'évaporation et le drainage, (SICOT 1979).

Cette phase se termine avec le départ de l'eau gravitaire. Le drainage est alors très lent et peut être négligé. Le profil ne se dessèche sensiblement que dans les couches superficielles sous l'action de l'évaporation qui va en diminuant. Si l'humectation est suffisante, comme pour le traitement AS1 aux figures 33 et 35, on constate que le profil hydrique, qui varie peu, reste au voisinage de la capacité au champ.

232. Quantification du phénomène dans le site A.

Sur le plan quantitatif, les figures 38 à 42 montrent que l'allure du ressuyage dans les différents milieux est de type exponentiel. L'équation générale :

$$y = ae^{-bt}$$

donne y , la réserve hydrique du sol à l'instant t , en fonction de la réserve initiale a et de la vitesse relative du dessèchement $- b dt = dy/y$.

Si le temps de ressuyage est suffisamment long, on met en évidence, (figures 38, 39 et 40) :

- une cinétique rapide correspondant au départ de l'eau de gravité et une cinétique lente se rapportant à l'eau moins mobile de la microporosité. Leurs équations sont données au tableau 5 pour les traitements AS1 et AS2.

233. Incidence des facteurs pluviométriques et édaphiques sur le ressuyage dans le site A.

Les caractéristiques de l'averse influent au niveau de la lame d'eau infiltrée qui contribue à la constitution de la réserve hydrique du sol au commencement du ressuyage. L'état physique du sol, des couches superficielles plus précisément, intervient à la fois sur la réserve hydrique initiale en modifiant l'infiltration, fait déjà signalé, et sur la vitesse de dessèchement, ce que nous allons démontrer :

D'après

$$y = ae^{-bt}$$

$$\text{Log } y = \text{Log } a - bt$$

$$dy/y = -b dt$$

$$dy = -by dt = -abe^{-bt} dt$$

Pour deux parcelles P_1 et P_2 se ressuyant respectivement suivant :

$$y_1 = a_1 b_1 e^{-b_1 t} \quad \text{et} \quad y_2 = a_2 b_2 e^{-b_2 t}$$

on a

$$dy_1/dy_2 = \frac{a_1 b_1}{a_2 b_2} e^{-(b_1 - b_2) t}$$

soit à un instant t donné,

$$dy_1/dy_2 = \frac{a_1 b_1}{a_2 b_2} e^{-(b_1 - b_2) t}$$

Tableau. 5

FORMULATION DE LA CINETIQUE DU RESSUYAGE DANS QUELQUES PARCELLES

Parcelle	Cinetique	9 ^e ou 10 ^e pluie	12 ^e pluie
A S 1	Rapide		$y = 208,6e^{-0,01t}$
	Lente		$y = 141,6e^{-1,31 \cdot 10^{-4}t}$
	Moyenne	$y = 232,8e^{-0,01t}$	$y = 161,47e^{-1,82 \cdot 10^{-4}t}$
A S 2	Rapide		$y = 158,9e^{-1,96 \cdot 10^{-3}t}$
	Lente		$y = 132,5e^{-1,67 \cdot 10^{-3}t}$
	Moyenne	$y = 153,1e^{-2,7 \cdot 10^{-3}t}$	$y = 137,0e^{-1,80 \cdot 10^{-4}t}$
B T 1	Moyenne	$y = 142,8e^{-2,4 \cdot 10^{-4}t}$	
B T 2	Moyenne	$y = 111,7e^{-2,7 \cdot 10^{-4}t}$	
C S 1	Moyenne	$y = 40,4e^{-1,43 \cdot 10^{-4}t}$	
C S 2	Moyenne	$y = 55,9e^{-9,47 \cdot 10^{-4}t}$	

équation qui permet de comparer les cinétiques de ressuyage des deux parcelles. Au tableau 6 on constate que le ressuyage est plus rapide en conditions naturelles qu'en milieu labouré. Les pertes d'eau relatives se produisent surtout pendant la cinétique rapide, ce qui renforce l'hypothèse d'une meilleure continuité des pores pouvant faciliter à la fois le drainage et l'évaporation.

L'évaporation doit cependant contribuer pour une large part à ces pertes, car, on le verra ci-après, dans le site B, milieu pratiquement non drainant, où la cinétique rapide de ressuyage est peu perceptible et la zone d'humectation bien contrôlée, les pertes par rapport au traitement de Wischmeier sont proportionnellement, toujours aussi élevées, (cf. tableau 6).

234. Le ressuyage dans les autres sites.

Dans le site B, le ressuyage se déroule sur des épaisseurs de sol de l'ordre de 30 à 45 cm. La figure 39 et les calculs indiquent que le phénomène est plus lent qu'en milieu sableux.

Le drainage est rapidement bloqué. Comme en outre, le bilan hydrique est établi au de là de la zone humectée, on n'enregistre que l'évaporation, d'où la quasi inexistante d'une cinétique de ressuyage rapide dans les graphiques de la figure 41.

Le ressuyage reste toujours plus lent après labour et les pertes relatives toujours plus élevées en début de ressuyage, (tableau 6).

Dans le site C, le ressuyage est aussi complet que dans le site A, comprenant, outre l'évaporation, le drainage vertical et latéral. L'exemple des traitements CS, illustrés à la figure 41 montre que contrairement aux cas précédents, le ressuyage est augmenté par l'ouverture de la porosité. On ne peut cependant conclure ni à la généralité de ce fait, étant donné l'hétérogénéité du milieu et la complexité de l'infiltration, ni même à sa réalité, puisque toute la zone humectée n'est pas contrôlée. On ne peut que noter que le pseudo-labour facilite le contact entre la surface et les couches poreuses du profil en profondeur. Si la porosité ainsi ouverte n'est pas rapidement colmatée, l'évaporation comme l'infiltration peut être augmentée.

Tableau 6 Modifications apportées au ressuyage par le traitement de Wischemeier

Traitements	Cinétique	Rapport des vitesses de ressuyage	
		9è ou 10è pluie	11è pluie
<u>AS1</u>	moyenne	5,6	1,2
<u>AS2</u>	rapide		6,7
	lente		0,1
<u>BT1</u> <u>BT2</u>	moyenne	1,8	
	début	4,1	
	fin	0,9	
<u>CS1</u> <u>CS2</u>	moyenne	1,2	

III. Discussion

La plupart des résultats ont été explicités. Les faits dans l'ensemble sont suffisamment saillants pour être interprétés exhaustivement, lorsque toutes les données seront rassemblées. Ce paragraphe a surtout pour but de rappeler que dans certains cas, les conclusions devront être nuancées, étant donné les conditions expérimentales. Les imperfections du dispositif de mesure ont déjà été signalées comme source d'indétermination. L'imprécision de l'humidimètre et son faible pouvoir séparateur pour la mesure de l'humidité dans les couches superficielles du sol en constituent une autre. Mais la principale et peut être la plus incertaine est l'hétérogénéité du milieu qui se manifeste dans tous les domaines. Le traitement qualifié, de "conditions naturelles" peut être pris comme exemple de facteur complexe et mal contrôlé à cause de l'hétérogénéité du milieu. D'une parcelle à l'autre sont combinées au hasard les hétérogénéités liées aux différentes caractéristiques du sol : hétérogénéité texturale et structurale, hétérogénéité du microrelief, hétérogénéité de la surface du sol plus ou moins encroûtée, hétérogénéité de la couverture végétale.

L'effet relatif du traitement de Wischmeier peut alors être masqué par l'hétérogénéité des caractéristiques hydrodynamiques de la placette de mesure. Considérons la figure 37, par exemple. Il semble probable, étant donné l'évolution de la lame d'eau infiltrée pour le traitement de Wischmeier, que l'infiltration anormalement élevée enregistrée en conditions naturelles pour l'intensité 120 mm/h, résulte en grande partie de l'hétérogénéité du substrat. Il aurait fallu pour s'en assurer disposer de répétitions. Cela n'a pas été possible faute de temps.

Un des principaux facteurs influant favorablement sur l'infiltration n'a pratiquement pas été étudié. Il s'agit de la végétation. Outre le fait qu'elle vide le réservoir hydrique du sol pour le rendre disponible à l'infiltration, en interceptant les gouttes de pluie, elle en diminue l'énergie cinétique retardant ainsi la formation d'une pellicule de battance, frein à l'infiltration.

Les observations antérieures aux manipulations ont montré que le ruissellement maximal sur sol nu, diminue, (l'infiltrabilité augmente), avec l'installation et le développement de la végétation. Il passe par un minimum au moment où la biomasse maximale est atteinte et augmente à nouveau avec la dégradation de la couverture végétale.

A l'époque de l'intervention, sur le sol, dénudé et encroûté, le ruissellement approchait les valeurs maximales. Il aurait fallu répéter l'expérimentation pendant le cycle végétatif saisonnier pour appréhender véritablement l'effet de la végétation.

Un autre point important doit être noté, le problème d'échelle de mesure posé par le rapprochement des deux méthodes. Les mesures neutroniques par leur cohérence permettent d'appréhender les processus des phénomènes hydrologiques et microclimatiques ponctuelles. La généralisation des résultats soulève déjà des difficultés à l'échelle de la parcelle.

Il est à déplorer, pour terminer, que le suivi de l'infiltration pendant l'irrigation ait été incompatible avec le déroulement de celle-ci. Les caractéristiques hydropédologiques mesurées en surface, leurs évolutions, dérivent dans une large mesure de l'état de la réserve hydrique du sol et plus précisément de la fraction de la capacité de rétention inutilisée avant et au cours de l'averse et des propriétés hydrodynamiques du profil qui découlent. C'est tout le mécanisme explicatif et la dynamique prévisionnelle de l'infiltration qui ne peuvent être analysés. La recherche des relations liant cette fraction vide du réservoir hydrique du sol aux mesures hydropédologiques, pourra être tentée lorsque toutes les données seront réunies. Définir, pour ce faire, un réservoir hydrique évoluant dynamiquement avec l'infiltration posera quelques difficultés.

Conclusion

- L'analyse de la dynamique de la lame infiltrée en conditions expérimentales, sous pluies artificielles a permis :
- de décrire le processus de l'infiltration et ses modalités en trois milieux représentatifs du bassin versant de la Mare d'Oursi,
 - de mettre en évidence l'incidence des caractéristiques pluviométriques et de la porosité des couches superficielles et sous-jacentes du sol sur le phénomène,
 - d'explicitier (par la formulation de sa cinétique), le processus du ressuyage et les modifications introduites par les facteurs précités,
 - et de soulever le problème de l'intégration des mesures neutroniques à des niveaux plus élevés de l'échelle spatiale.

L'incidence de l'ouverture de la porosité texturale et structurale dans les différents sols doit retenir l'attention en raison des conséquences sur le plan agronomique. On y trouve la justification des pratiques culturales locales et la possibilité de prévoir l'effet des travaux de labour en différents milieux, ainsi que sa persistance. Le problème de la régénération des zones dégradées peut déjà être discuté sur des bases théoriques.

Références bibliographiques.

- Collinet J., Asseline J. - 1977 - Compte rendu de mission préliminaire pour un projet de mise en oeuvre du simulateur de pluies. DGRST-ORSTOM, rapport multigr. 17 p.
- Collinet J., Asseline J. - 1979 - Compte rendu de deux missions de reconnaissance préliminaire effectuées en Haute-Volta et au Niger. Programmes de mise en oeuvre de différentes techniques de simulations de pluies en Haute-Volta et au Niger. DGRST-ORSTOM, 28 p., 8 fig., 3 tabl., 6 photos, bibliogr.
- Collinet J., Valentin C., Asseline J., Chevallier P., SICOT M., - 1980 - Rapport de terrain sur la première opération, "Mare d'Oursi". Etude LAT/O3 : Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et subdésertiques ORSTOM, rapport multigr., 14 p.
- Feodoroff A. - 1962 - Ressuyage du sol et capacité de rétention pour l'eau. Ann. Agron. 1962, 13, (6), 523-547.
- Feodoroff A. - 1965 - Etude expérimentale de l'infiltration de l'eau non saturante. Thèse Ing. Doct. Univ. Paris, 90 p.
- Leprun J.C. - 1977 - Rapport de mission pédologique. A.C.C. Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan, (Haute-Volta). Mars 1977, 19 p., 1 carte.
- Leprun J.C. - 1977 - Esquisse pédologique à 1/5000ème des alentours de la Mare d'Oursi avec notice et analyse des sols. Rapport multigr., 53 p.

- Marcesse J. - 1967 - Détermination in situ de la capacité de rétention d'un sol au moyen de l'humidimètre à neutrons. Coll. A.I.E.A., radio-isotopes, Istanbul 1967.
- Sicot M., Zéganadin J.P., - 1977 - La rétention hydrique des sols du bassin versant de la Mare d'Oursi (Haute-Volta). I. Considérations sur la capacité au champ des sols sableux. ORSTOM rapport multigr., 24 p.
- Sicot M. - 1978 - Note technique. De la nécessité de compléter les mesures de teneur en eau des sols, par des mesures tensiométriques, pour l'établissement du bilan hydrique en milieu sahélien. ORSTOM rapport multigr., 11 p.
- Sicot M. - 1978 - Cycle de l'eau et bilan hydrique dans les écosystèmes du bassin versant de la Mare d'Oursi, (Haute-Volta). Analyse préliminaire des données recueillies en 1977 : critiques des principes de base du bilan hydrique en milieu sahélien. DGRST-ORSTOM, rapport multigr., 76 p. + annexes.

Fig. 1 PROFILS DE DENSITE APPARENTES DANS LES DIFFERENTS SITES

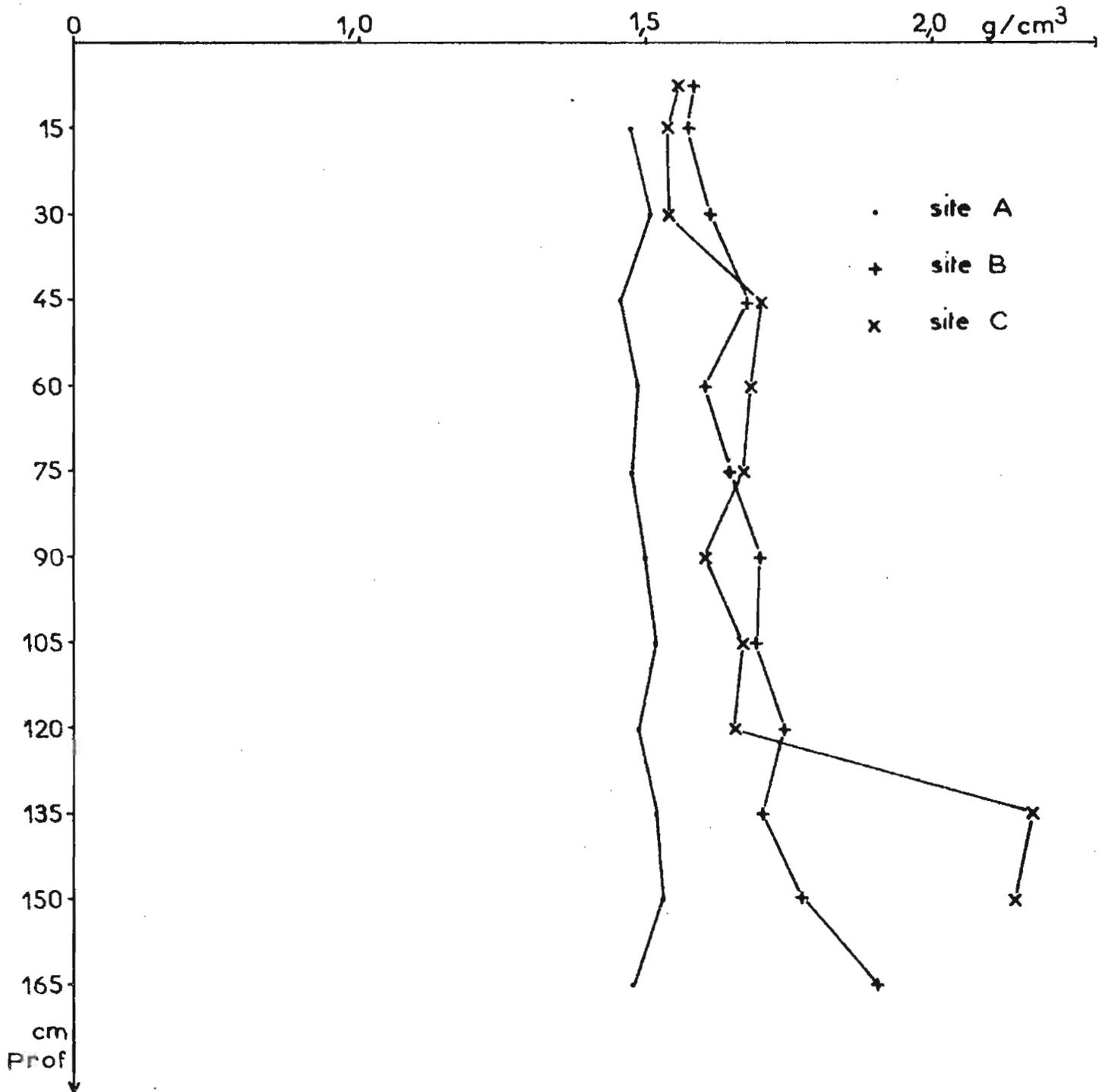


Fig. 2 PROFIL DE LA RESERVE HYDRIQUE UTILE DANS LES STATIONS A B et C

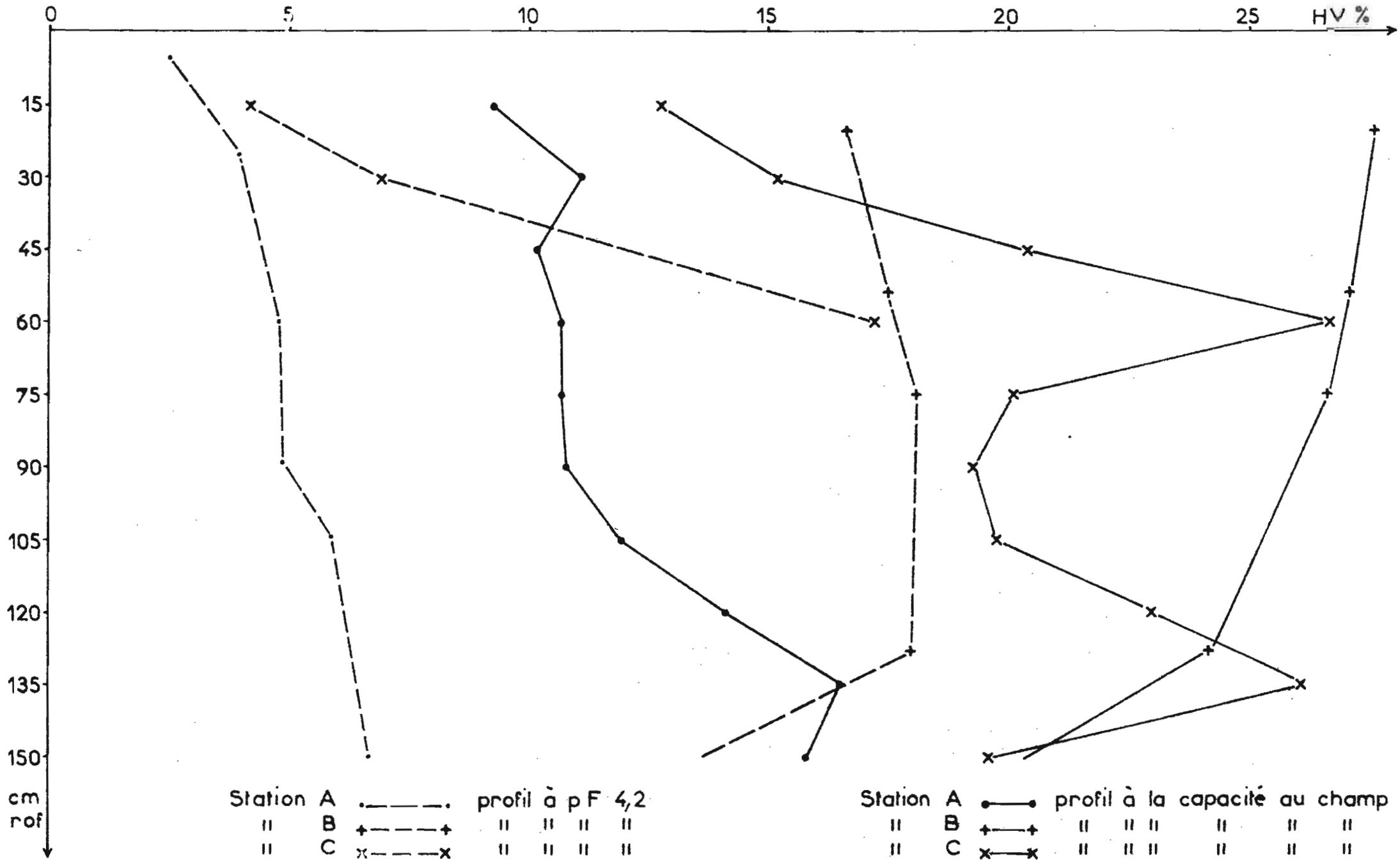


Fig. 3 ETALONNAGE DE LA SONDE SOLO 20
EN SURFACE DANS LA STATION A

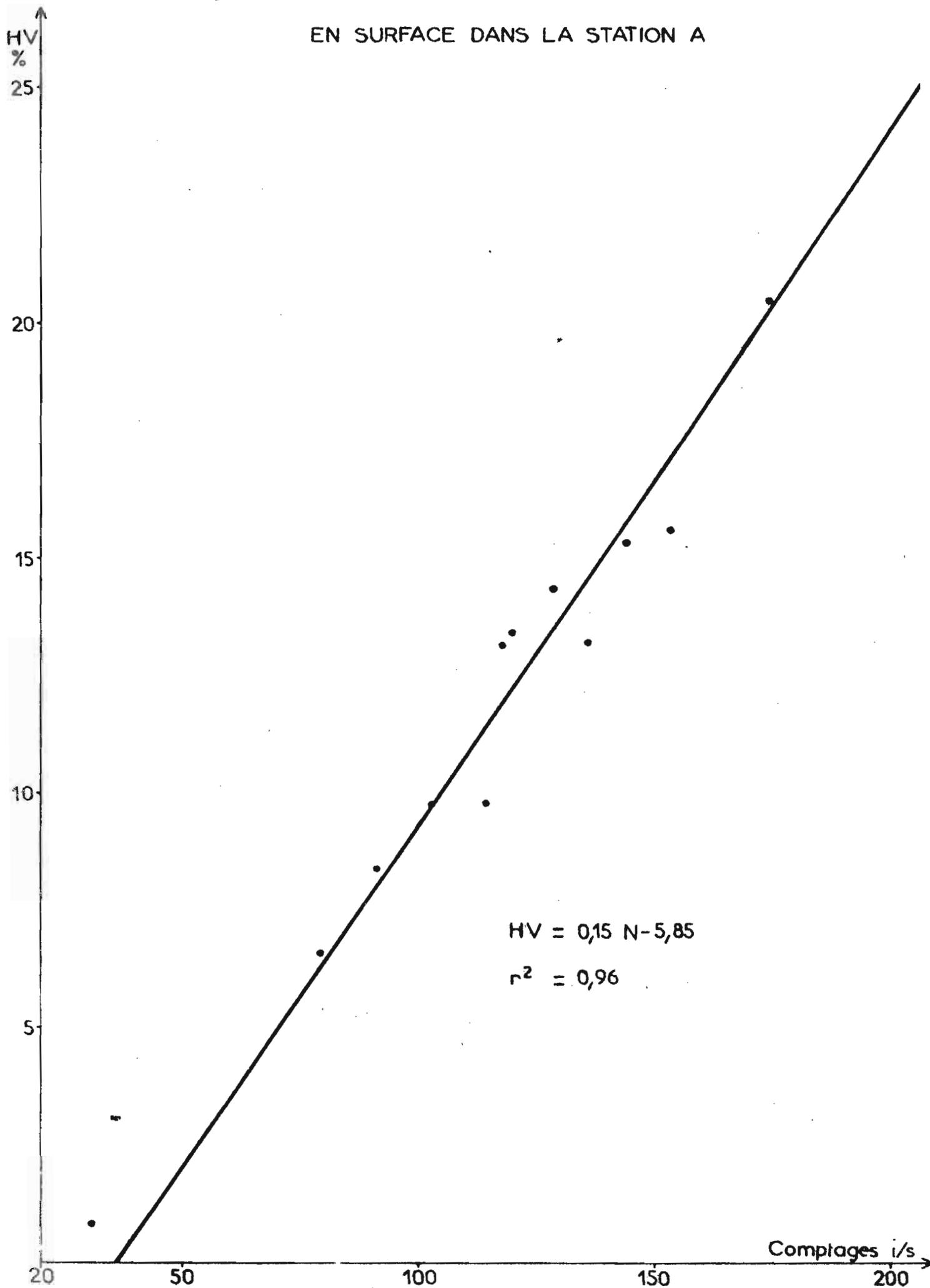


Fig. 4 ETALONNAGE DE LA SONDE SOLO 20

EN SURFACE DANS LA STATION B

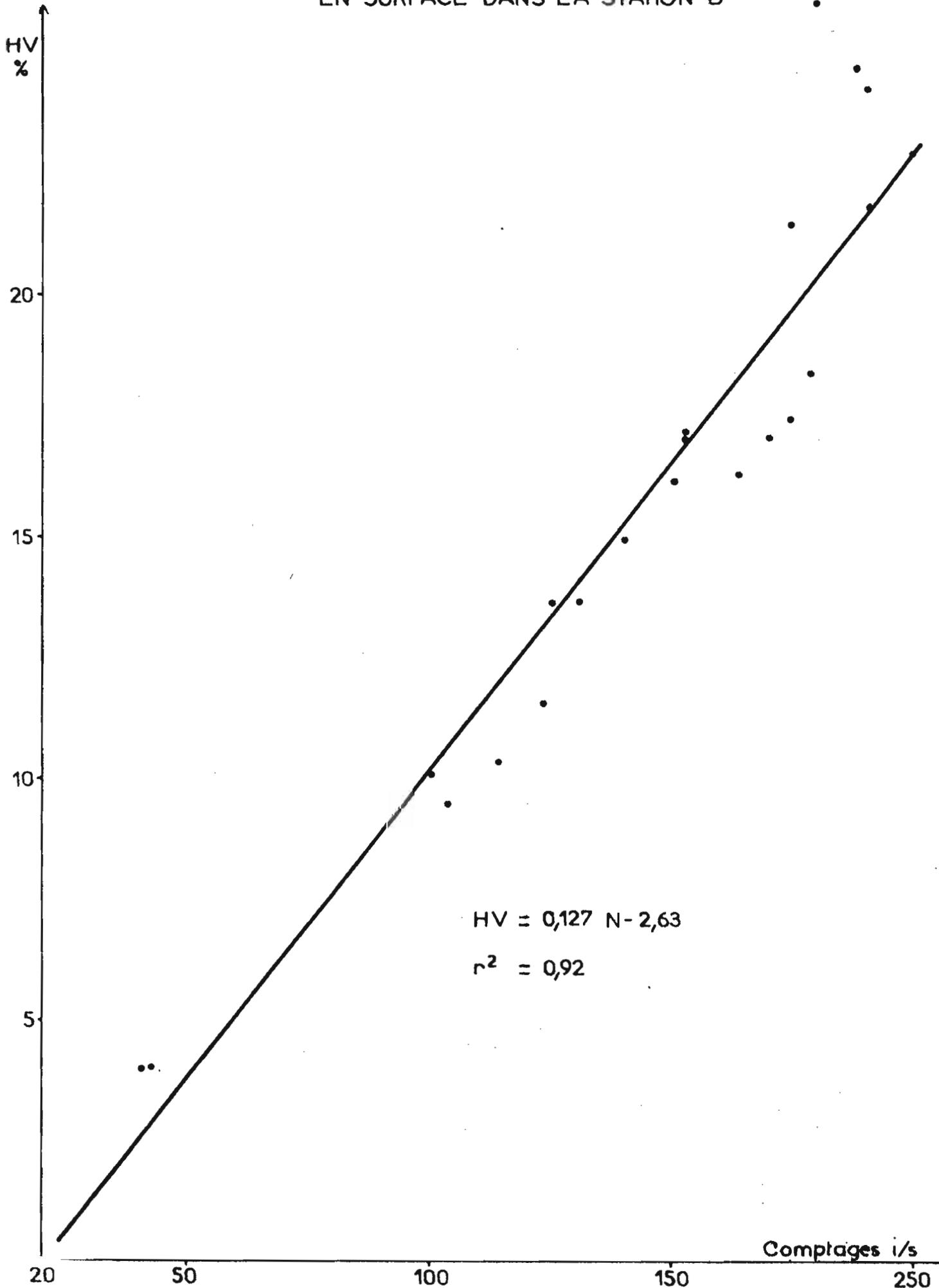


Fig. 5 ETALONNAGE DE LA SONDE SOLO 20
EN SURFACE DANS LA STATION C

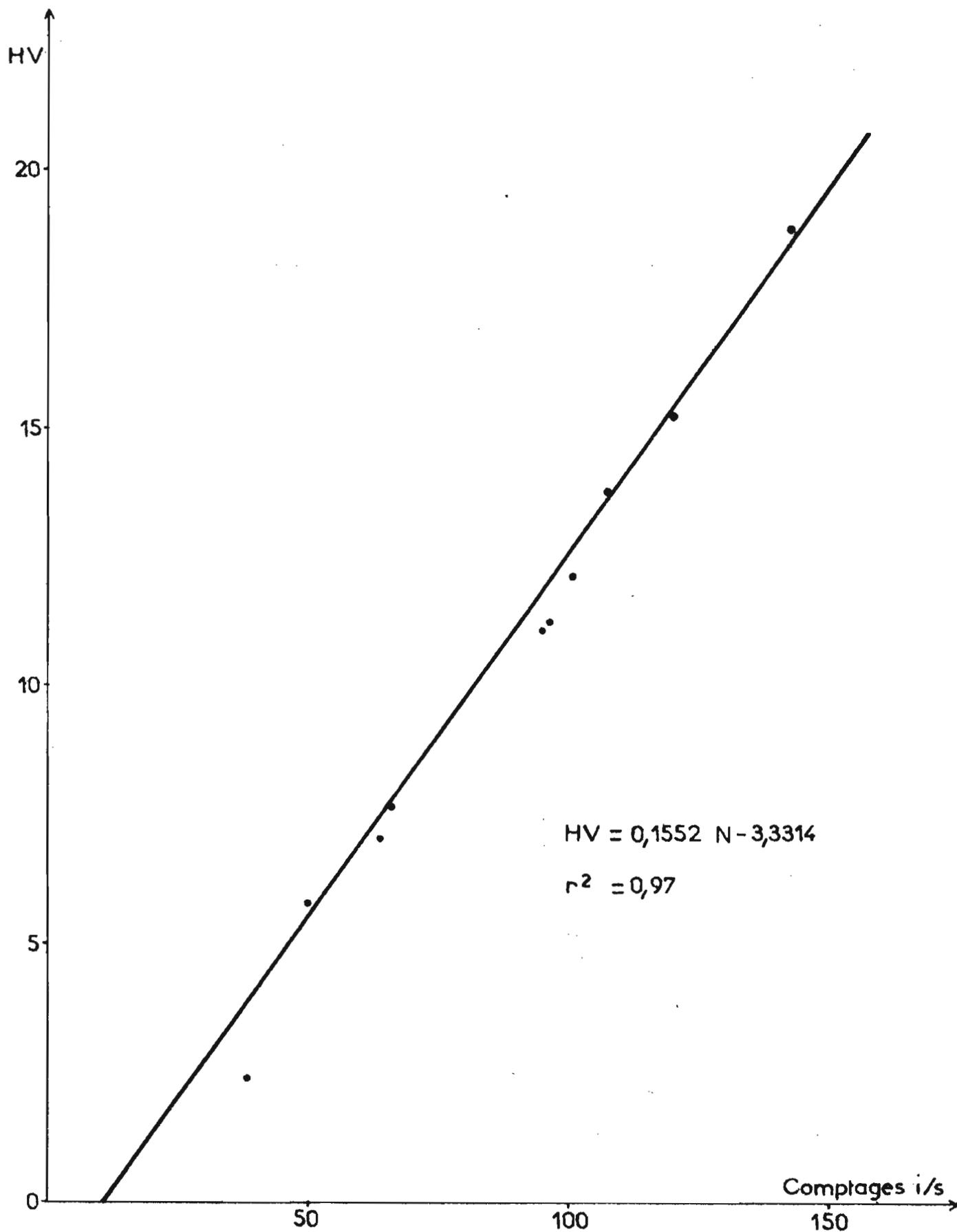


Fig. 6 COMPARAISON DES DROITES D'ETALONNAGE
EN SURFACE DE LA SONDE SOLO

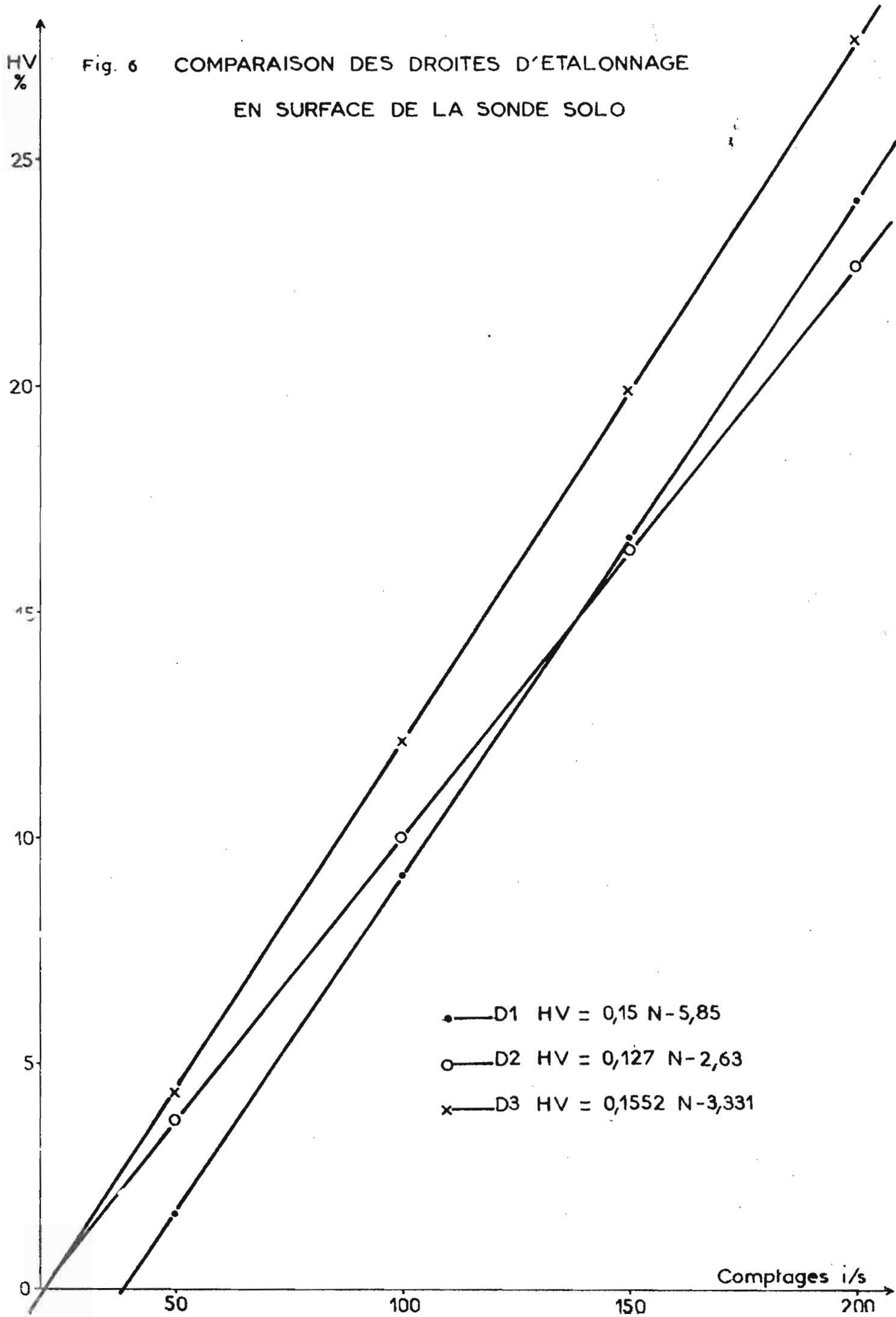


Fig. 8 PROFILS HYDRIQUES INITIAUX DES PARCELLES DU SITE B

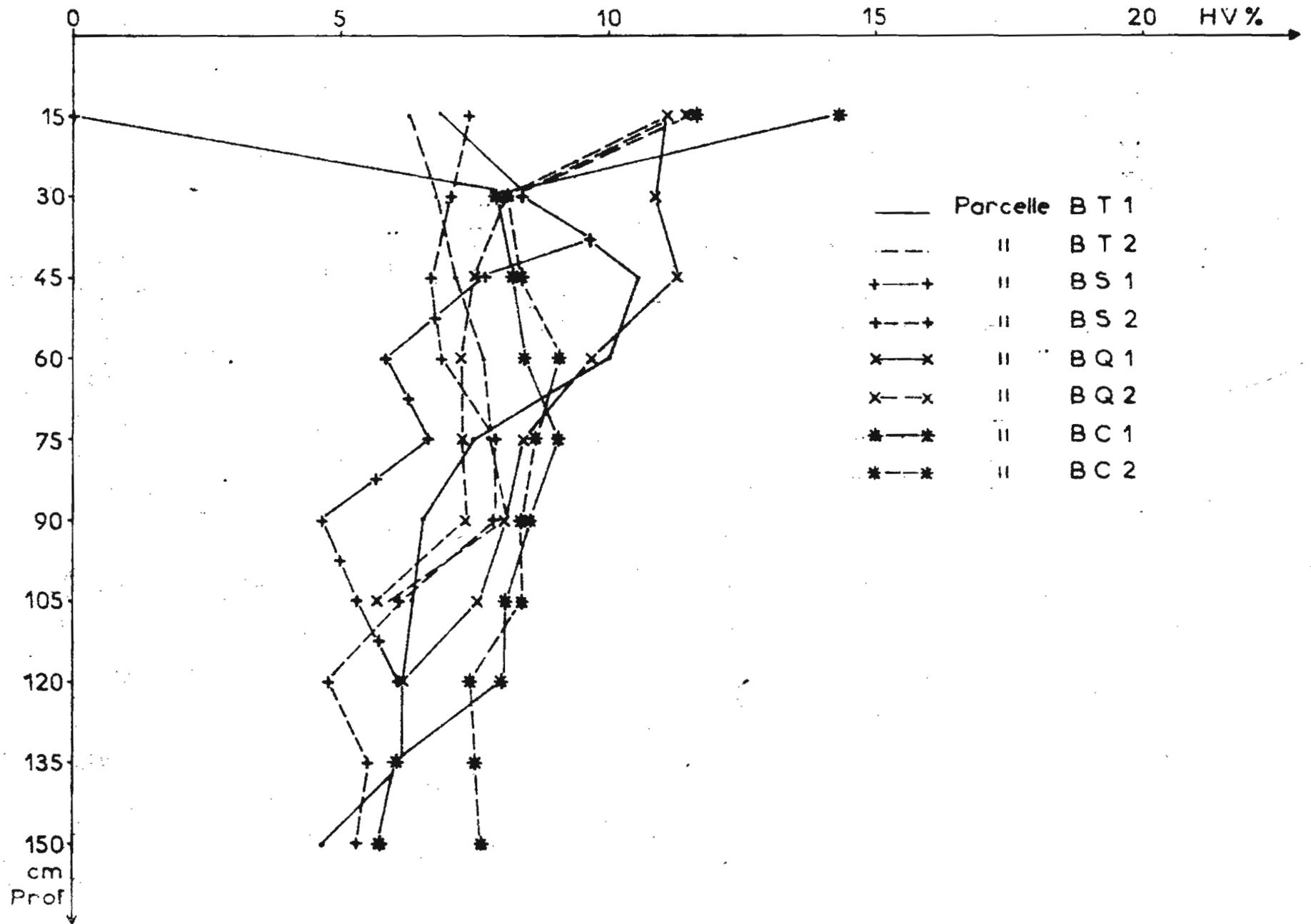


Fig. 9 PROFILS HYDRIQUES INITIAUX DES PARCELLES DU SITE C

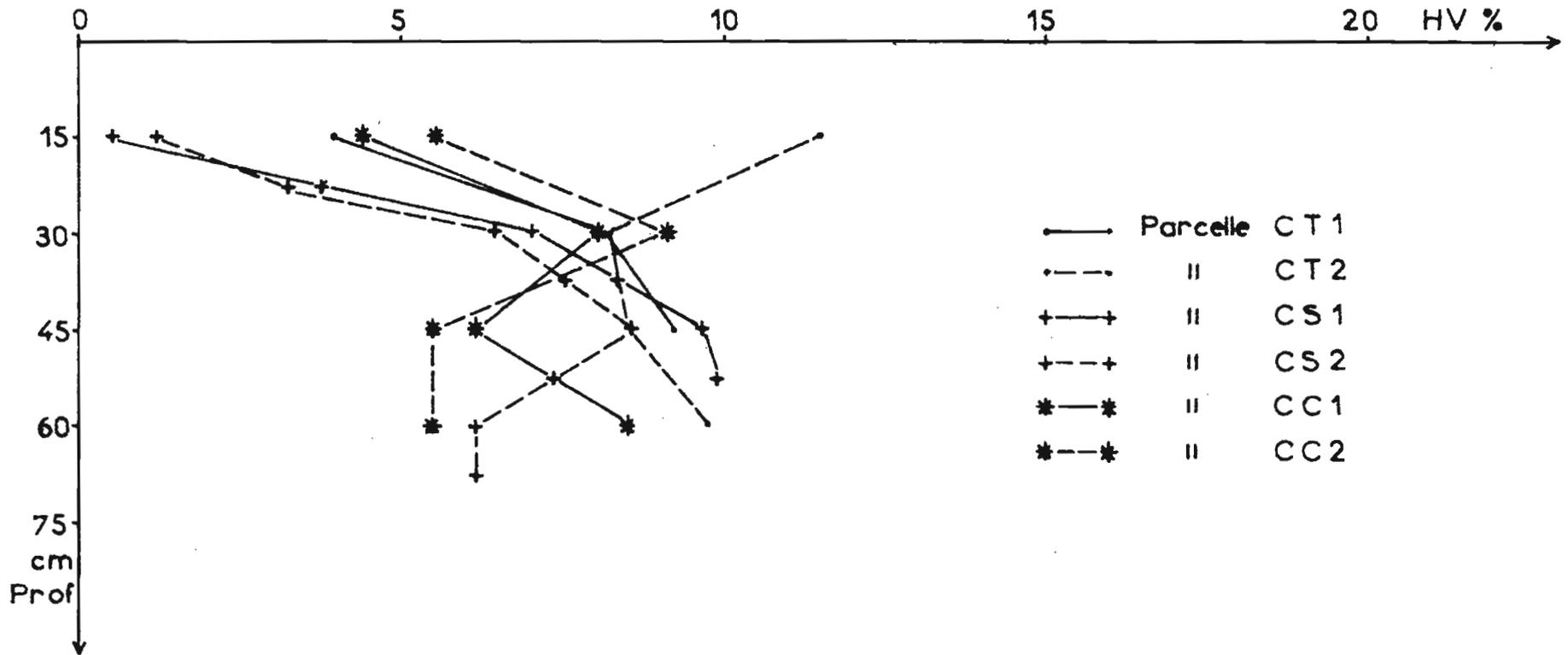


Fig. 10 TRAITEMENT A T 1 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES

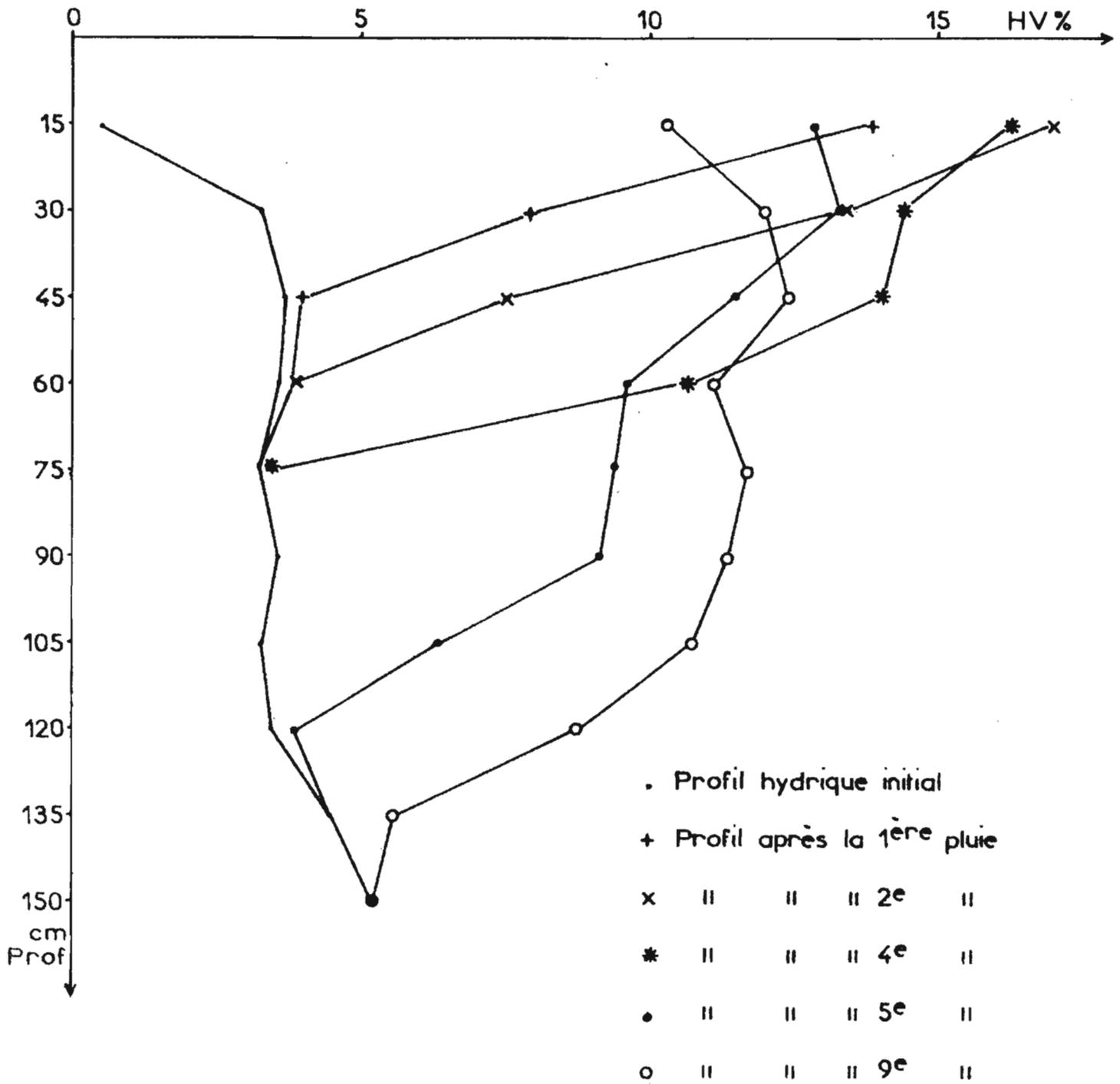


Fig. 11 TRAITEMENT A T 2 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES

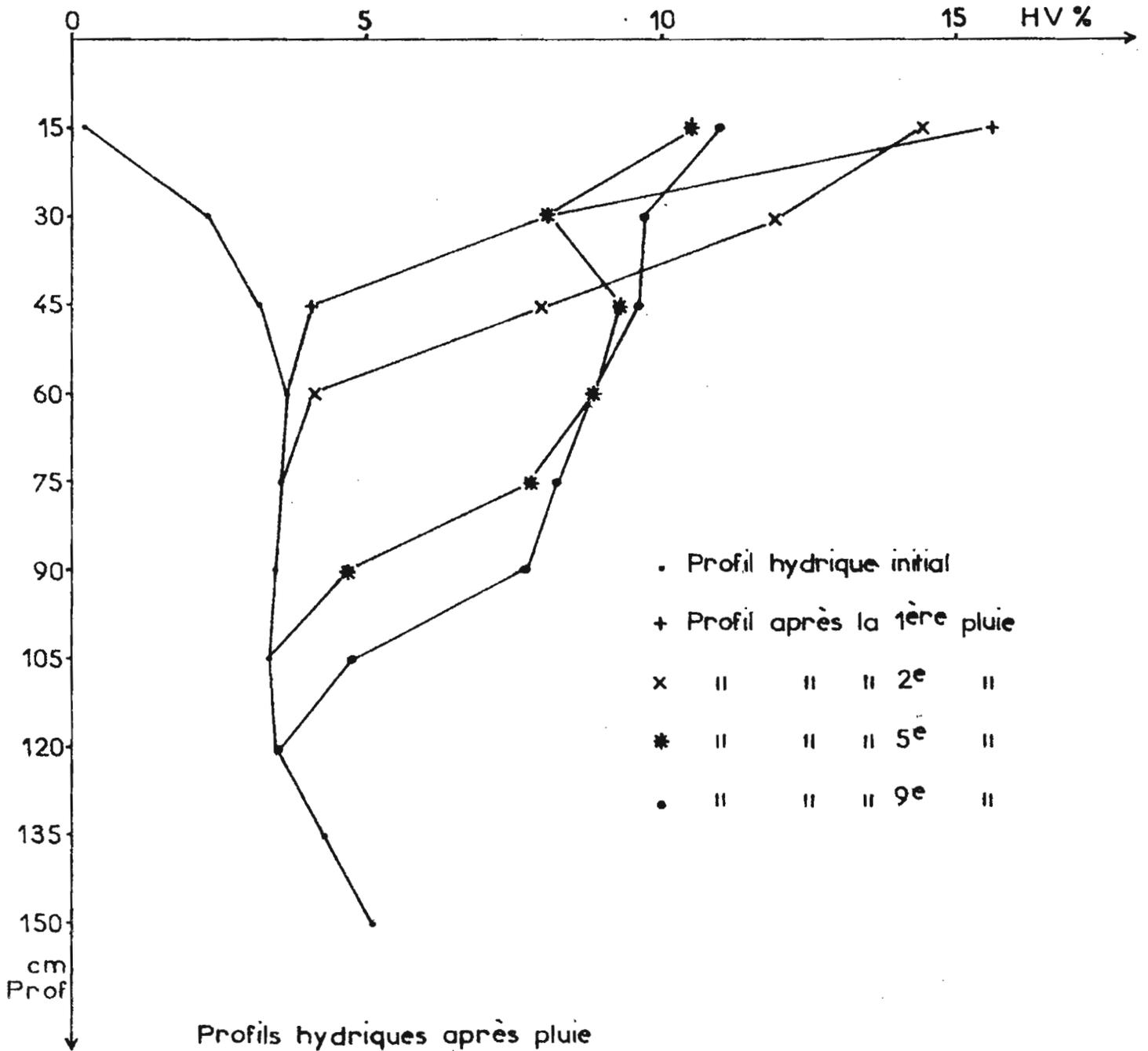


Fig. 13 TRAITEMENT A S 2 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES (30' environ)

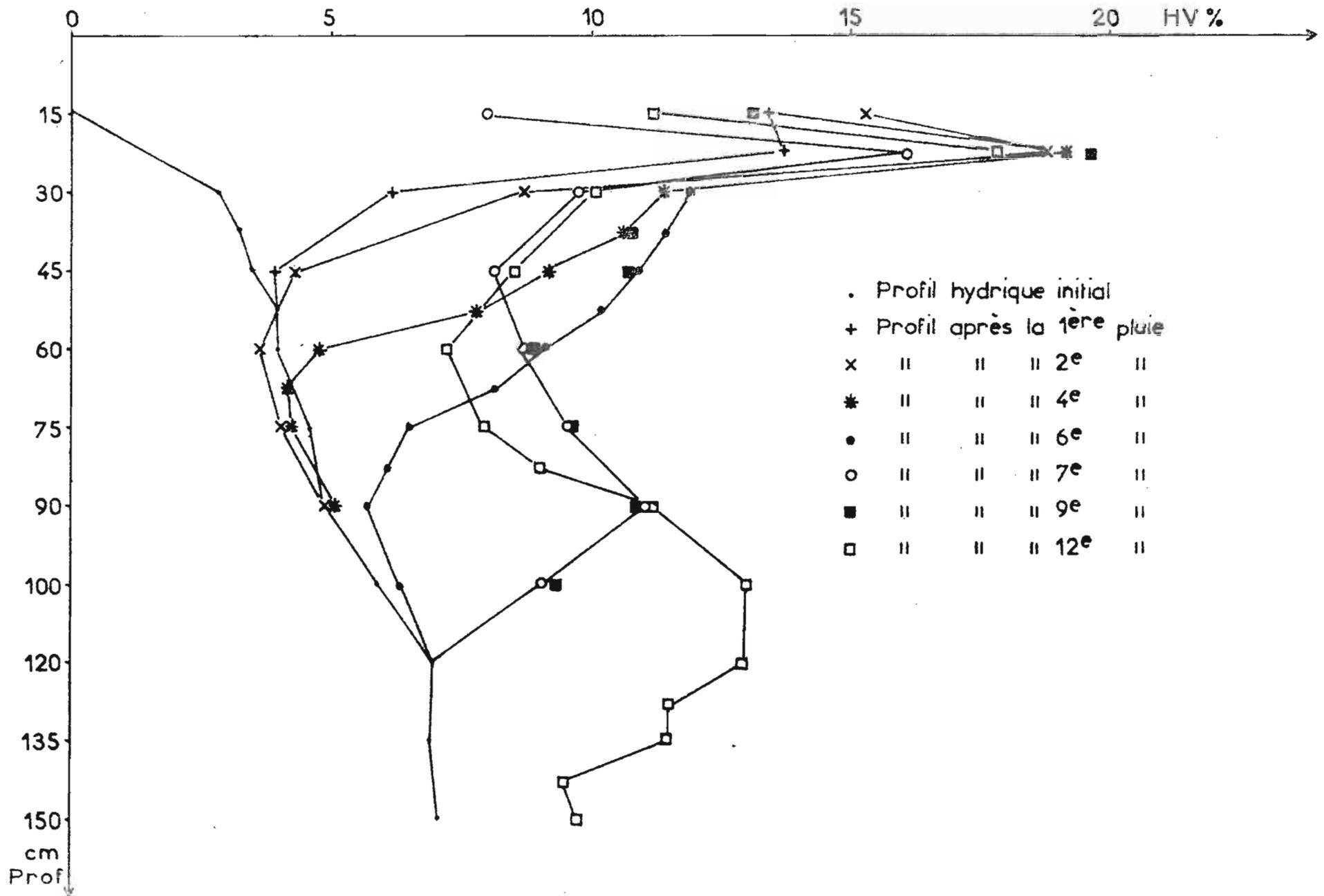


Fig. 14 TRAITEMENT A Q 1 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES

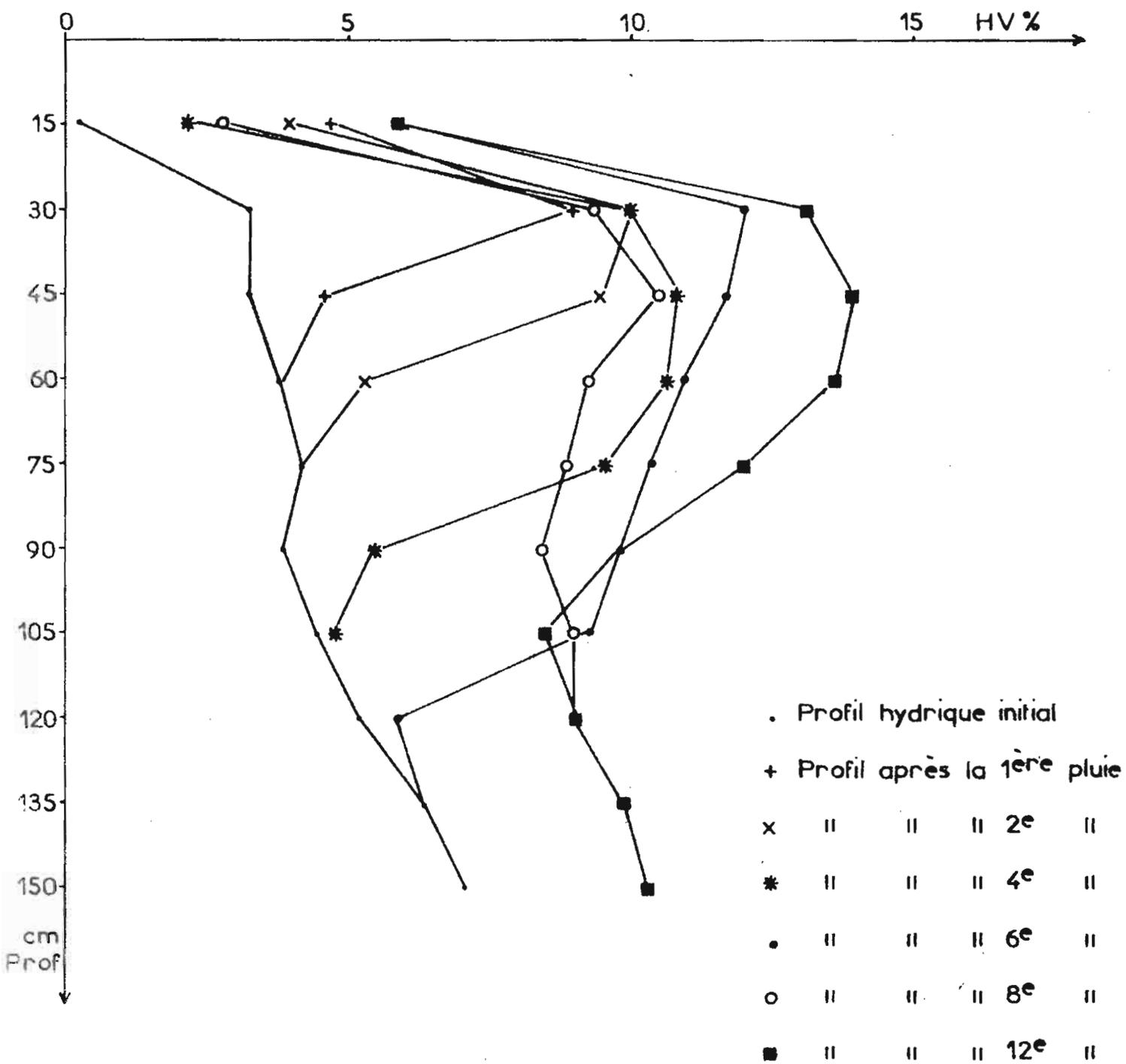


Fig. 15 TRAITEMENT A Q 2 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES

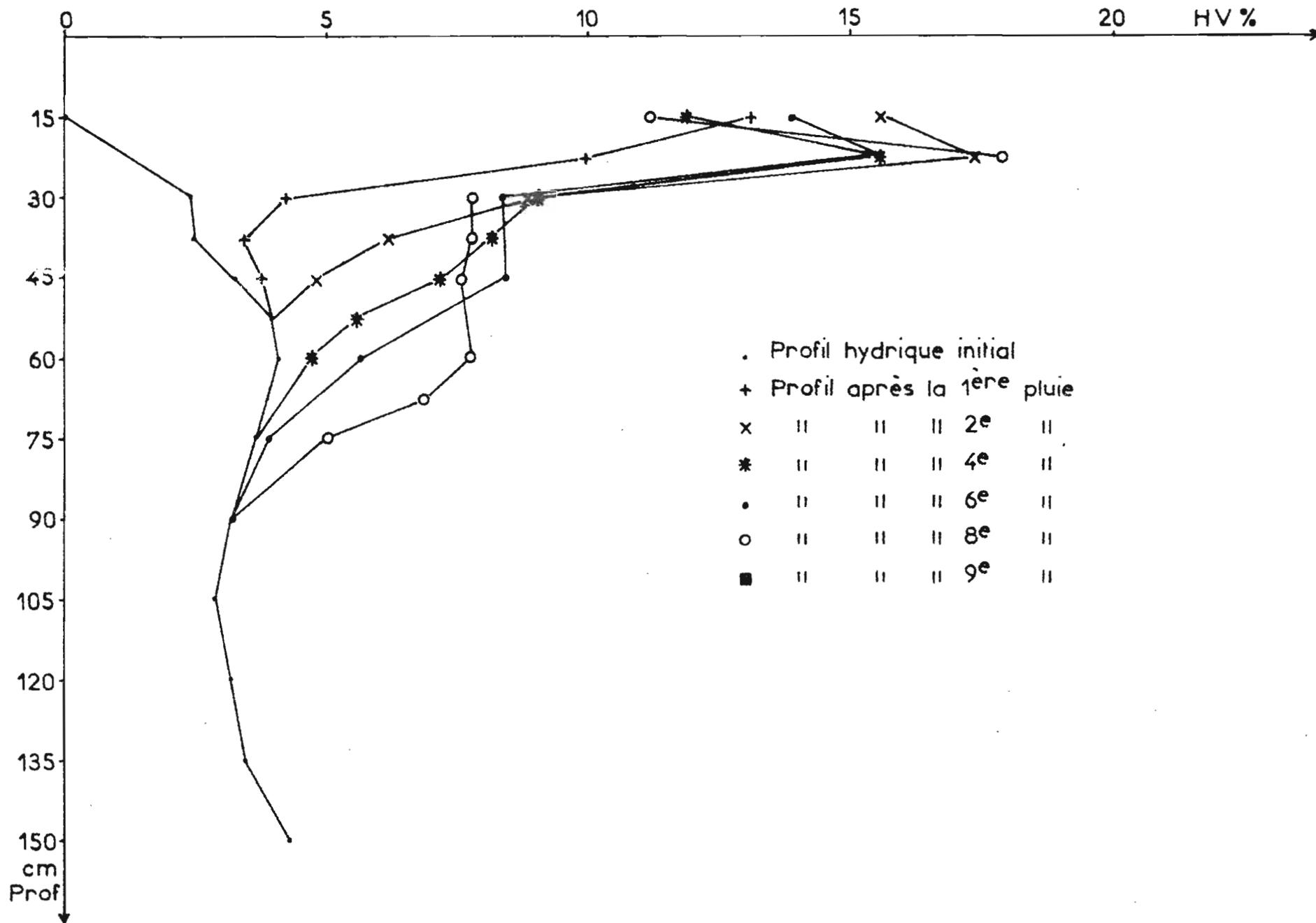
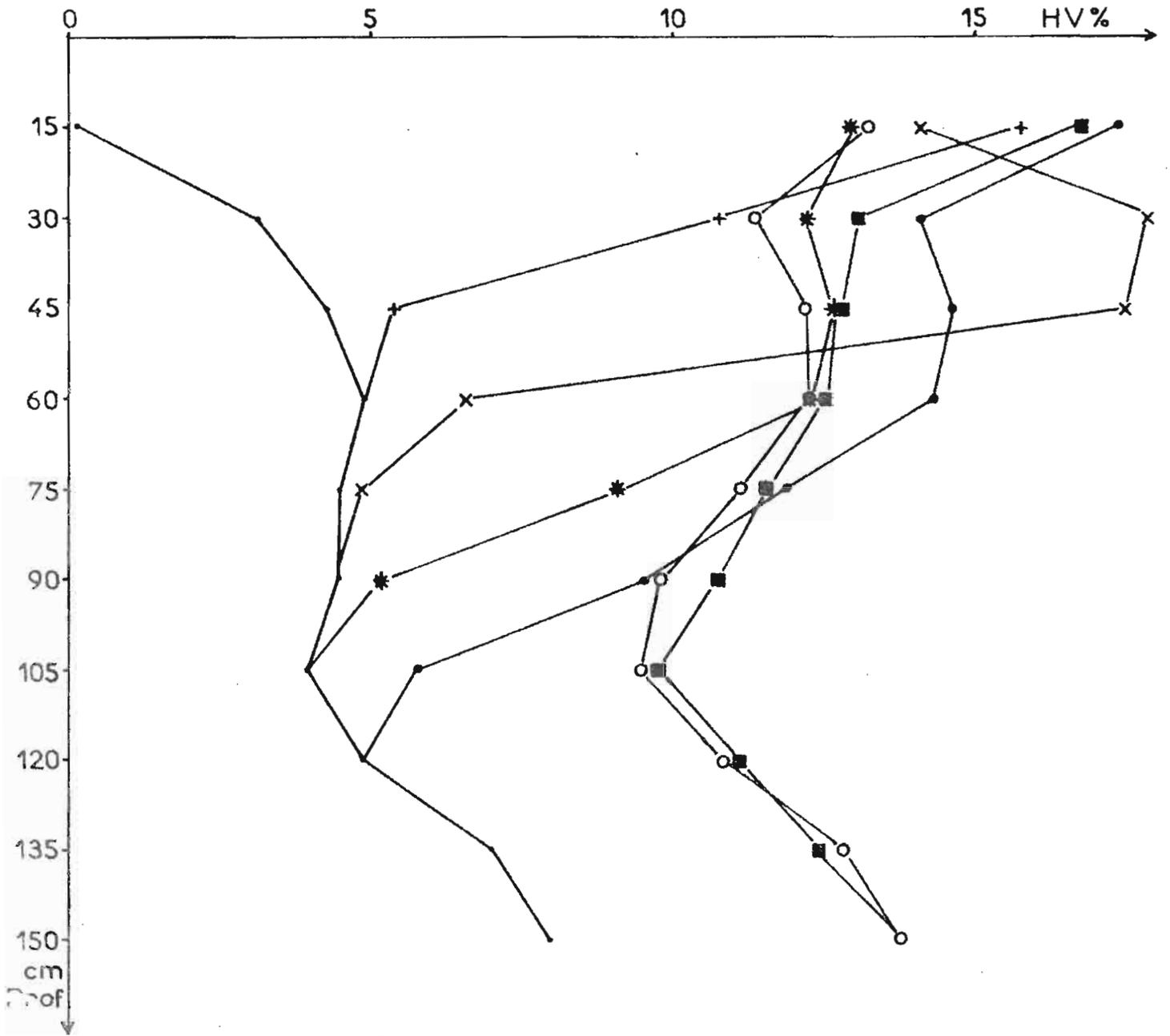


Fig. 16 TRAITEMENT A C 1 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES



Profils hydriques après pluie

- Profil hydrique initial
- + Profil après la 1^{ère} pluie
- x " " " 2^e "
- * " " " 4^e "
- " " " 6^e "
- o " " " 8^e "
- " " " 9^e "

Fig. 17 TRAITEMENT A C 2 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES

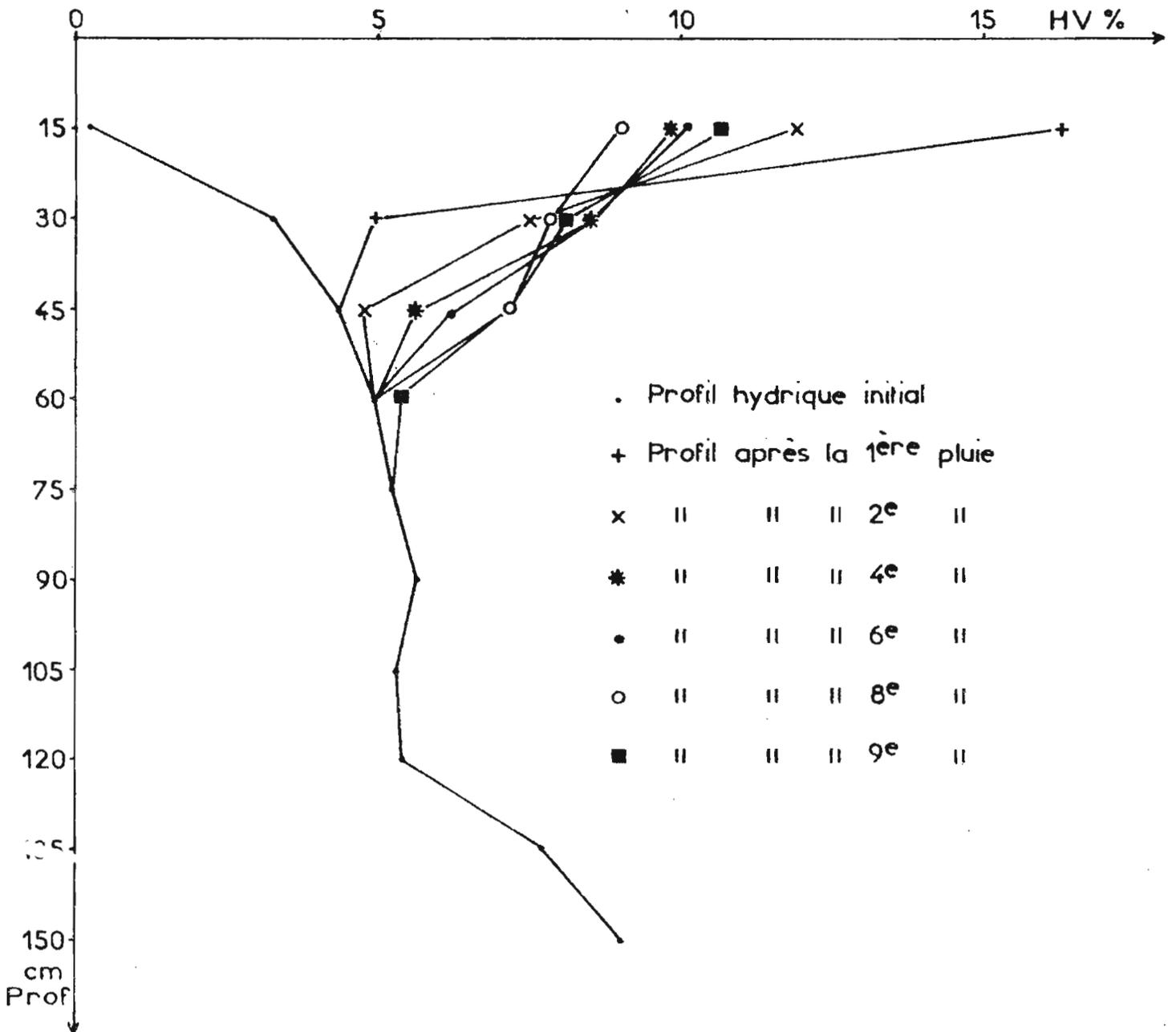


Fig. 18 TRAITEMENT B T 1 PROFILS HYDRYQUES APRES PLUIES SIMULEES

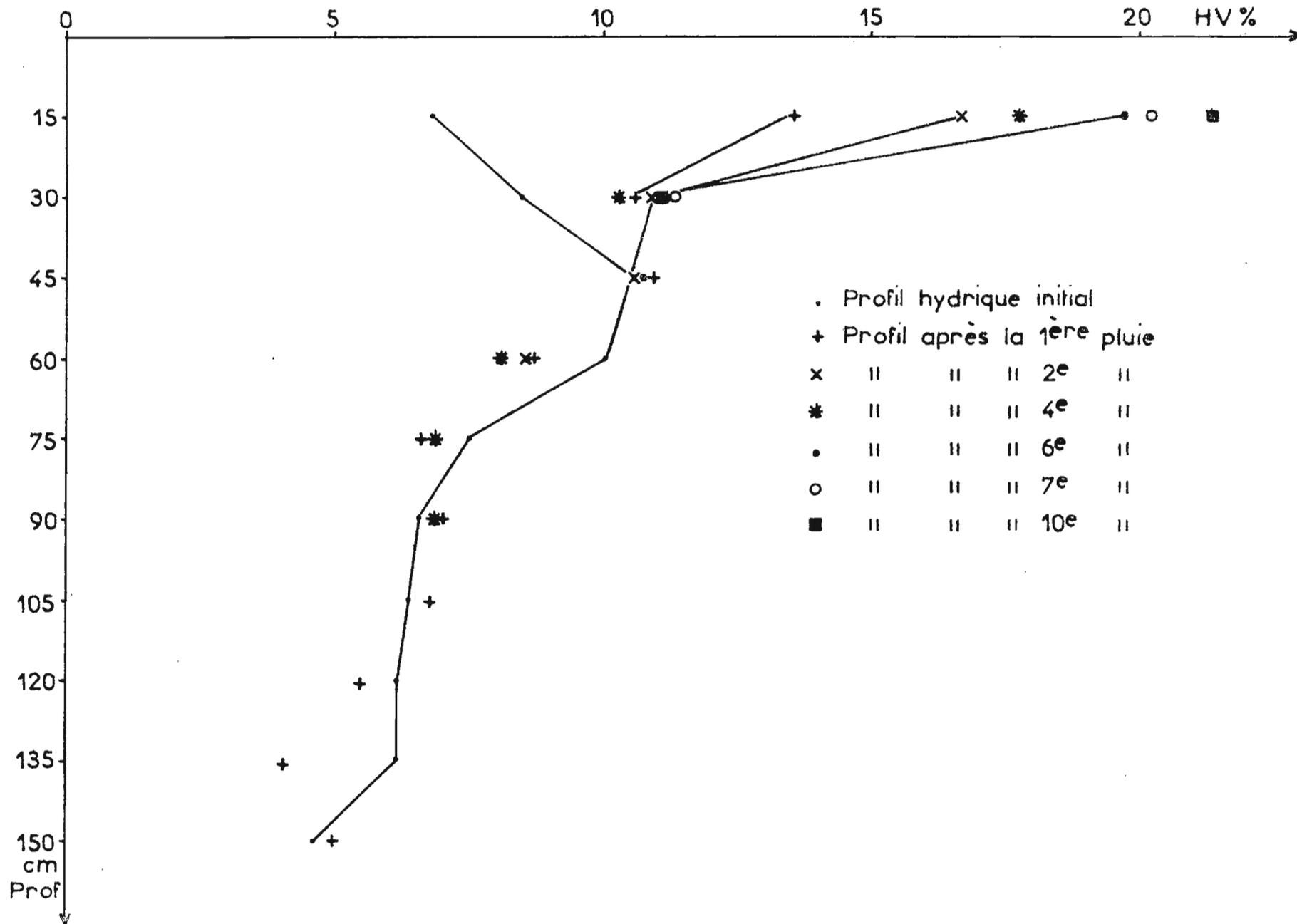


Fig. 19 TRAITEMENT BT 2 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES

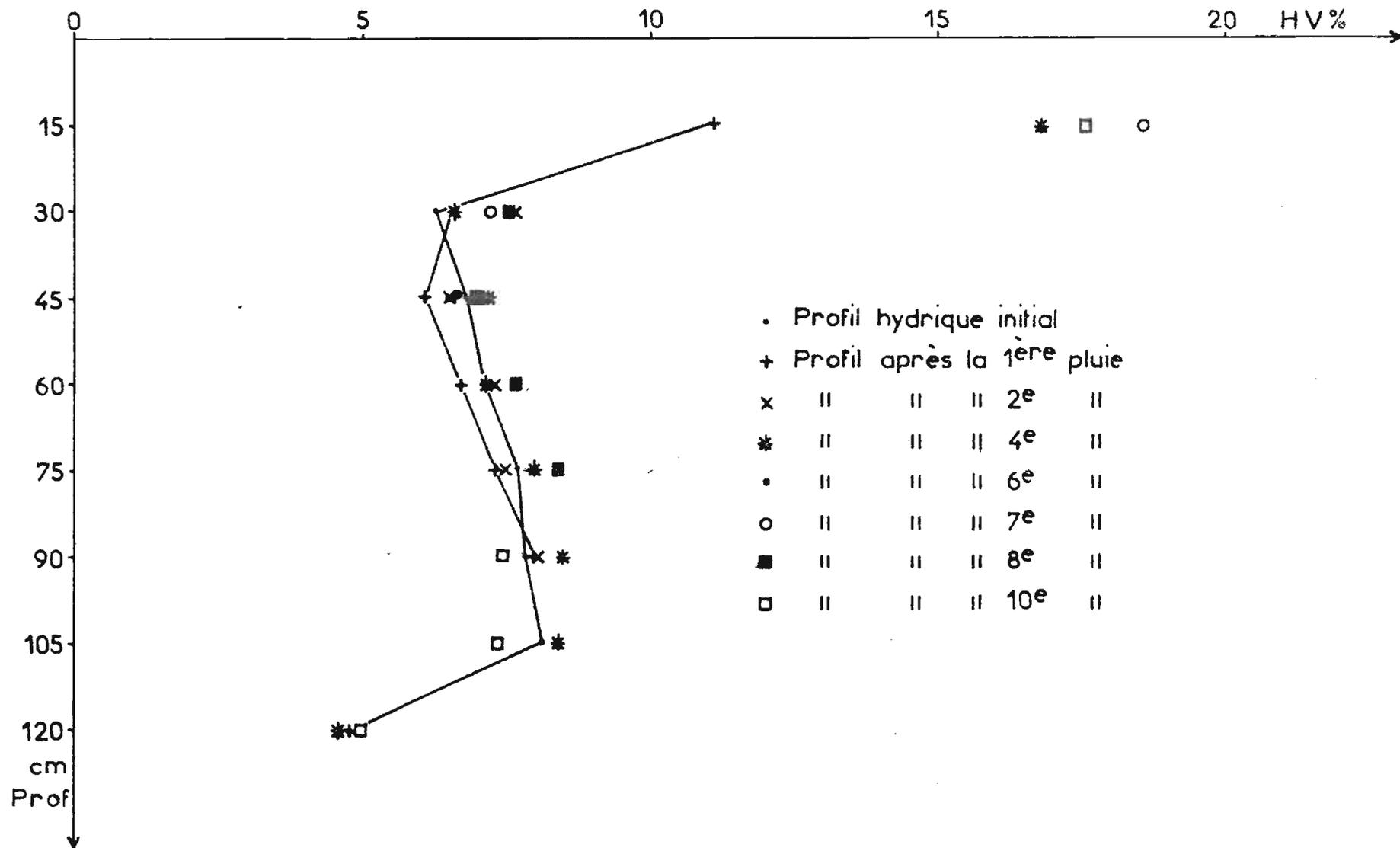


Fig. 22 TRAITEMENT B Q 1 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES

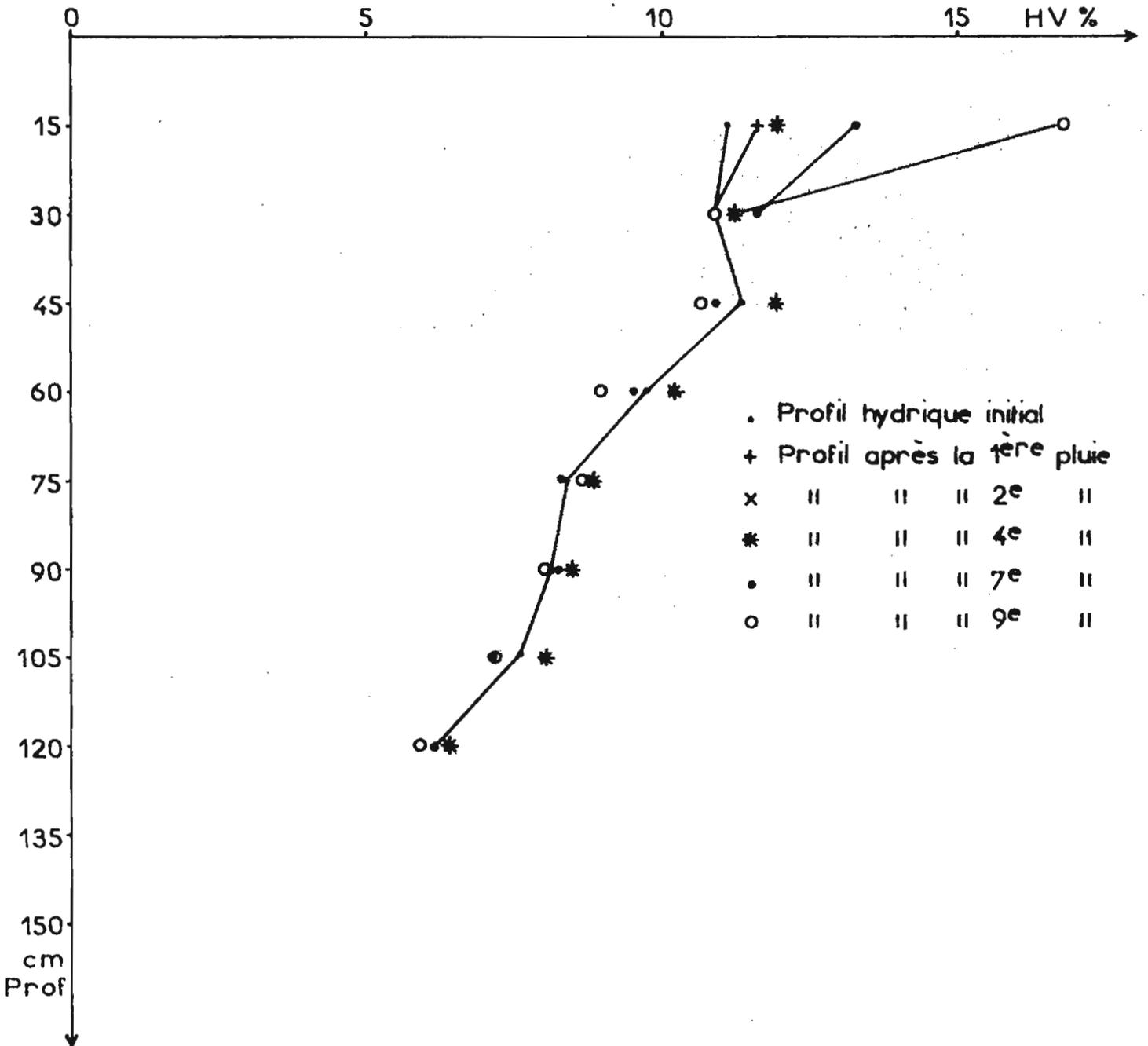


Fig. 24 TRAITEMENT B C 1 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES

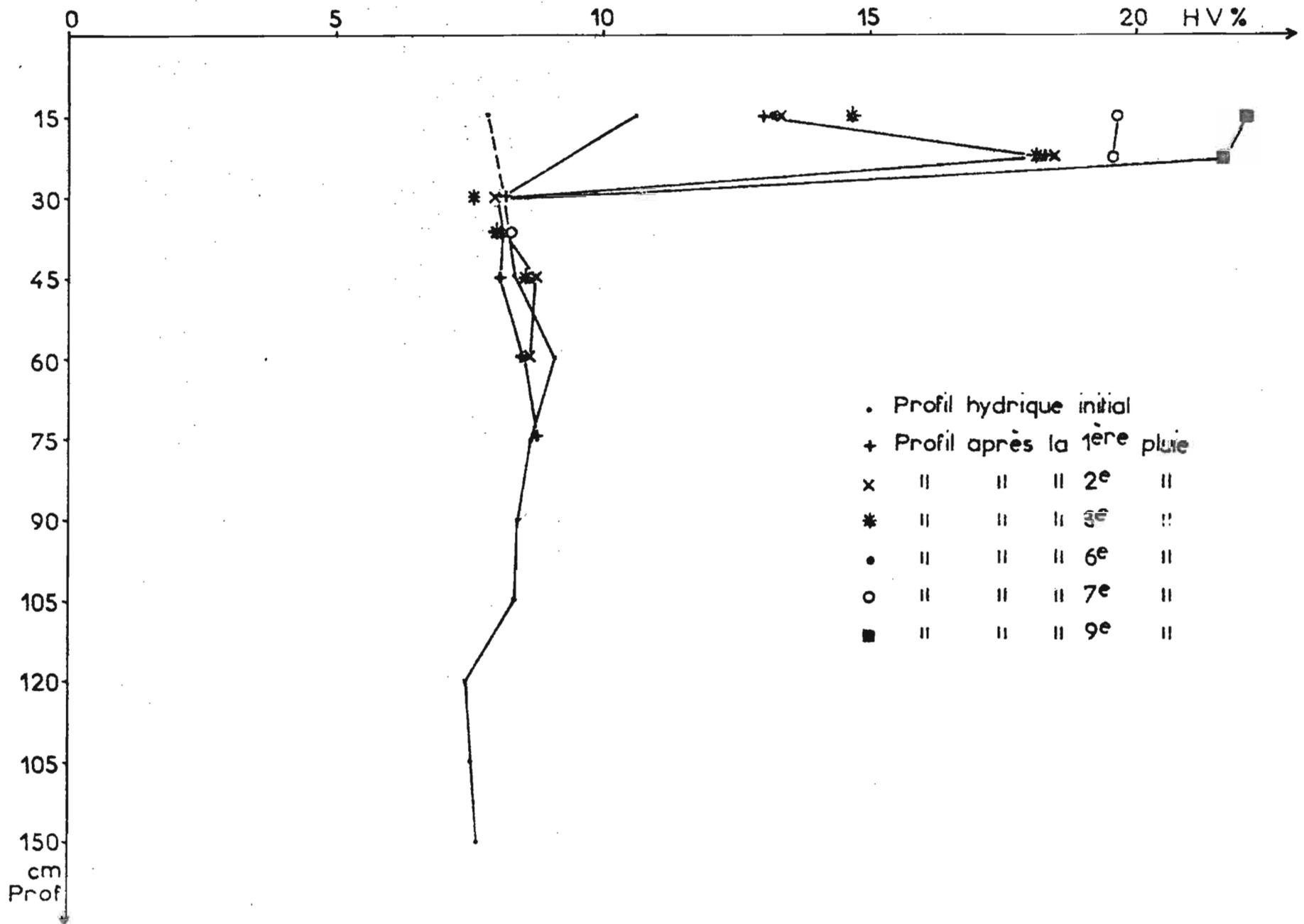


Fig. 25 TRAITEMENT B C 2 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES

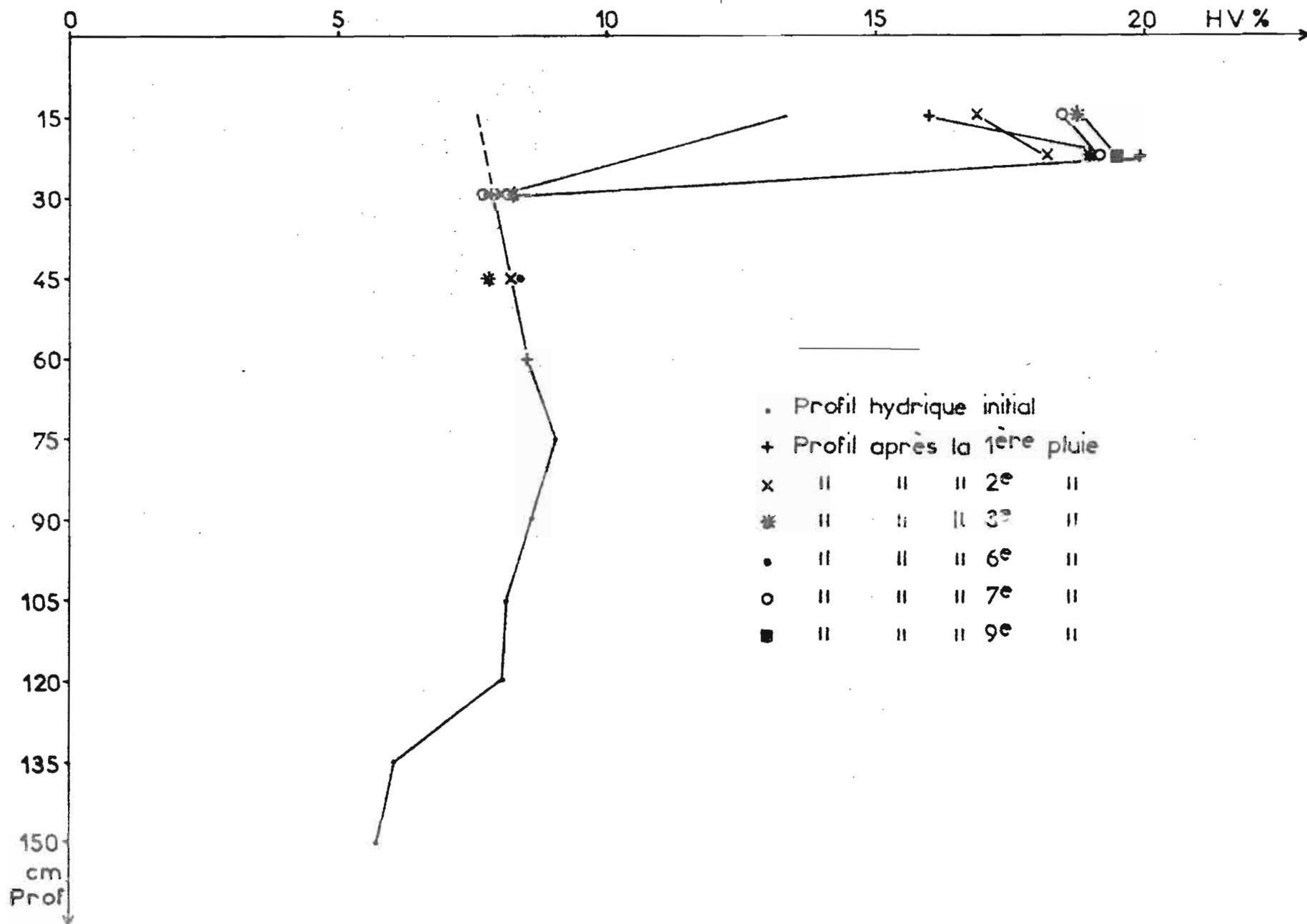


Fig. 26 TRAITEMENT C T 1 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES

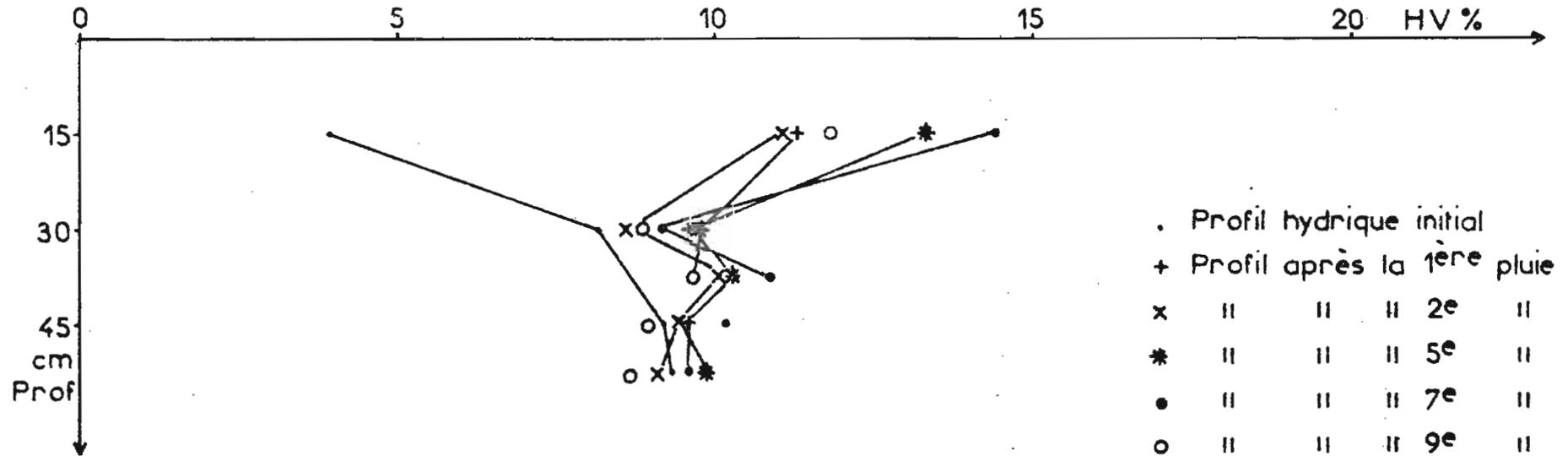
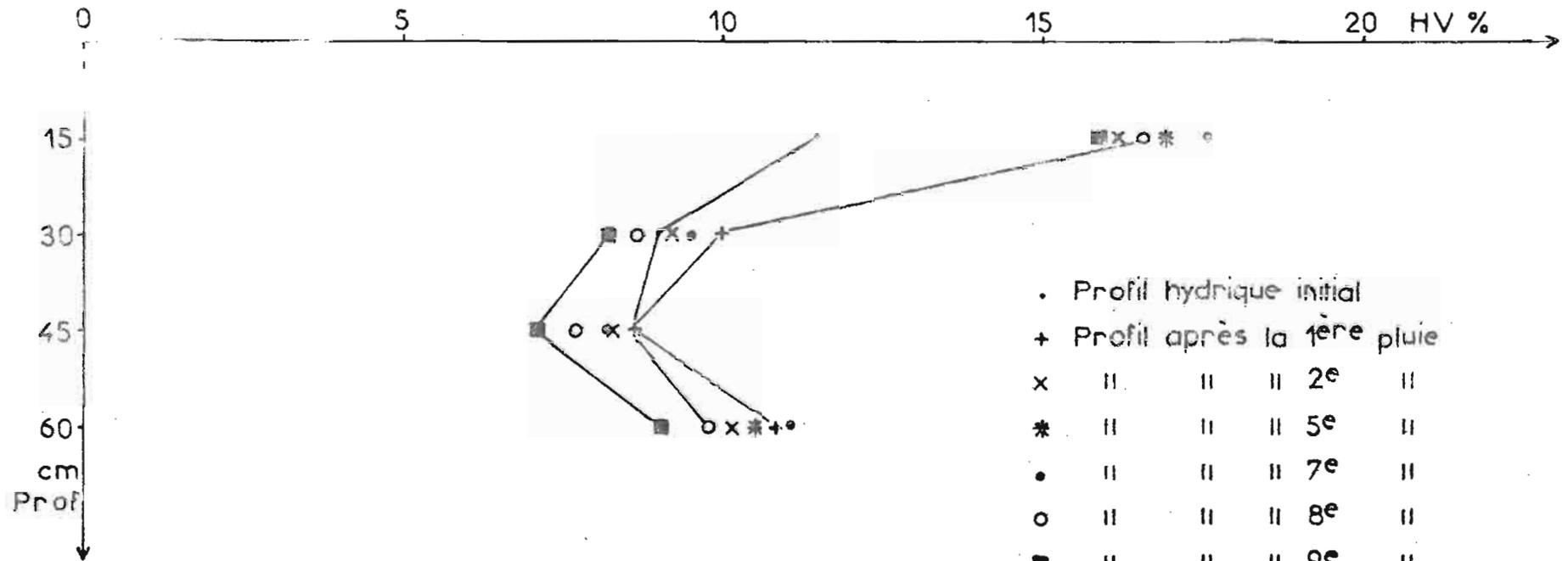
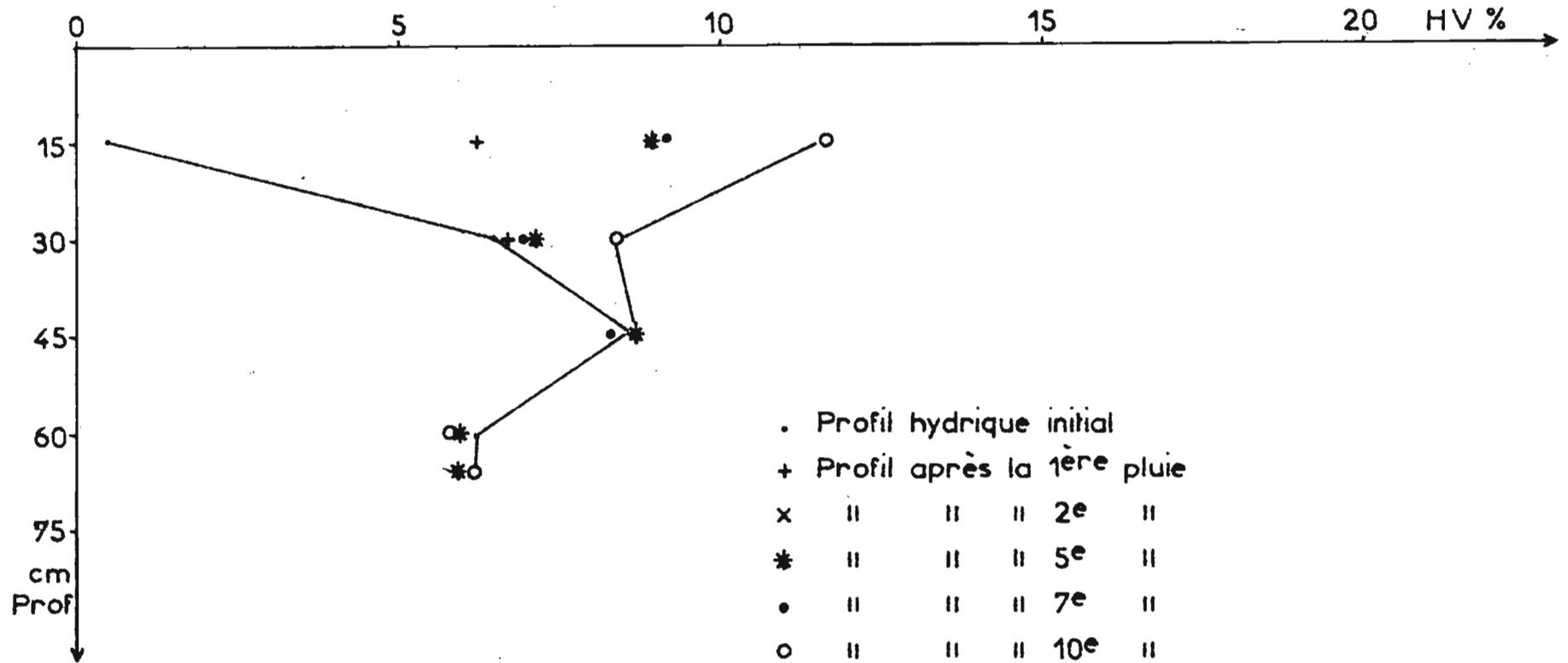


Fig. 27. TRAITEMENT CT 2 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES



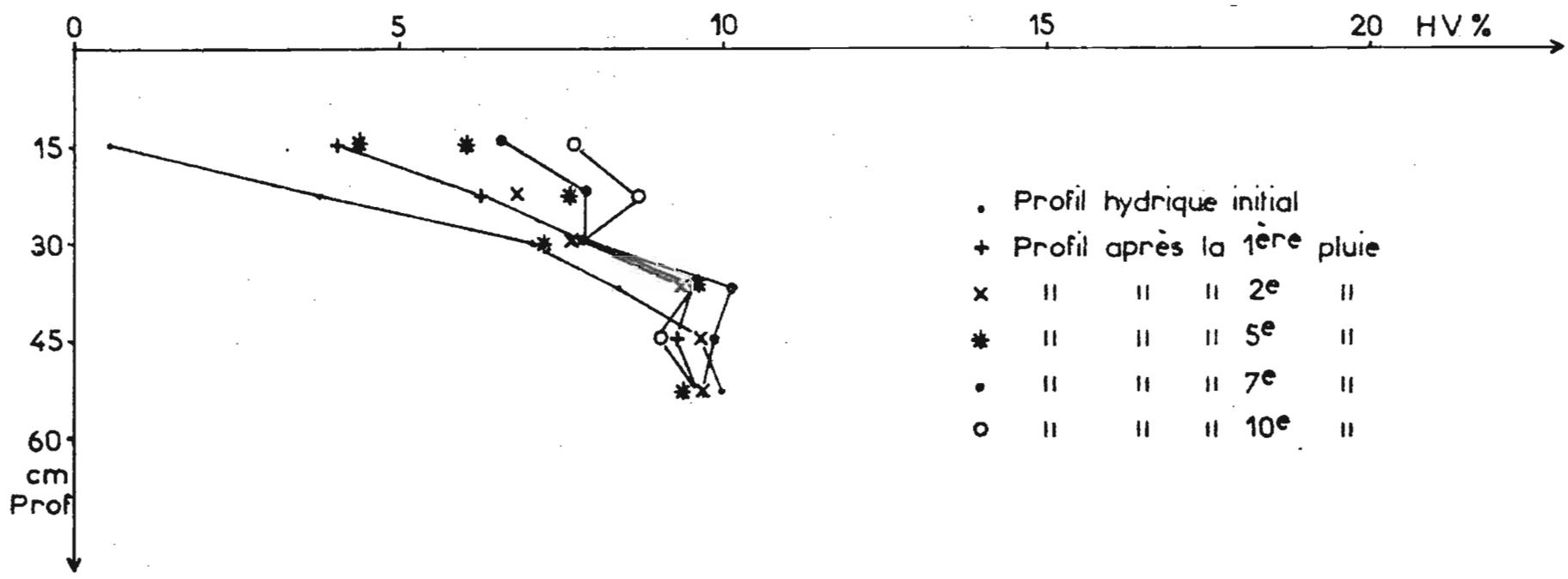
- Profil hydrique initial
- + Profil après la 1^{ère} pluie
- x " " " 2^e "
- * " " " 5^e "
- " " " 7^e "
- o " " " 8^e "
- " " " 9^e "

Fig. 28 TRAITEMENT C S1 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES



. Profil hydrique initial
 + Profil après la 1^{ère} pluie
 x " " " 2^e "
 * " " " 5^e "
 • " " " 7^e "
 o " " " 10^e "

Fig. 29 TRAITEMENT C S 2 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES



- Profil hydrique initial
- + Profil après la 1^{ère} pluie
- x " " " 2^e "
- * " " " 5^e "
- " " " 7^e "
- o " " " 10^e "

Fig. 30 TRAITEMENT C C 1 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES

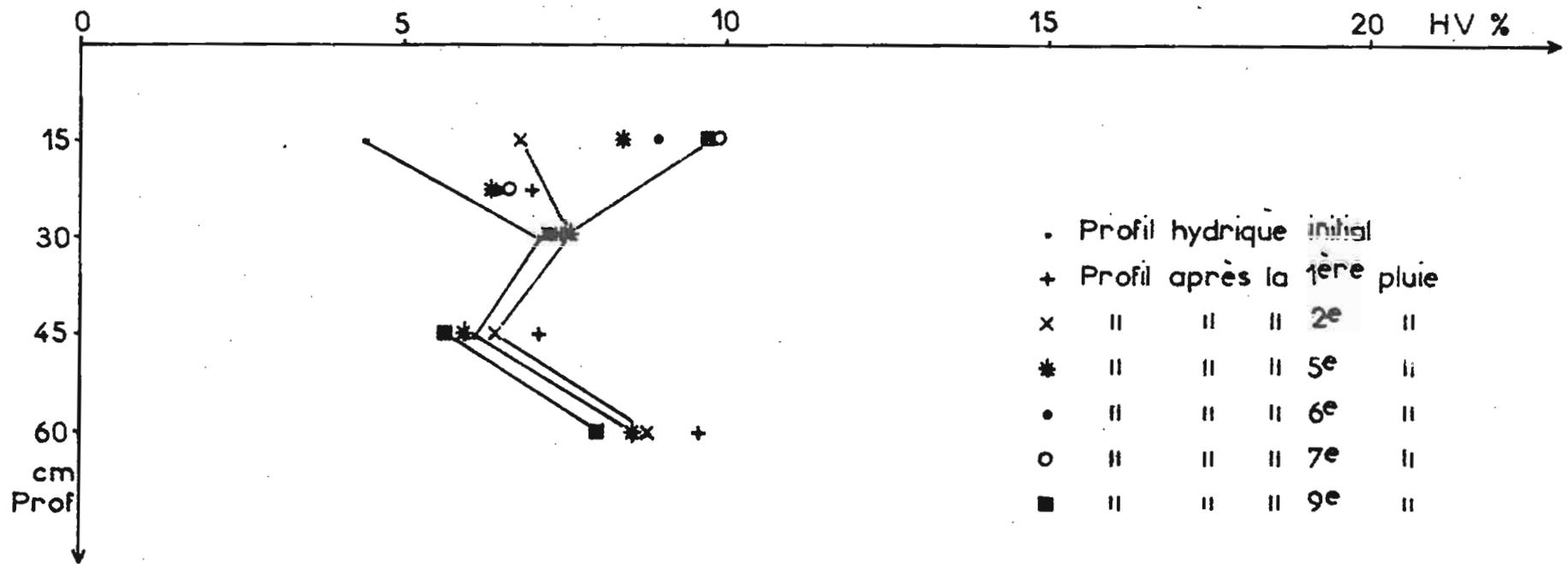


Fig. 31 TRAITEMENT C C 2 PROFILS HYDRIQUES APRES PLUIES SIMULEES

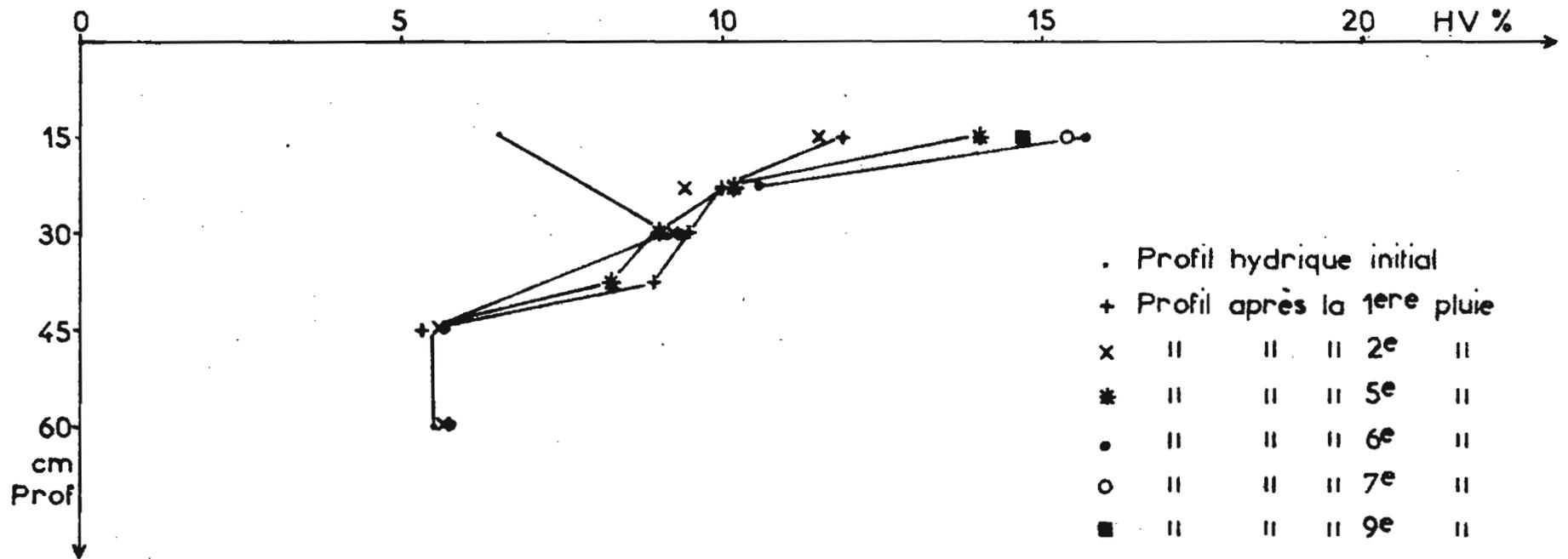


Fig. 32 DYNAMIQUE DU PROFIL HYDRIQUE AUTOUR DU TUBE N° 2 DANS LA
PARCELLE DE GOUNTOURE EN 1978

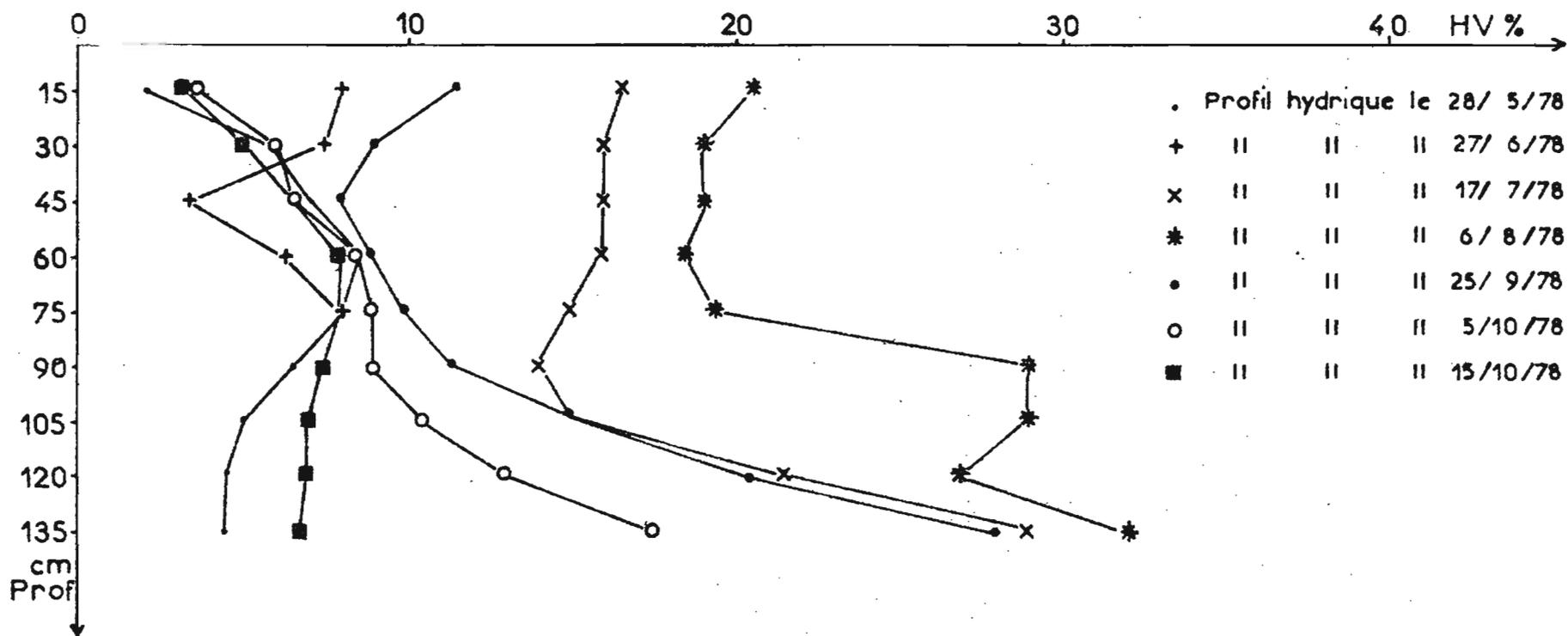


Fig. 33 TRAITEMENT A S. 1 RESSUYAGE APRES LA 9^e PLUIE

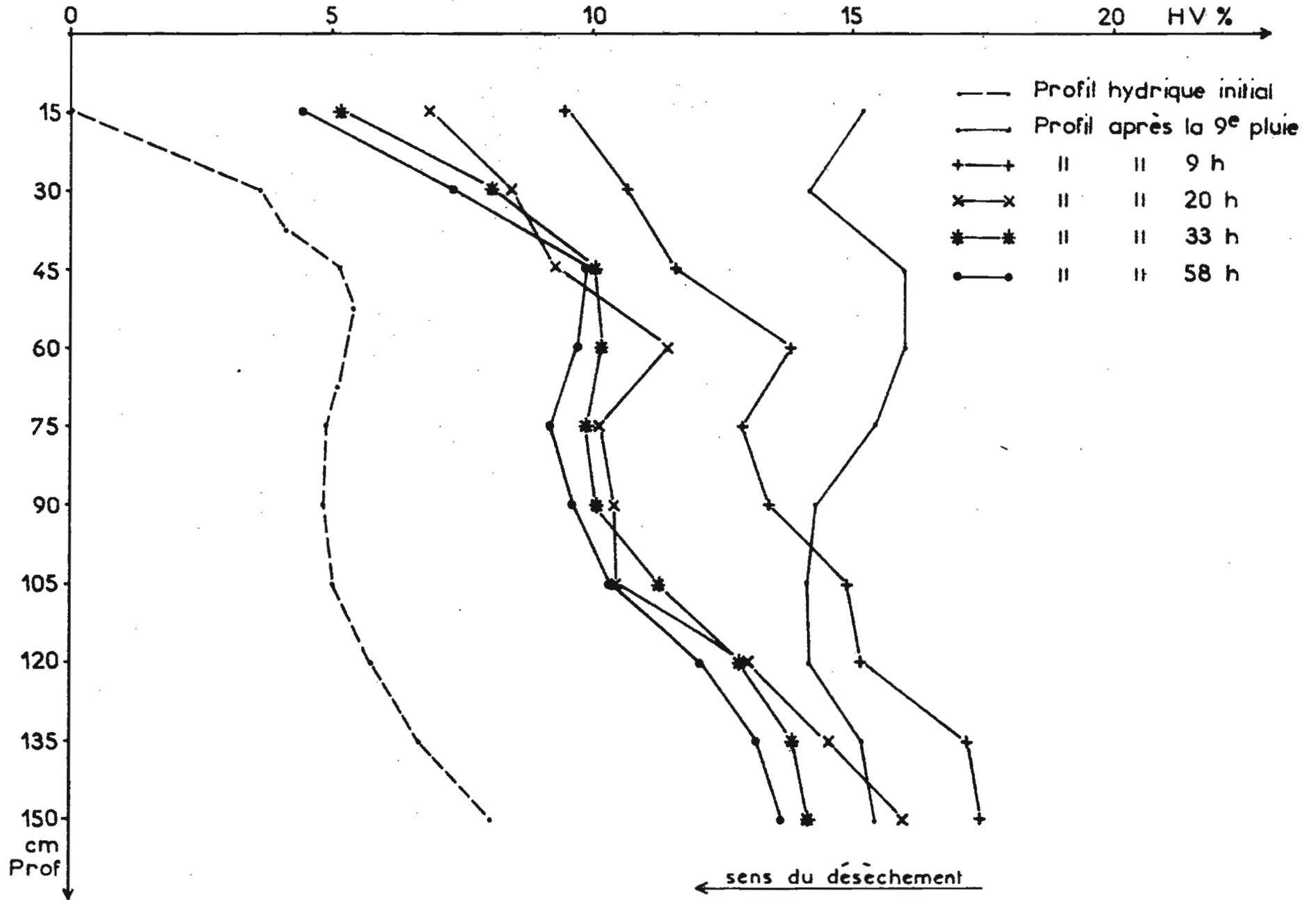


Fig. 34 TRAITEMENT A S 2 CINETIQUE DE DESSECHEMENT APRES LA 9^e PLUIE

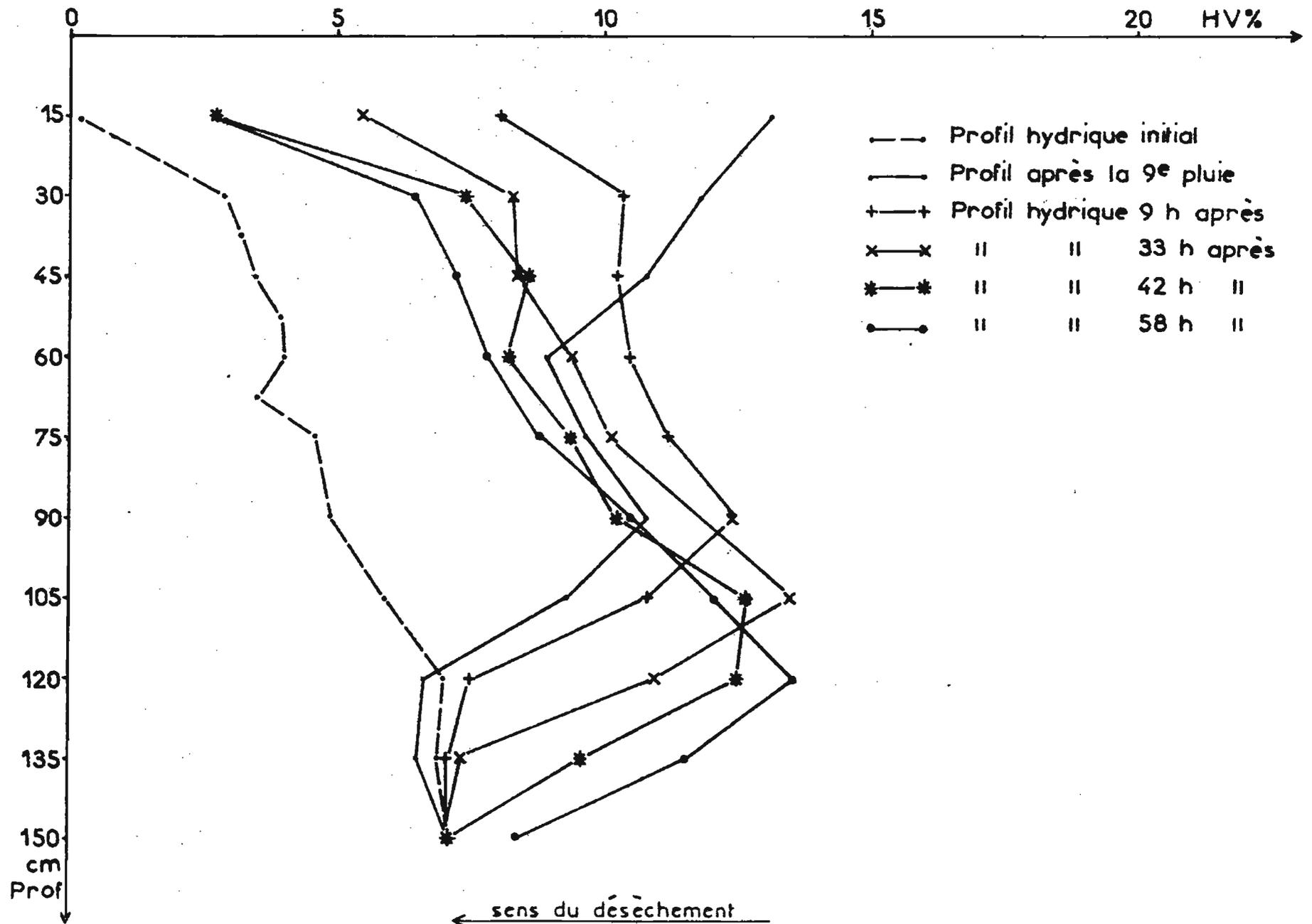


Fig. 35 TRAITEMENT A S 1 RESSUYAGE APRES LA 12^e PLUIE

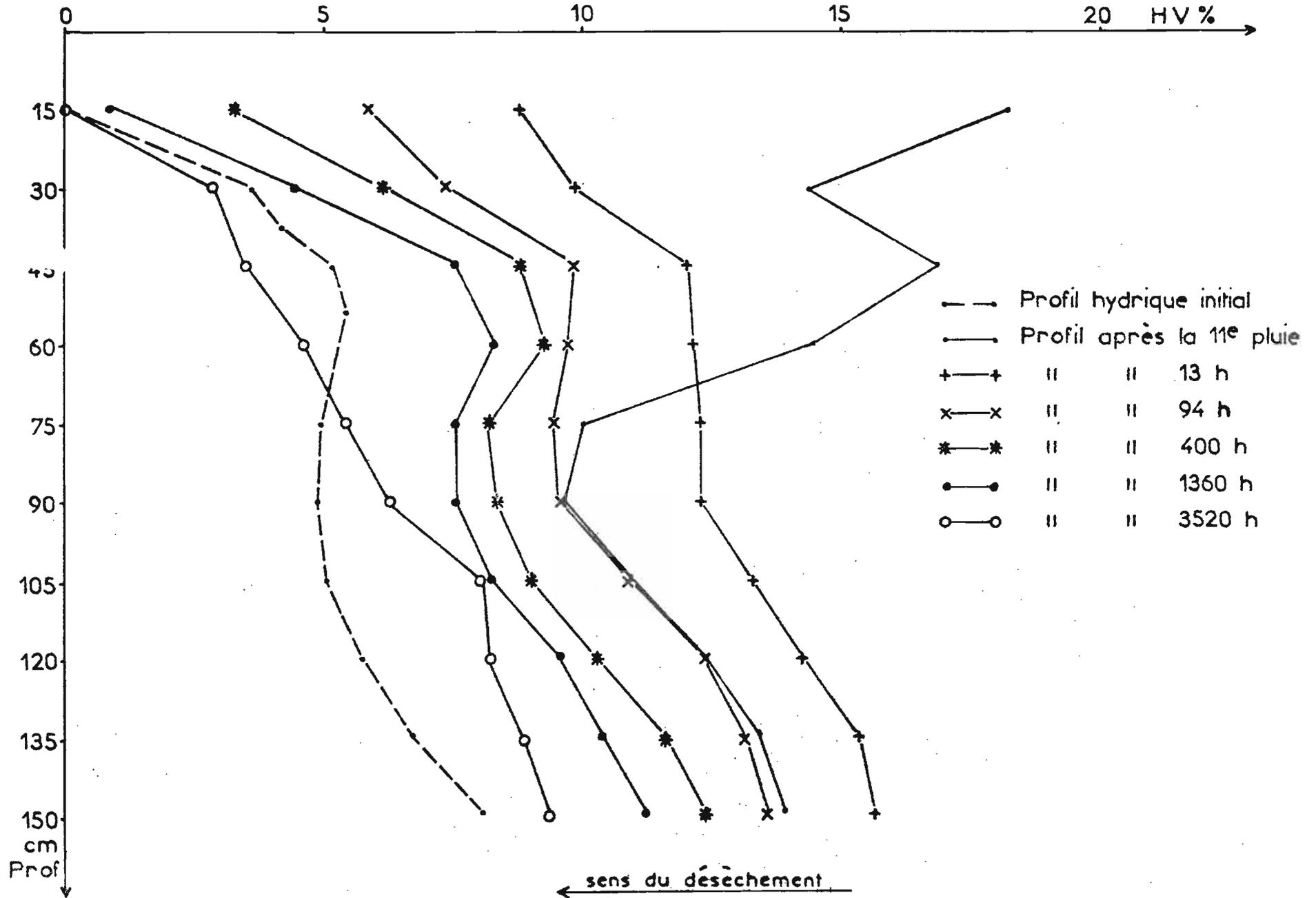


Fig. 36 TRAITEMENT A S 2 RESSUYAGE APRES LA 12^e PLUIE

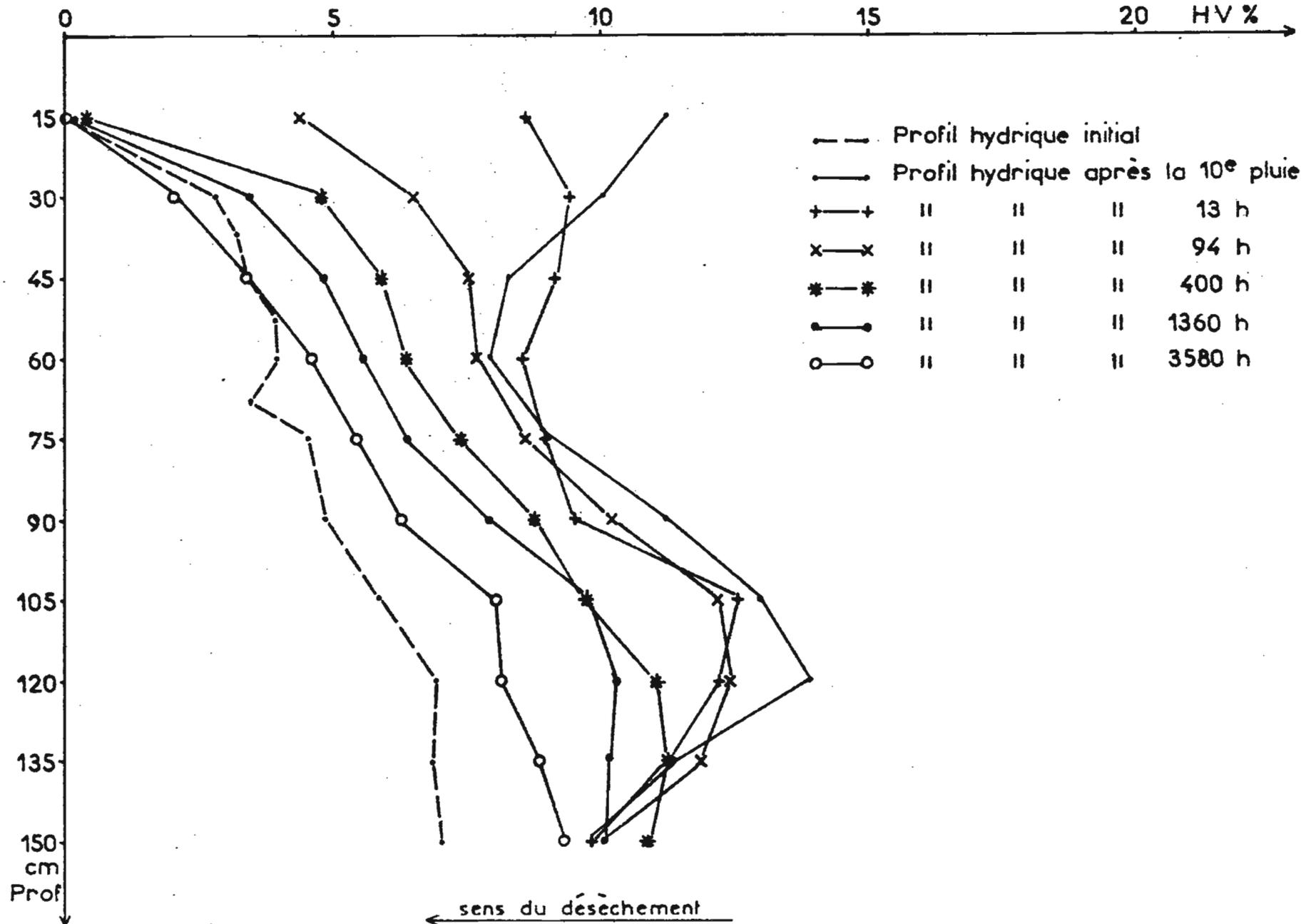


Fig. 37 INCIDENCE DE L'INTENSITE DE L' AVERSE SUR LA LAME
D'EAU INFILTREE DANS LA SITE A

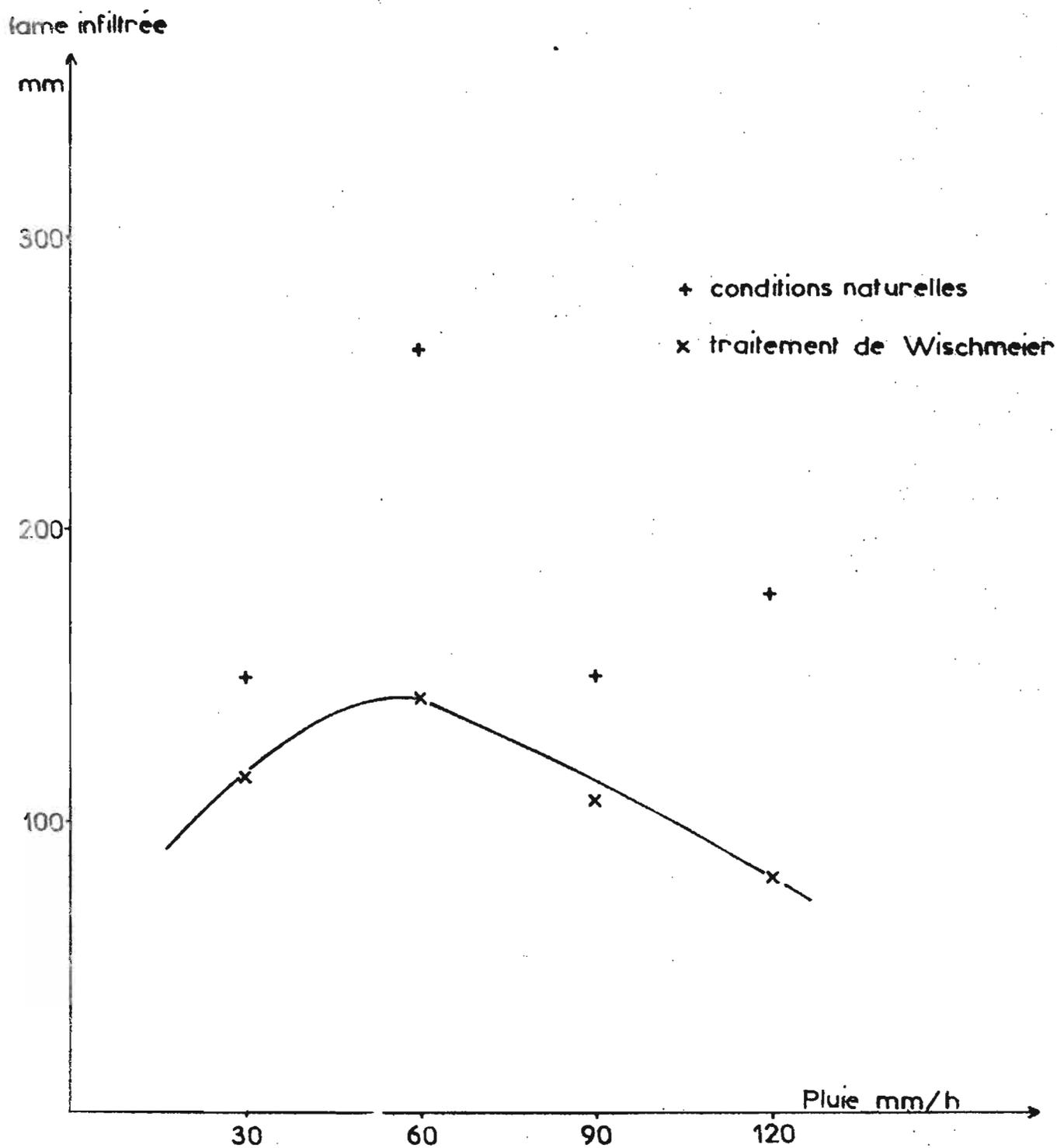


Fig. 38 RESSUYAGE DES PARCELLES AT APRES LA 9^e PLUIE

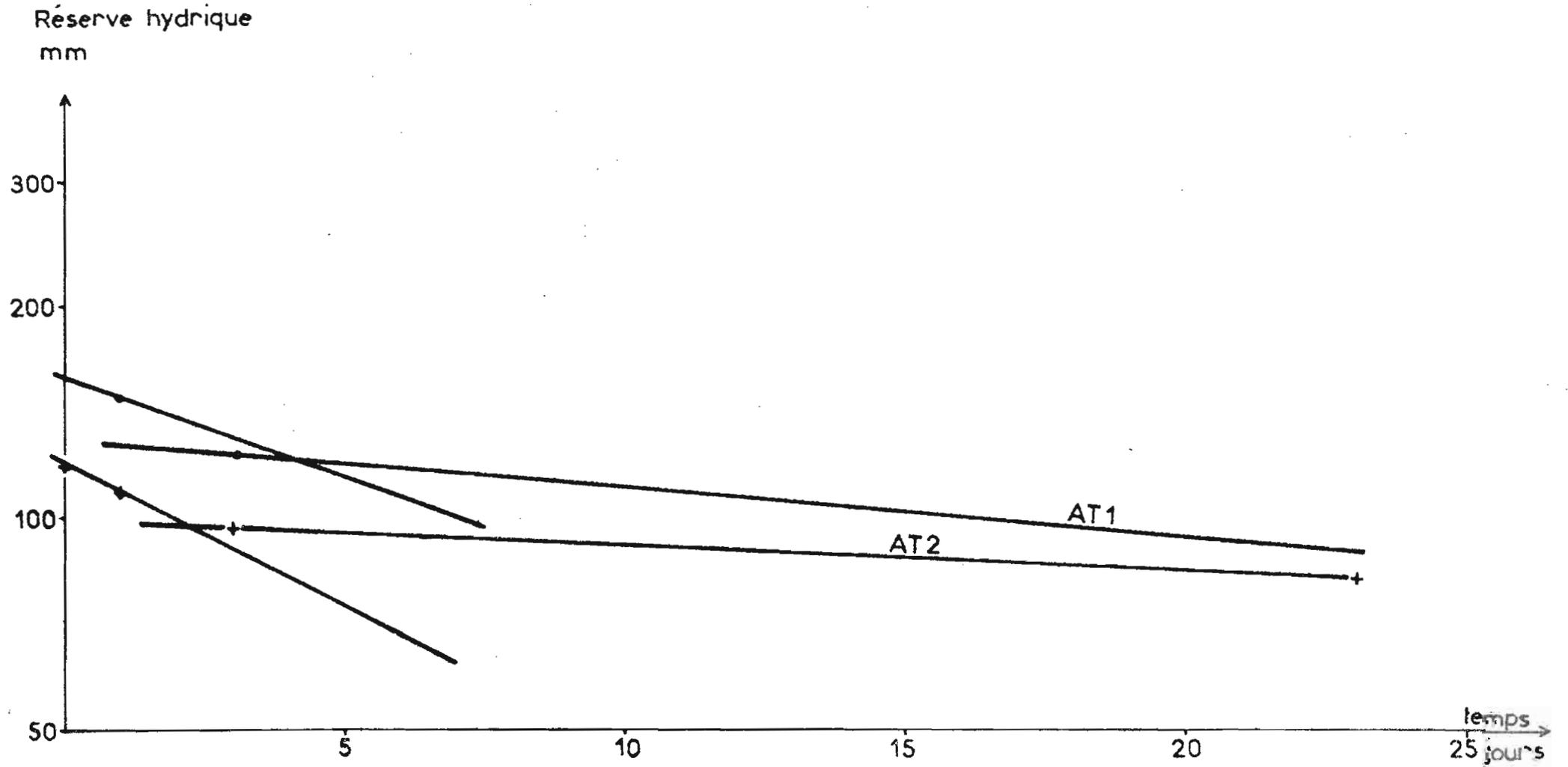


Fig. 39 RESSUYAGE DES PARCELLES AS APRES LA 9^e PLUIE

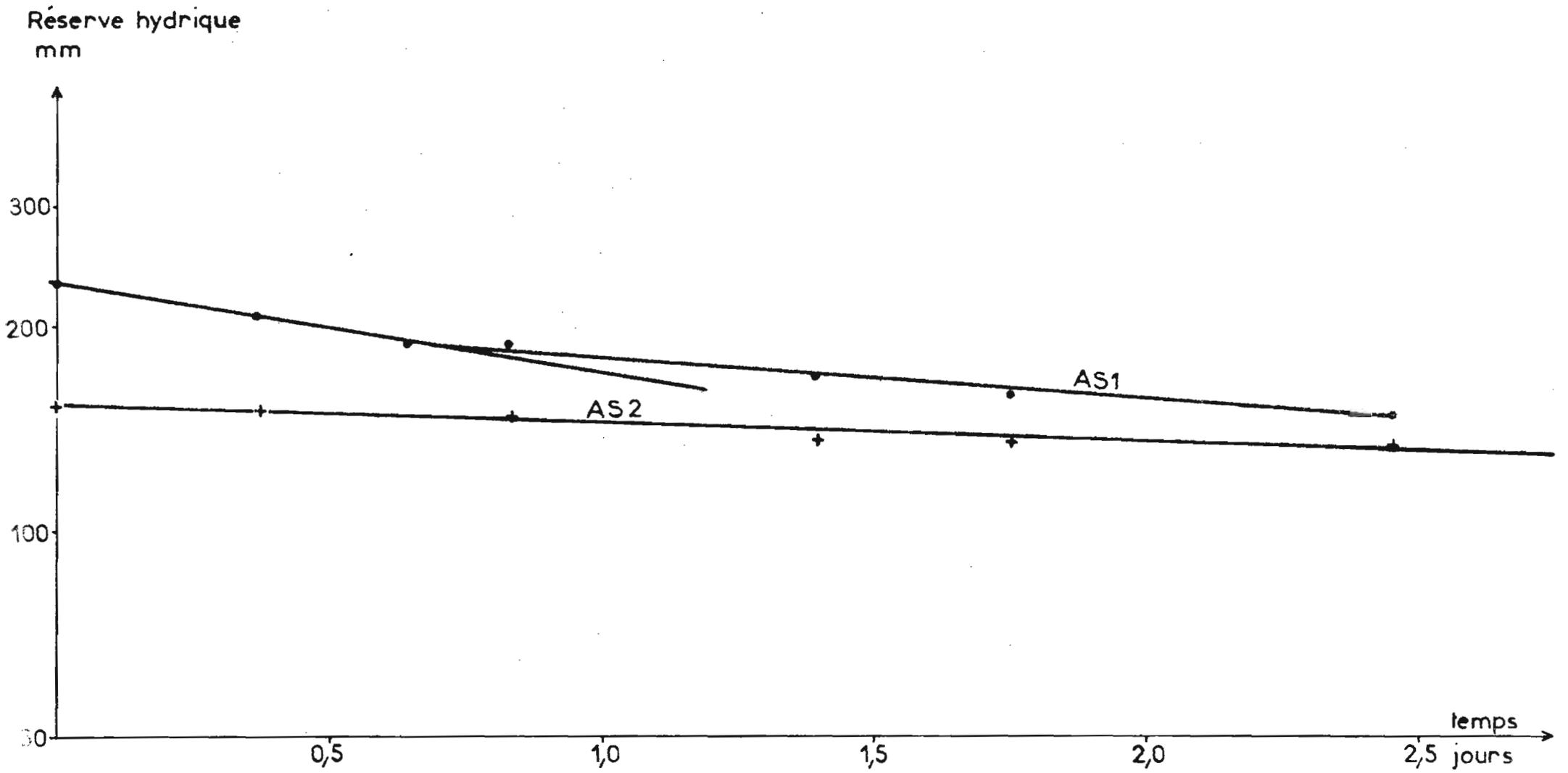


Fig. 40 RESSUYAGE DES PARCELLES AS APRES LA 12^e PLUIE

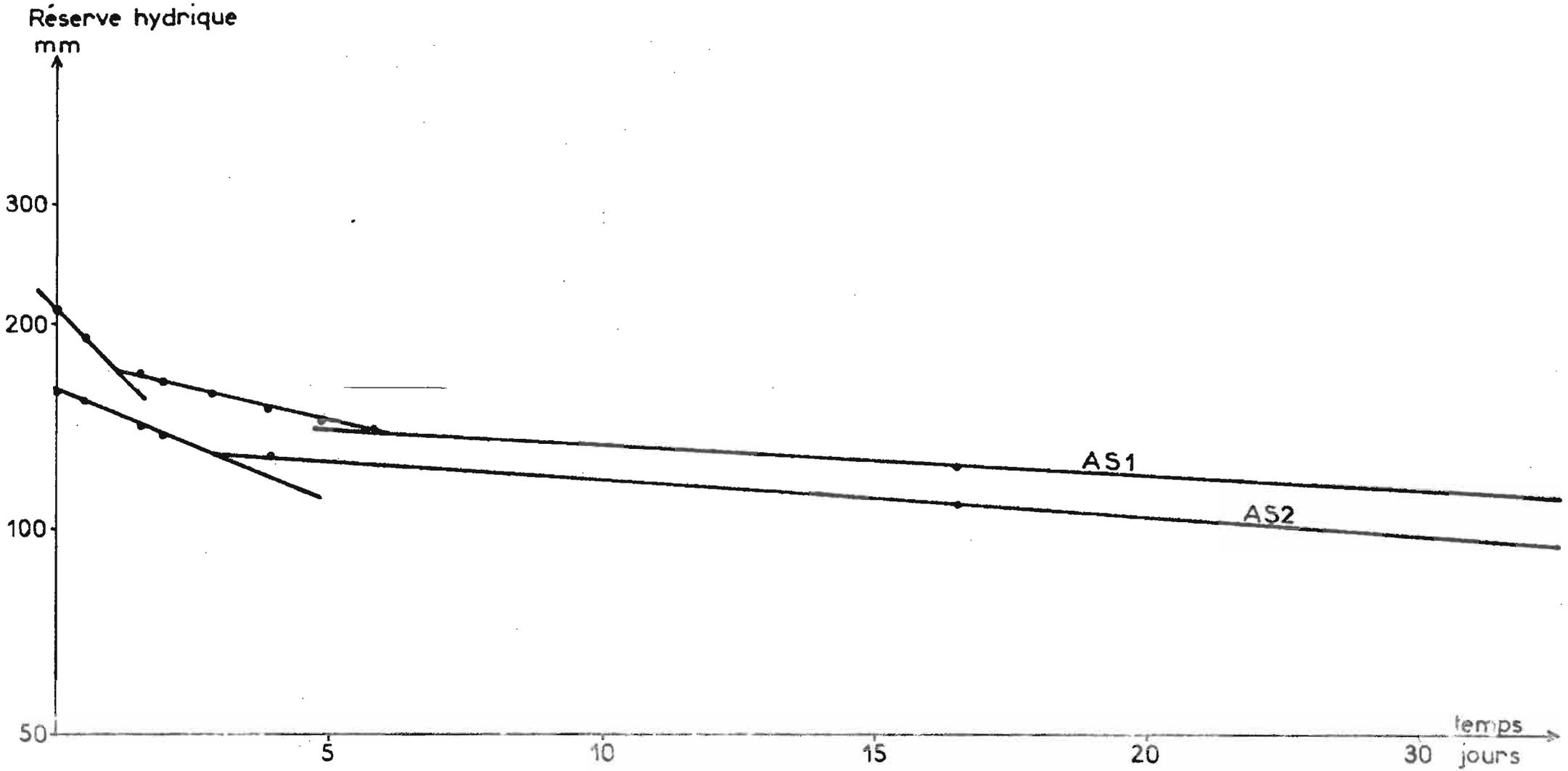


Fig. 41 RESSUYAGE DES PARCELLES BT APRES LA 10^e PLUIE

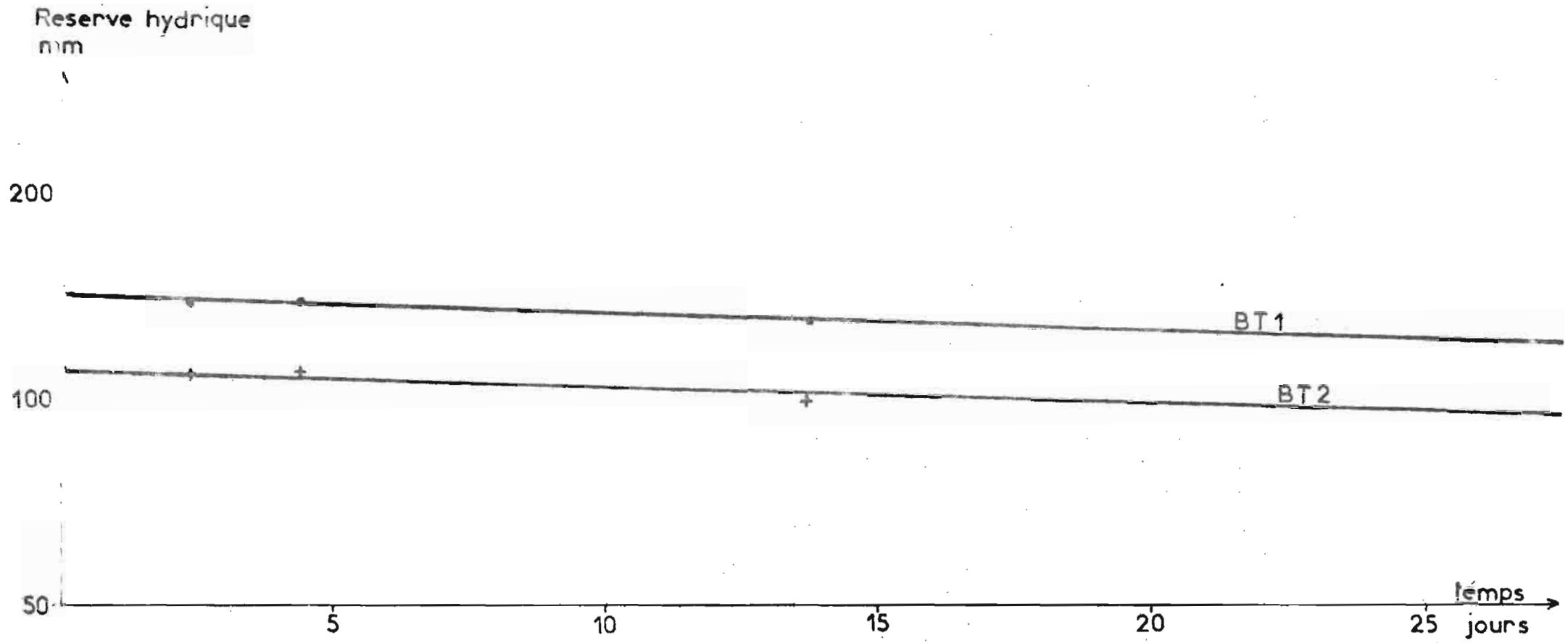


Fig. 42 RESSUYAGE DES PARCELLES CS APRES LA 10^e PLUIE

