

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE D'ADIOPODOUME

Laboratoires de Pédologie et d'Hydrologie

MESURE DES PHENOMENES D'EROSION SOUS PLUIES SIMULEES

AUX CASES D'EROSION D'ADIOPODOUME

1. ANALYSE DES FACTEURS DE RUISSELLEMENT

par

A. LAFFORGUE et E. NAAH

avec la collaboration de

J. ASSELINE, J. F. BOIS, S. DIALLO, E. ROOSE

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
CENTRE D'ADIOPODOUME

MESURE DES PHENOMENES D'EROSION SOUS PLUIES SIMULEES AUX
CASES D'EROSION D'ADIOPODOUME

I. ANALYSE DES FACTEURS DE RUISSELLEMENT

par

A. LAFFORGUE et E. NAAH

avec la collaboration de

J. ASSELINE, J-F. BOIS, S. DIALLO, E. ROOSE

S O M M A I R E

	Page
INTRODUCTION	1
CHAP. I - DEFINITION DU CADRE DE L'ETUDE - DESCRIPTION SOMMAIRE DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	3
CHAP. II - CHOIX DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL.....	6
CHAP. III - LES DONNEES D'OBSERVATION.....	9
3.1 - Description générale des processus de ruissellement...	9
3.2 - Présentation des données de base.....	10
3.3 - Description comparative de quelques hydrogrammes.....	11
3.4 - Premières conclusions découlant des observations.....	14
CHAP. IV - ANALYSE DE QUELQUES CARACTERISTIQUES DU RUISSELLEMENT ET DE L'INFILTRATION.....	15
4.1 - Etude de la pluie d'imbibition préalable P_i	16
4.2 - Etude de l'intensité de ruissellement maximale R_x	16
4.3 - Etude de la détention superficielle D_s	19
4.4 - Quelques remarques concernant l'infiltration.....	21
4.5 - Propagation du ruissellement.....	24
CHAP. V - ETUDE DE LA LAME D'EAU RUISSELEE.....	26
5.1 - Influence des caractéristiques de l'averse.....	26
5.2 - Influence de l'état d'humectation initial, du traitement et de la pente.....	27
5.3 - Conclusions sur l'étude de la lame ruisselée.....	28
5.4 - Remarques concernant les coefficients de ruissellement	29
CONCLUSIONS.....	30
BIBLIOGRAPHIE	32

I N T R O D U C T I O N

Lors de la synthèse des résultats des expérimentations sur les parcelles d'érosion d'Adiopodoumé soumises aux pluies naturelles depuis 1956 (1), il était apparu que sur sol nu l'érosion allait croissant de façon plus que proportionnelle à la pente tandis que le ruissellement diminuait avec cette même pente. Ce dernier résultat paraissant à priori surprenant, il avait été décidé d'approfondir le problème en adaptant ces mêmes parcelles aux conditions d'emploi d'un simulateur de pluie et en comparant sous averses naturelles et simulées les phénomènes d'érosion sur trois pentes et différents pourcentages de couverture du sol par la culture d'ananas.

Cette étude intéressant certains organismes à vocation agricole, les modalités d'une convention ont été définies concernant "l'étude du ruissellement, de l'érosion et de la lixiviation en fonction du mode d'utilisation des résidus de la culture d'ananas". (2). Dans le cadre de cette étude, les laboratoires d'hydrologie et de pédologie du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé ont été conduits à effectuer un certain nombre d'essais de pluies simulées pour observer expérimentalement les réactions des différentes parcelles.

La plupart des mesures effectuées lors de ces essais sont actuellement encore en cours de dépouillement, mais étant donné que des travaux de terrain similaires doivent être entrepris par l'ORSTOM dans un avenir proche, il nous a paru nécessaire de fournir sans plus attendre les résultats partiels relatifs au ruissellement et d'exposer succinctement quelques idées générales susceptibles de guider les recherches ultérieures et de rentabiliser l'emploi du simulateur de pluie.

Le présent rapport concernant le ruissellement constitue donc le premier volet de l'étude complète. Il sera suivi d'une deuxième partie couvrant les charges solides et solubles et d'une troisième concernant les liaisons entre humidité du sol, infiltration et ruissellement. Ajoutons qu'une étude annexe sur lames minces a été entreprise dans le but de mieux connaître la configuration des pellicules de battance et la restructuration de la zone sous-jacente du sol

(1), (2). Confert bibliographie en fin de rapport.

Les travaux, tant de terrain que d'interprétation ont été effectués en équipe.

- Pour le ruissellement : LAFFORGUE et NAAH
- Pour les charges solides : ROOSE et DIALLO
- Pour l'humidité des sols : BOIS et LAFFORGUE
- Mise en oeuvre du simulateur : ASSELINE
- Etude de la pellicule de battance : de BLIC

Participèrent en outre aux mesures de terrain :

- Georges Mbo BECHO et Josué SAGOU, techniciens en pédologie.
- Tiekoura SANOU, technicien hydrologue
- Traore GUEYE, Yao DIBI et Benoît TIEMOKO, techniciens au laboratoire des radio-isotopes.

C H A P I T R E I .

DEFINITION DU CADRE DE L'ETUDE.

DESCRIPTION SOMMAIRE DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL.

Les essais de pluies simulées ont été poursuivis tout au long des mois d'Octobre et Novembre 1975 sur les terrains d'expérimentation du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé dont les sols ferrallitiques sableux sont très homogènes et possèdent des caractéristiques pédologiques bien connues (1) et (3). Ces essais ont porté sur 3 parcelles témoins en sol nu et sur 9 parcelles aménagées en culture d'ananas depuis le mois d'Avril 1975 et plantées à plat à raison de 280 pieds par parcelle de 50 m². Ces douze parcelles ont été observées au point de vue ruissellement et érosion pendant toute la période de croissance des plants en régime de précipitations naturelles.

Un des buts principaux étant de tester l'influence des modes d'utilisation des résidus de culture et des techniques de préparation du terrain qui leur sont liées, les traitements retenus pour les parcelles cultivées ont été les suivants :

- Résidus de culture broyés et enfouis par labour, traitement classique des grandes surfaces en culture mécanisée. (4)
- Résidus de culture brûlés puis labour, traitement utilisé par les planteurs ne disposant pas de gros moyens mécaniques.
- Résidus de culture laissés en surface (mulch avec travail minimum du sol).

Quant aux sols nus, ils ont reçu le traitement classique du protocole de WISCHMEIER : labour sur 10 cm de profondeur et ratissage soigneux juste avant le premier essai de la série.

On trouvera à la fin du chapitre un tableau donnant les pourcentages des superficies de chaque parcelle occupés par le couvert végétal (ananas et résidus) avant et après la série d'essais.

Afin de tester également l'influence de la pente du terrain, chacun des quatre traitements a été mis en place sur trois pentes différentes : 4 %, 7 %, et 20 %.

Les parcelles de 5 mètres de largeur sur 10 mètres de longueur dans le sens de la pente sont limitées latéralement et à leur partie amont par des bordures en tôle de 20 cm de hauteur enfoncées de 10 cm

(1), (3), et (4) : Confert bibliographie.

dans le sol. A leur partie aval, un canal récepteur couvert draine les eaux de ruissellement vers un dispositif de mesure des débits solides et liquides. Pour achever la description, ajoutons que les parcelles ont été groupées par couples de façon à permettre l'arrosage simultané de deux d'entre-elles au cours d'un même essai. Enfin, couples et parcelles ont reçu des numéros de référence selon le tableau ci-dessous :

	PENTE	4 %		7 %		20 %	
TRAITEMENT	PARCELLE	COUPLE	PARCELLE	COUPLE	PARCELLE	COUPLE	
Sol nu	E 2	ADE 11	E 5	ADE 13	E 9	ADE 15	
Brûlis	E 1		E 6		E 10		
Résidus enfouis	E 3	ADE 12	E 7	ADE 14	E 11	ADE 16	
Mulch	E 4		E 8		E 12		

Quant aux dispositifs de mesure, ils se composent des appareillages suivants :

1) Le simulateur de pluie proprement dit qui a été construit pour pouvoir arroser de façon homogène une surface circulaire de 200 m², différentes vannes permettant de régler et de maintenir la pression et le débit d'admission de manière à obtenir des intensités d'arrosage constantes voisines de 30, 60, 90 et 120 mm/H. L'appareil a d'autre part été conçu pour que le diamètre moyen ainsi que l'énergie cinétique moyenne des gouttes de pluie soient voisins de ceux que l'on rencontre dans les pluies naturelles pour les intensités de 60 mm/H. et de 120 mm/H.

2) Un dispositif de contrôle de la hauteur totale de l'averse comprenant deux pluviomètres linéaires de 2 000 cm² de surface réceptrice. Ce dispositif permet de connaître avec précision les intensités réelles des averses délivrées.

3) Un dispositif comprenant une cuve réceptrice calibrée et un limnigraphe à grande vitesse d'avancement permettant d'enregistrer les volumes de ruissellement cumulés avec une excellente précision puisqu'il est possible d'apprécier les temps à 5 secondes près et les lames d'eau ruisselées à 0,05 mm. près, ce qui entraîne une précision moyenne de l'ordre de 1 % sur la détermination des débits.

4) Un dispositif de mesure neutronique d'humidité des sols grâce auquel il est possible de suivre l'évolution du stock hydrique sur un profil de chaque parcelle non seulement après mais également pendant chaque averse.

5) Un anémomètre totalisateur relevé à intervalles de temps réguliers en cours d'essais dans le but de déceler une éventuelle influence du vent sur la dispersion des mesures pluviométriques.

6) Des dispositifs de repérage des distances sur les bordures latérales des parcelles. Ils ont permis de suivre à l'aide d'un colorant la vitesse d'avancement de la lame d'eau ruisselée pour différentes pentes et différentes intensités

7) Un pluviographe à augets basculants, au centre du champ d'expérimentation, a enregistré toutes les averses naturelles qui ont pu se produire en dehors des essais proprement dits.

Couverture végétale au sol des parcelles ADE, en % de la superficie de chaque parcelle :

Mesures du 2-10-75

N° Parcelle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
- Ananas	60	0	65	79	0	66	70	75	0	62	65	75
- Résidus	7	0	5	19	0	8	7	25	0	1	6	29
Total	67	0	70	98	0	74	77	100	0	63	71	100

Mesures du 5-1-76

- Ananas	87	0	84	94	0	88	90	93	0	90	89	96
- Résidus	0	0	1	6	0	2	0	7	0	1	2	4
Total	87	0	85	100	0	90	90	100	0	91	91	100

Interpolation au 30-11-75

Total	80	0	80	99	0	85	86	100	0	82	84	100
-------	----	---	----	----	---	----	----	-----	---	----	----	-----

C H A P I T R E I I .

CHOIX DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Pour un type de sol homogène de profil structural invariable, limité par un contour topographique défini et pour un état donné de sa couverture végétale, on s'accorde à penser que les principaux paramètres susceptibles d'intervenir sur les quantités d'eaux ruisselées et leur répartition dans le temps sont l'état d'humectation initial du sol, la hauteur totale de l'averse et son intensité.

Un protocole de mesures théoriquement satisfaisant devrait donc comprendre un nombre d'essais suffisant pour permettre l'étude du rôle de chacun des trois paramètres indépendamment des deux autres. on serait ainsi amené à définir des états différents d'humectation préalable, par exemple un état très humide, un second très sec et un troisième intermédiaire, à appliquer pour chacun de ces états la gamme des quatre intensités dont on dispose et, dans chacune de ces douze situations, à faire varier la hauteur des averses. On voit que cette façon de procéder conduirait à un minimum de 36 averses par couple de parcelles, ce qui, dans le cas présent, représenterait un total de 216 averses difficilement envisageable.

Heureusement, comme nous le montrerons plus loin, on peut se dispenser en pratique de faire varier les hauteurs d'averse pour étudier l'influence de ces dernières sur le ruissellement, une seule averse de longue durée étant suffisante. D'autre part, dans le cas du mulch et des résidus enfouis, l'intensité de 30 mm/H correspond comme nous le verrons à un régime d'infiltration totale pour lequel on n'observe aucun ruissellement et cette remarque doit permettre de réduire le nombre des essais. Enfin, il convient également de noter qu'à l'époque où ont été réalisés les travaux de terrain nous nous trouvions au coeur de la petite saison des pluies et que l'interférence des précipitations naturelles parasites était inévitable à moins d'abriter les parcelles en dehors des essais. Cette solution aurait pu être théoriquement adoptée car nous l'avions déjà testée avec succès lors de précédents essais sur les bassins versants de Sakassou. Mais en pratique nous ne disposons pas de matériel en quantité suffisante et d'autre part le procédé n'aurait pas été sans inconvénient pour la culture d'ananas.

Dans ces conditions il devenait illusoire de chercher à mettre en oeuvre un protocole rigide, identique pour toutes les parcelles et nous avons été conduits à adopter deux protocoles souples et économiques, assez différents selon que nous avons affaire aux couples sol nu/résidus brûlés qui ruissellent le mieux ou aux couples résidus mulch/résidus enfouis qui sont très perméables.

GROUPE SOL NU/RESIDUS BRULES - Pour l'intensité de 60 mm/H nous nous sommes placés dans les conditions les plus variées possibles d'humectation préalable compatibles avec la cadence des précipitations naturelles et les délais de rotation du dispositif de mesure de parcelle à parcelle. Pour l'intensité de 120 mm/H nous nous sommes contentés de 3 essais (sol sec, sol très humide et un cas intermédiaire) et pour l'intensité de 90 mm/H de deux seulement (conditions d'humectation proches des deux extrêmes). En fin de protocole a été ajouté un essai à intensité de 30 mm/H pour des conditions d'humectation initiales très élevées ce qui a conduit finalement à un total de 12 essais par couple de parcelles, exception faite du couple ADE 11 qui, ayant servi de test pour le protocole, a reçu une averse supplémentaire à 60 mm/H.

GROUPE RESIDUS MULCH/RESIDUS ENFOUIS - Les parcelles correspondantes ruisselant très peu sous 60 mm/H et pratiquement pas sous 30 mm/H, nous avons réduit à six le nombre des averses simulées : trois à 60 mm/H, deux à 90 mm/H et une seule à 120 mm/H pour une très forte humectation initiale.

Dans les tableaux numérotés de I à VI qui suivent, nous avons reproduit la liste des averses appliquées respectivement aux différents couples en précisant toutes leurs caractéristiques utiles :

- Colonne 1 des tableaux : numéro d'ordre chronologique de l'averse, précédé de la lettre N lorsqu'il s'agit d'une précipitation naturelle.
- Colonne 2 : Code de référence de l'averse simulée.
- Colonne 3 : Date de l'averse.
- Colonne 4 : Heure du début de l'averse
- Colonne 5 : Hauteur totale P_u de l'averse en millimètres obtenue en faisant la moyenne des quantités relevées aux deux pluviomètres linéaires. Compte tenu du fait que les intensités délivrées sont toujours supérieures à 30 mm/H, toutes les pluies simulées sont susceptibles théoriquement de donner lieu à du ruissellement, c'est pourquoi nous désignons les hauteurs totales d'averses par le symbole P_u qu'il est d'usage de réserver en hydrologie analytique à la pluie dite "utile".
- Colonne 6 : Intensité moyenne I_m de l'averse exprimée en mm/H et obtenue en faisant le rapport de la hauteur totale à la durée totale.
- Colonne 7 : Durée totale utile de l'averse t_u .
- Colonne 8 et 11 : Durée t_e de la pluie efficace, c'est-à-dire de la partie de l'averse qui a donné lieu à du ruissellement.
- Colonne 9 et 12 : Hauteur de pluie efficace P_e en millimètres et calculé par $P_e = I_m \cdot t_e$.
- Colonne 10 et 13 : Hauteur de la pluie d'imbibition P_i en millimètres ($P_i = P_u - P_e$).
- Colonne 14 : Erreur à craindre ΔI_m sur la détermination de l'intensité moyenne de l'averse : P_1 et P_2 étant les hauteurs de pluies mesurées aux deux pluviomètres linéaires, on a calculé

$$\Delta I_m \text{ par } \Delta I_m = \frac{(P_1 - P_2)}{2 t_u}.$$

- Colonne 15 : Erreur relative à craindre $\frac{\Delta I_m}{I_m}$ sur la détermination de I_m (et de P). Il est à remarquer que cette erreur est rarement supérieure à 2 %.

Avant de clore le chapitre il convient de noter que si l'on calcule les totaux de précipitations naturelles et simulées mesurées pendant les périodes d'essais, totaux reportés dans le tableau ci-dessous, on constate qu'ils correspondent à des séquences pluvieuses très vraisemblables, et susceptibles de se produire dans la réalité au coeur de la première saison des pluies.

PARCELLES	TOTAL OCTOBRE	TOTAL NOVEMBRE	TOTAL (2 MOIS)
ADE 11	405,1 mm	528,9 mm	934 mm
ADE 12	423,1 mm	214,8 mm	637,9 mm
ADE 13	443,0 mm	481,7 mm	924,7 mm
ADE 14	418,7 mm	195,6 mm	614,3 mm
ADE 15	409,5 mm	473,7 mm	883,2 mm
ADE 16	409,7 mm	200,0 mm	609,7 mm

Les chiffres de ce tableau peuvent être comparés aux pluviométries moyennes enregistrées à la station météorologique ORSTOM d'Adiopodoumé pour les deux mois les plus arrosés de l'année : moyenne de mai: 277 mm et moyenne de juin: 647 mm, soit 924 mm pour la somme des moyennes de ces deux mois.

TABLEAU I - CARACTÉRISTIQUES DES AVERSES SUR LE COUPLE ADE 11

N°	REFERENCE	DATE	Heure début pluie	Pu (mm)	Im (mm/H)	tu (mn)	PARCELLE 1			PARCELLE 2			ΔIm (mm/H)	$\Delta Im / Im$
							te	Pe (mm)	Pu-Pe (mm)	te	Pe (mm)	Pu-Pe (mm)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
N 1		26- 9-75		34,0										
1	ADE 111	8-10-75	10H09	125,9	64,3	117'51"	107'51"	115,6	10,3	106'17"	113,9	12		
N 2		8-10-75	12H07	23,1		90								
2	ADE 211	9-10-75	9H37	64,0	64,0	60	55'10"	58,8	5,2	57'16"	61,1	2,9	0,65	0,010
3	ADE 311	9-10-75	11H45	63,7	63,7	60	54'58"	58,4	5,3	57'58"	61,5	2,2	0,0	0,00
4	ADE 411	9-10-75	15H36	63,9	63,9	60	54'30"	58,1	5,8	57'55"	61,7	2,2	0,7	0,011
N 3		19-10-75	3H00	10,0										
N 4		20-10-75	3H00	47,5										
N 5		27-10-75	2H00	7,0										
N 6		2-11-75	12H00	25,7										
5	ADE 611	4-11-75	15H00	61,1	61,1	60	51'00"	52,0	9,1	56'11"	57,2	3,9	1,1	0,018
6	ADE 711 a	5-11-75	8H33	30,4	60,7	30	22'52"	23,1	7,3	27'53"	28,2	2,2	0,7	0,011
7	ADE 711 b	5-11-75	9H35	29,8	59,6	30	25'15"	25,1	4,7	28'25"	28,2	1,6	0,4	0,007
N 7		9-11-75	6H00	30,0										
N 8		10-11-75	23H00	2,5										
N 9		16-11-75	17H00	11,5										
N10		18-11-75	20H00	9,5										
8	ADE 811 a	21-11-75	11H08	59,9	89,8	40	33'55"	50,8	9,1	37'33"	56,2	3,7	0,15	0,002
9	ADE 811 b	21-11-75	13H57	62,0	124,0	30	26'26"	54,6	7,4	28'57"	59,8	2,2	0,25	0,002
N11		24-11-75	18H00	3,1										
10	ADE 911 a	26-11-75	15H00	60,1	120,2	30	25'16"	40,6	9,5	28'22"	56,8	3,3	0,2	0,002
N12		27-11-75	1H00	15,5										
11	ADE 911 b	27-11-75	10H07	60,3	120,6	30	26'26"	53,1	7,2	28'56"	58,2	2,1	0,8	0,007
12	ADE 911 c	27-11-75	11H15	33,9	33,9	60	51'52"	28,7	5,2	57'49"	32,7	1,2	0,2	0,006
13	ADE 911 d	27-11-75	14H45	59,3	88,9	40	35'47"	53,1	6,2	38'53"	57,6	1,7	2,4	0,027

TABLEAU II - CARACTÉRISTIQUES DES AVERSES SUR LE COUPLE ADE 12

N°	REFERENCE	DATE	HEURE DEBUT PLUIE	Pu (mm)	Im (mm/H)	tu (mn)	PARCELLE 3			PARCELLE 4			ΔIm (mm/H)	$\Delta Im/Im$
							te	Pe (mm)	Pu-Pe (mm)	te	Pe (mm)	Pu-Pe (mm)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
N 2		8-10-75	12H00	23,1										
1	ADE 112	8-10-75	16H00	125,8	62,9	120	101'49"	107,8	18	0	0	-	1,3	0,020
2	ADE 212	10-10-75	9H10	63,9	63,9	60	51'57"	55,3	8,6	0	0	-	0,4	0,006
3	ADE 312	10-10-75	11H13	62,0	62,0	60	54'28"	56,3	5,7	0	0	-	0,7	0,011
4	ADE 412	10-10-75	15H12	90,8	90,8	60	57'24"	86,9	3,9	0	0	-		
N 3		19-10-75	3H00	10,0										
N 4		25-10-75	3H00	47,5										
N 5		27-10-75	2H00	7,0										
N 6		2-11-75	12H00	25,7										
N 7		9-11-75	6H00	30,0										
N 8		10-11-75	23H00	2,5										
5	ADE 812 a	14-11-75	8H41	58,8	88,2	40	33'57"	49,9	8,9	0	0	-	1,6	0,018
6	ADE 812 b	14-11-75	11H21	58,2	116,4	30	27'17"	52,9	5,3	18'29"	35,9	22,3	1,4	0,012

TABLEAU III - CARACTÉRISTIQUES DES AVERSES SUR LE COUPLE ADE 13

N°	REFERENCE	DATE	HEURE DEBUT PLUIE	Pu (mm)	Im (mm/H)	tu (mm)	PARCELLE 5			PARCELLE 6			Im (mm/H)	Im/Im
							te	Pe (mm)	Pu-Pe (mm)	te	Pe (mm)	Pu-Pe (mm)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
N 1		26- 9-75		34,0										
N 2		8-10-75		23,1										
1	ADE 113	13-10-75	11H09'	130,0	65	120	96'24"	104,4	25,6	105'21"	114,1	15,9		
2	ADE 213	14-10-75	9H00	69,4	69,4	60	58'29"	67,6	1,8	55'13"	63,9	5,5	0,7	0,010
3	ADE 313	14-10-75	11H00	67,9	67,9	60	58'50"	66,6	1,3	57'10"	64,7	3,2	0,1	0,001
4	ADE 413	14-10-75	15H00	88,1	88,1	60	58'57"	86,6	1,54	56'56"	83,6	4,5	1	0,011
N 3		19-10-75	3H00	10,0										
N 4		20-10-75	3H00	47,5										
N 5		27-10-75	2H00	7,0										
N 6		2-11-75	12H00	25,7										
5	ADE 613	3-11-75	15H00	62,1	62,1	60	56'41"	58,7	3,4	52'39"	54,5	7,6	1,3	0,021
6	ADE 713 a	6-11-75	8H32	30,8	61,6	30	28'21"	29,1	1,7	25'47"	26,5	4,3	0,2	0,003
7	ADE 713 b	6-11-75	9H34	30,0	60,0	30	28'50"	28,8	1,2	27'20"	27,3	2,7	0,0	0,00
N 7		9-11-75	6H00	30,0										
N 8		10-11-75	23H00	2,5										
N 9		15-11-75	17H00	11,5										
N10		18-11-75	20H00	9,5										
8	ADE 813 a	19-11-75	11H05	61,1	91,7	40	38'42"	59,1	2	36'21"	55,6	5,5	0,8	0,009
9	ADE 813 b	19-11-75	11H10	59,7	119,3	30	29'11"	58,0	1,7	27'49"	55,3	4,4	0,3	0,0025
10	ADE 913 a	24-11-75	15H02	61,4	122,8	30	28'27"	58,2	3,2	26'26"	54,1	7,3	0,3	0,002
N11		24-11-75	18H00	3,1										
11	ADE 913 b	25-11-75	8H50	61,5	122,9	30	29'08"	59,7	1,8	27'47"	56,9	4,6	0,6	0,005
12	ADE 913 c	25-11-75	9H53	32,8	32,8	60	58'23"	31,9	0,9	53'49"	29,4	3,4	0,75	0,023

TABLEAU IV - CARACTÉRISTIQUES DES AVERSES SUR LE COUPLE ADE 14

N°	REFERENCE	DATE	HEURE DEBUT PLUIE	Pu (mm)	Im (mm/H)	tu (mn)	PARCELLE 7			PARCELLE 8			ΔIm (mm/H)	$\Delta Im / Im$
							te	Pe (mm)	Pu-Pe (mm)	te	Pe (mm)	Pu-Pe (mm)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
N 2		8-10-75	12H00	23,1										
1	ADE 114	16-10-75	10H20	124,6	62,3	120	115'28"	119,9	4,7	0	0	-	1,25	0,020
2	ADE 214	17-10-75	8H40	59,0	59,0	60	55'15"	54,3	4,7	0	0	-	0,3	0,005
3	ADE 314	17-10-75	10H47	60,7	60,7	60	56'36"	57,3	3,4	0	0	-	1,9	0,031
4	ADE 414	17-10-75	14H55	93,8	93,8	60	57'15"	89,5	4,3	0	0	-	2,25	0,024
N 3		10-10-75	3H00	10,0										
N 4		20-10-75	3H00	47,5										
N 5		27-10-75	2H00	7,0										
N 6		2-11-75	12H00	25,7										
N 7		9-11-75	6H00	30,0										
N 8		10-11-75	23H00	2,5										
N 9		16-11-75	17H00	11,5										
5	ADE 814 a	17-11-75	12H15	55,4	83,1	40	37'11"	51,5	3,9	0	0	-	-	-
6	ADE 814 b	17-11-75	14H55	57,9	115,8	30	27'35"	53,2	4,7	14'55"	28,8	29,1	1,2	0,010

TABLEAU V - CARACTÉRISTIQUES DES AVERSES SUR LE COUPLE ADE 15

N°	REFERENCE	DATE	HEURE DEBUT PLUIE	Pu (mm)	Im (mm/H)	tu (mn)	PARCELLE 9			PARCELLE 10			Im (mm/H)	Im / Im
							te	Pe (mm)	Pu-Pe (mm)	te	Pe (mm)	Pu-Pe (mm)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
N 3		19-10-75	3H00	10,0										
N 4		20-10-75	3H00	47,5										
N 5		27-10-75	2H00	7,0										
1	ADE 115	27-10-75	10H02	124,4	62,2	120	114'58"	119,2	5,2	116'08"	120,4	4,0		
2	ADE 215	28-10-75	9H05	62,0	62,0	60	58'27"	60,4	1,6	56'30"	58,4	3,6	0,23	0,004
3	ADE 315	28-10-75	11H05	62,8	62,8	60	58'32"	61,3	1,5	58'19"	61,0	1,8	0,80	0,013
4	ADE 415	28-10-75	15H00	89,7	89,7	60	58'55"	88,1	1,6	57'53"	86,5	3,2	0,45	0,005
N 6		2-11-75	12H00	25,7										
5	ADE 615	6-11-75	15H00	60,9	60,9	60	54'02"	54,8	6,1	54'07"	54,9	6,0	0,1	0,002
6	ADE 715 a	7-11-75	8H30	30,8	61,6	30	27'45"	28,5	2,3	26'34"	27,3	3,5	0,2	0,003
7	ADE 715 b	7-11-75	9H31	30,0	60,0	30	28'39"	28,7	1,3	28'00	28,0	2,0	0	0
N 7		9-11-75	6H00	30,0										
N 8		10-11-75	23H00	2,5										
N 9		16-11-75	17H00	11,5										
N 10		18-11-75	20H00	9,5										
8	ADE 815 a	20-11-75	11H10	59,3	89	40	37'21"	55,4	3,9	37'23"	55,45	3,85	1,05	0,012
9	ADE 815 b	20-11-75	13H50	58,1	116,2	30	28'53"	55,9	2,2	28'27"	55,1	3,0	2,35	0,020
N 11		21-11-75	18H00	3,1										
10	ADE 915 a	25-11-75	15H00	59,8	119,6	30	27'55"	55,6	4,2	28'11"	56,2	3,6	1,6	0,013
11	ADE 915 b	26-11-75	8H40	57,8	115,6	30	28'41"	55,3	2,5	28'20"	54,6	3,2	1,15	0,010
12	ADE 915 c	26-11-75	9H40	32,9	32,9	60	57'19"	31,4	1,5	55'47"	30,6	2,3	0,4	0,012

TABLEAU VI - CARACTÉRISTIQUES DES AVERSES SUR LE COUPLE ADE 16

N°	REFERENCE	DATE	HEURE DEBUT PLUIE	Pu (mm)	Im (mm/H)	tu (mn)	PARCELLE 11			PARCELLE 12			ΔIm (mm/H)	$\Delta Im / Im$
							te	Pe (mm)	Pu-Pe (mm)	te	Pe (mm)	Pu-Pe (mm)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
N 3		19-10-75	3H00	10,0										
N 4		20-10-75	3H00	47,5										
N 5		27-10-75	2H00	7,0										
1	ADE 116	29-10-75	11H17'	119,6	59,8	120	107'50"	107,5	12,1	101'31"	101,2	18,4	2,85	0,048
2	ADE 216	30-10-75	9H04'	59,6	59,6	60	54'43"	54,4	5,2	43'	42,7	16,9	0,35	0,006
3	ADE 316	30-10-75	11H04'	61,1	61,1	60	57'16"	58,3	2,8	50'20"	51,3	9,8	0,55	0,009
4	ADE 416	30-10-75	15H00	88,8	88,8	60	57'35"	85,2	3,6	52'55"	78,3	10,5	2,2	0,025
N 6		2-11-75	12H00	25,7										
N 7		9-11-75	6H00	30,0										
N 8		10-11-75	23H00	2,5										
N 9		16-11-75	17H00	11,5										
5	ADE 816 a	18-11-75	11H05	57,1	85,7	40	36'39"	52,3	4,8	35'40"	50,9	6,2	1,8	0,021
6	ADE 816 b	18-11-75	13H50	58,8	117,6	30	28'44"	56,3	2,5	27'06"	53,1	5,7	3,65	0,031

C H A P I T R E I I I

LES DONNEES D'OBSERVATION

Après dépouillement des enregistrements limnigraphiques, on dispose pour chaque essai de deux hydrogrammes de ruissellement dont l'aspect est généralement celui de l'hydrogramme théorique reproduit sur la figure 1 ci-après. Ces hydrogrammes constituant le point de départ unique de tous les développements qui vont suivre, il convient dès à présent d'en donner une description d'ensemble puis de définir les caractéristiques intéressantes qui peuvent en être extraites plus ou moins directement en précisant les symboles utilisés ainsi que les unités retenues.

3.1. DESCRIPTION GENERALE DES PROCESSUS DE RUISSELLEMENT

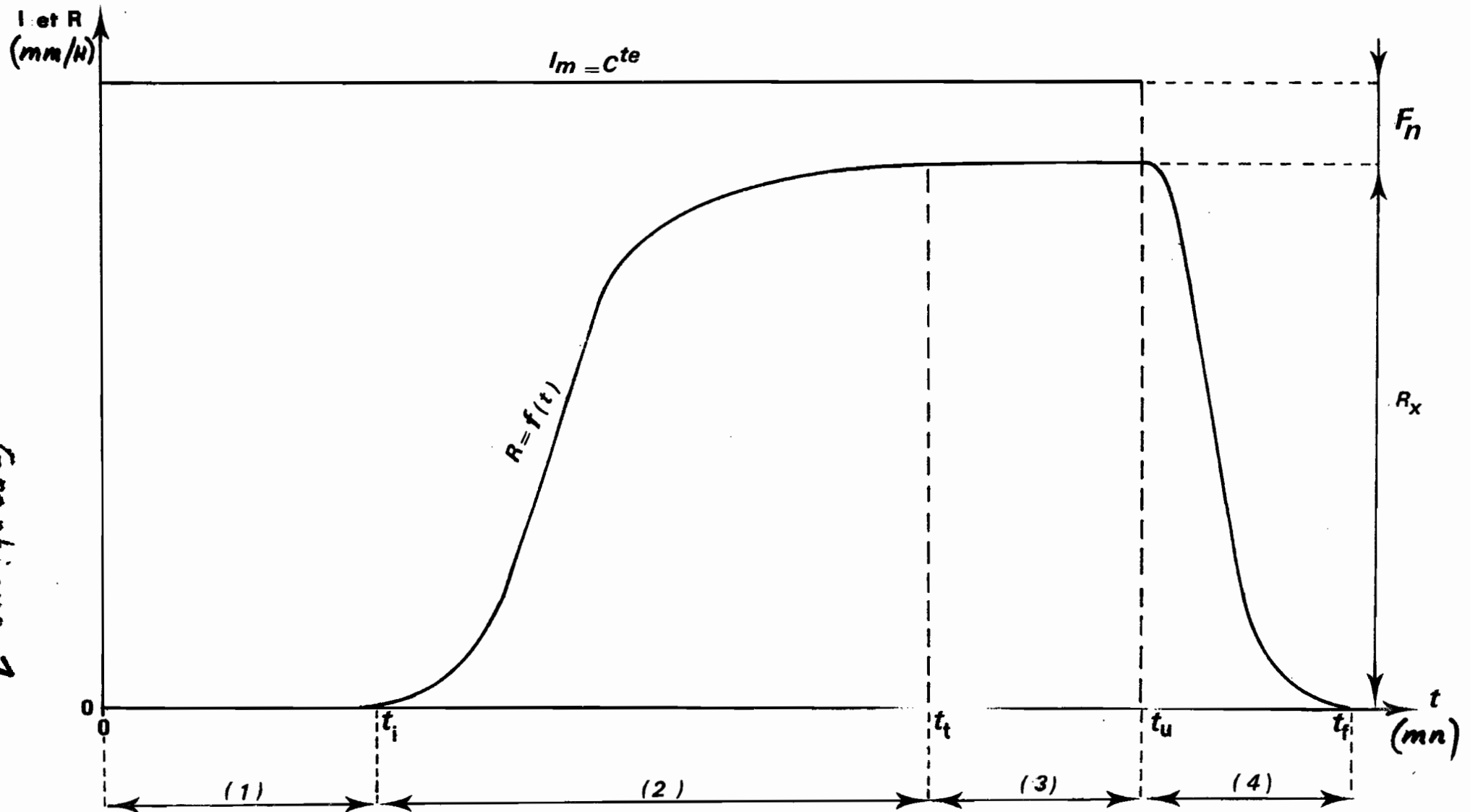
La figure 1 est la traduction graphique de ce processus, le temps a été porté en abscisse avec pour origine l'instant correspondant au début de la pluie. L'unité de temps adoptée est en pratique la minute. En ordonnée sont portées les intensités de précipitation I , de ruissellement R et d'infiltration F , l'unité commune utilisée en pratique étant le millimètre par heure.

Sauf incident en cours d'essai tel que chute de pression brutale due à une défaillance de la pompe ou à l'interruption fortuite de l'alimentation en eau, événements heureusement très rares, le hydrogramme de l'averse est représenté par un segment de droite horizontal d'ordonnée I_m déjà définie au chapitre II. Quant à l'hydrogramme de ruissellement, il est constitué dans le cas général par quatre portions de courbes caractéristiques de quatre phases bien individualisées du processus :

1) Du temps 0 au temps t_1 , $R = 0$, on n'observe aucun ruissellement, c'est la phase d'imbibition au début de laquelle la capacité d'infiltration du sol est supérieure à l'intensité de l'averse, l'infiltration est totale. Il arrive cependant un moment où, la capacité d'infiltration ayant décru, l'intensité de l'infiltration effective devient inférieure à celle de la pluie. L'excès d'eau reste alors sur place, à la surface, et sert au remplissage des cuvettes formées par les dépressions du sol. Il y a formation de flaques.

2) La phase d'imbibition s'achève lorsque les premières flaques commencent à déborder. L'eau se met alors en mouvement à la surface du sol et le ruissellement se déclenche. La portion de courbe de l'hydrogramme correspondant à cette phase affecte la forme d'un S aux courbures plus ou moins accentuées et traduit un régime transitoire des écoulements. Pendant cette phase doivent se superposer deux phénomènes : décroissance de l'intensité d'infiltration d'une part et aug-

HYDROGRAMME THEORIQUE DE RUISSELLEMENT SOUS AVERSE D'INTENSITE CONSTANTE



Graphique. 1

mentation du stock d'eau superficiel à la surface de la parcelle d'autre part.

3) A partir d'un temps t_t (fin de régime transitoire) on assiste à l'établissement d'un régime permanent pour l'infiltration et le ruissellement qui se traduit par un palier quasi horizontal se poursuivant sur l'hydrogramme jusqu'au temps t_u (fin de l'averse). Nous désignons habituellement par le symbole R_x la valeur de l'intensité maximale de ruissellement et il lui correspond évidemment une intensité minimale d'infiltration $F_n = I_m - R_x$.

4) Au-delà de l'instant t_u qui marque l'arrêt de la pluie, le ruissellement décroît progressivement pour s'anuller au temps t_f . Il s'agit là de la phase de vidange des réserves superficielles de la parcelle mobilisables pour le ruissellement. Par suite, nous désignerons par le symbole D_s (détention de surface) la lame d'eau, exprimée en millimètres, écoulée sur la parcelle après l'arrêt de l'averse. Mais il convient de remarquer que cette détention superficielle est inférieure à la lame d'eau effectivement en mouvement au temps t_u à la surface du sol car une certaine quantité d'eau a continué à s'infiltrer entre les temps t_u et t_f .

Précisons que dans le présent rapport nous nous attacherons essentiellement à étudier l'aspect global du ruissellement ainsi que les phases 1, 3, et 4 précédemment décrites. L'étude de la phase transitoire, plus complexe, ne sera abordée que dans la troisième partie du rapport général.

3.2. PRESENTATION DES DONNEES DE BASE

Dans les tableaux numérotés de VII à XII qui suivent ont été rassemblés par couple de parcelles les principales données de base découlant de l'examen des hydrogrammes.

- Colonnes 1 à 5 : figurent les principales caractéristiques et références des averses déjà définies au chapitre II.

- Colonnes 6 et 13 : lame ruisselée totale L_r exprimée en millimètres et déterminée soit directement sur les enregistrements limnigraphiques lorsque cela a été possible (pas de vidange de cuve en cours d'essai) soit par planimétrage de la superficie de l'hydrogramme.

- Colonnes 7 et 14 : lame d'eau totale infiltrée L_i exprimée également en millimètres et obtenue par $L_i = P_u - L_r$.

- Colonnes 8 et 15 : coefficient de ruissellement utile K_{ru} qui est également le coefficient de ruissellement global : $K_{ru} = 100 \frac{L_r}{P_u}$.

- Colonnes 9 et 16 : coefficient de ruissellement efficace défini par $K_{re} = 100 \frac{L_r}{P_e}$.

TABLEAU VII - Caractéristiques ruissellement - infiltration (ADE 11)

AVERSE					REACTION PARCELLE 1							REACTION PARCELLE 2						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
N°	REFERENCE	DATE	Pu (mm)	I _m (mm/h)	L _r (mm)	Li (mm)	K _{ru} (%)	K _{re} (%)	D _s (mm)	R _x (mm/h)	F _n (mm/h)	L _r (mm)	Li (mm)	K _{ru} (%)	K _{re} (%)	D _s (mm)	R _x (mm/h)	F _n (mm/h)
N 1		26-9-75	34,0															
1	ADE 11A	8-10-75	125,9	64,3	14,3	11,6	11,3	12,4	0,5	(14)	(50,3)	42,0	83,9	33,4	37,0	0,61	(36,0)	(28,3)
N 2		- 11 -	23,1		0,68	22,4	2,9					7,4	15,7	32,2				
2	ADE 211	9-10-75	64,0	64,0	24,0	40,0	38,0	40,8	1,45	33	31	44,0	20,0	68,75	72,0	0,67	45,0	19,0
3	ADE 311	- 11 -	63,7	63,7	34,4	29,3	54,0	58,9	1,53	40	23,7	45,9	17,8	72,0	74,6	0,72	47,0	16,7
4	ADE 411	- 11 -	63,9	63,9	38,1	25,8	60,0	66,0	1,95	45,5	18,4	46,6	17,3	73,0	76,0	0,75	49,0	14,9
N 3		19-10-75	10,0		(1)	(1)	(1)					(1)	(1)	(1)				
N 4		20-10-75	47,5		1,4	56,1	2,4					15,9	41,6	27,6				
N 5		27-10-75	7,0		0	8,0	0					0	7,0	0				
N 6		2-11-75	25,7		0,7	25,0	2,7					10,7	15,0	41,8				
5	ADE 611	4-11-75	61,1	61,1	12,1	49,0	20,0	23,0	0,80	17,7	43,4	41,3	19,8	68,0	72,0	0,72	45,0	16,1
6	ADE 711 a	5-11-75	30,4	60,7	8,6	21,8	28,0	37,0	1,28	(29,5)	(31,2)	22,5	7,9	74,0	80,0	0,70	48,5	12,2
7	ADE 711 b	- 11 -	29,8	59,6	14,8	15,0	50,0	59,0	1,60	36,0	23,6	23,0	6,8	77,0	82,0	0,75	48,5	11,1
N 7		9-11-75	30,0		5,0	25,0	16,7					28,9	1,1	96,5				
N 8		10-11-75	2,5		0	2,5	0					0	2,5	0				
N 9		16-11-75	11,5		0	11,5	0					3,2	8,3	27,8				
N 10		18-11-75	9,5		0	9,5	0					7,2	2,3	75,8				
8	ADE 811 a	21-11-75	59,9	89,8	15,1	44,8	25,0	30,0	1,06	32,0	57,8	48,3	14,6	91,0	86,0	(1,52)	78,5	11,3
9	ADE 811 b	- 11 -	62,0	124,0	34,4	27,6	55,0	63,0	2,85	(82,0)	(42,0)	53,7	8,3	87,0	90,0	1,5	111,0	13,0
N 11		24-11-75	3,1		0	3,1	0					0	3,1	0				
10	ADE 911 a	26-11-75	60,1	120,2	18,9	41,2	31,0	47,0	(1,85)	(61,5)	(58,7)	48,4	14,7	90,0	85,0	1,37	(106,0)	(18,2)
N 12		27-11-75	15,5		1,6	13,9	10,1					9,0	6,5	52,3				
11	ADE 911 b	- 11 -	60,3	120,6	34,8	25,5	58,0	66,0	3,3	85,0	35,6	51,6	8,7	86,0	89,0	(1,15)	107,3	13,3
12	ADE 911 c	- 11 -	33,9	33,9	15,1	18,8	45,0	53,0	1,25	17,5	16,4	22,8	11,1	67,0	70,0	0,5	24,0	9,9
13	ADE 911 d	- 11 -	59,3	88,9	39,0	20,3	66,0	73,0	3,0	67,0	21,9	51,1	8,2	86,0	89,0	0,88	76,0	12,9

(1) - Les caractéristiques relatives aux averses N3 et N4 ont été prises globalement.

TABLEAU VIII - Caractéristiques de ruissellement-infiltration (ADE 12)

AVERSE					REACTION PARCELLE 3							REACTION PARCELLE 4						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
N°	REFERENCE	DATE	P _a (mm)	I _m (mm/h)	L _r (mm)	L _i (mm)	K _{ru} (%)	K _{re} (%)	D _o (mm)	R _x (mm/h)	F _n (mm/h)	L _r (mm)	L _i (mm)	K _{ru} (%)	K _{re} (%)	D _o (mm)	R _x (mm/h)	F _n (mm/h)
N 2		8-10-75	23,1		1,28	21,8	5,5					1,16	21,9	5,0	(2)	(2)	(2)	(2)
1	ADE 112	-11-	125,8	62,9	1,16	124,6	0,9	1,0	0,025	1,5	61,4	0	125,8	0	0	0	0	62,9
2	ADE 212	10-10-75	63,9	63,9	1,31	62,6	2,1	2,4	0,075	1,7	62,2	0	63,9	0	0	0	0	63,9
3	ADE 312	-11-	62,0	62,0	1,16	60,8	1,9	2,1	0,05	2,0	60,0	0	62,0	0	0	0	0	62,0
4	ADE 412	-11-	90,8	90,8	4,75	86,1	5,2	5,5	0,15	5,0	85,8	0	90,8	0	0	0	0	90,8
N 3		19-10-75	10,0		(1)	(1)	(1)					(1)	(1)	(1)				
N 4		22-10-75	47,5		0,38	57,1	0,66					0,54	57,0	0,94				
N 5		27-10-75	7,0		0	7,0	0					0	7,0	0				
N 6		2-11-75	25,7		0,28	25,4	1,1					0	25,7	0				
N 7		9-11-75	30,0		0,54	29,5	1,8					0,32	29,7	1,1				
N 8		10-11-75	2,5		0	2,5	0					0	2,5	0				
5	ADE 812 a	14-11-75	58,8	88,2	1,04	57,8	1,8	2,1	0,05	2,1	86,1	0	88,2	0	0	0	0	88,2
6	ADE 812 b	-11-	58,2	116,4	2,08	56,1	3,6	3,9	0,125	4,9	111,5	0,35	116,05	0,3	5,8	0,075	1,2	115,2

(1) - Les caractéristiques des averses N3 et N4 ont été prises globalement.

(2) - Le ruissellement mesuré après l'averse N2 (parcelle 4) est probablement dû à un défaut de couverture au niveau des canaux collecteurs de la parcelle.

TABLEAU IX - Caractéristiques de ruissellement - infiltration (ADE 13)

AVERSE					REACTION PARCELLE 5							REACTION PARCELLE 6						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
N°	REFERENCE	DATE	Pu (mm)	Im (mm/h)	Lr (mm)	Li (mm)	Kru (%)	Kre (%)	Ds (mm)	Ra (mm/h)	Fa (mm/h)	Lr (mm)	Li (mm)	Kru (%)	Kre (%)	Ds (mm)	Ra (mm/h)	Fa (mm/h)
N1		26-9-75	34,0															
N2		8-10-75	23,1															
1	ADE 113	13-10-75	130,0	65,0	62,1	67,9	48,0	59,0	0,55	45,0	20,0	4,17	125,8	3,2	3,7	0,125	5,5	59,5
2	ADE 213	14-10-75	69,4	69,4	49,3	22,1	71,0	73,0	0,65	50,7	18,7	15,4	54,0	22,0	24,0	0,385	18,5	50,9
3	ADE 313	-11-	67,9	67,9	50,5	17,4	74,0	76,0	0,63	52,5	15,4	20,7	47,2	30,0	34,0	0,46	23,0	44,9
4	ADE 413	-11-	88,1	88,1	75,0	13,1	85,0	87,0	0,92	(75,0)	(13,1)	38,8	49,3	44,0	44,0	0,92	42,0	46,1
N3		19-10-75	10,0		(1)	(1)	(1)					(1)	(1)	(1)				
N4		20-10-75	47,5		17,6	39,9	30,6					2,54	55,0	4,4				
N5		27-10-75	7,0		0	7,0	0					0	7,0	0				
N6		2-11-75	25,7		13,8	11,9	53,7					1,92	24,5	4,7				
5	ADE 613	5-11-75	62,1	62,1	27,9	34,2	45,0	48,0	0,35	30,0	32,1	8,1	54,0	13,0	15,0	0,23	10,5	51,6
6	ADE 713a	6-11-75	32,8	61,6	18,1	12,7	59,0	62,0	0,53	38,5	23,1	8,5	22,3	28,0	32,0	0,50	20,0	41,6
7	ADE 713b	-11-	32,0	60,0	19,0	11,0	63,0	66,0	0,51	40,0	20,0	10,75	19,25	36,0	39,0	0,60	25,0	35,0
N7		9-11-75	30,0		20,0	10,0	66,7					8,74	21,3	29,1				
N8		10-11-75	2,5		0	2,5	0					0	2,5	0				
N9		16-11-75	11,5		1,9	9,6	16,5					0,08	11,42	0,70				
N10		18-11-75	9,5		5,06	4,4	53,3					0	9,5	0				
8	ADE 813a	19-11-75	61,5	91,7	47,0	44,7	77,0	80,0	1,4	(72,0)	(19,7)	16,4	44,7	27,0	29,0	0,7	28,5	63,2
9	ADE 813b	-11-	59,7	119,3	48,2	11,5	81,0	83,0	1,0	99,0	20,3	28,0	31,7	47,0	51,0	1,5	61,0	58,3
10	ADE 913a	24-11-75	61,4	122,8	37,7	23,7	61,0	65,0	0,8	80,5	42,3	15,6	45,8	25,0	29,0	0,75	30,9	83,9
N11		-11-	3,1		0	3,1	0					0	3,1	0				
11	ADE 913b	25-11-75	61,5	122,9	43,7	17,8	71,0	73,0	1,0	92,0	30,9	26,9	34,6	44,0	47,0	1,33	60,6	62,3
12	ADE 913c	-11-	32,8	32,8	9,75	23,1	30,0	31,0	0,24	11,5	21,3	2,5	39,3	8,0	8,5	0,1	3,0	29,8

(1) - Les caractéristiques relatives aux averses N3 et N4 ont été prises globalement.

TABLEAU X - Caractéristiques de ruissellement-infiltration (ADE 14)

AVERSE					REACTION PARCELLE 7							REACTION PARCELLE 8						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
N°	REFERENCE	DATE	R _i (mm)	I _m (mm/H)	L _r (mm)	L _i (mm)	K _{ru} (%)	K _{re} (%)	D _s (mm)	R _a (mm/H)	F _n (mm/H)	L _r (mm)	L _i (mm)	K _{ru} (%)	K _{re} (%)	D _s (mm)	R _x (mm/H)	F _n (mm/H)
N2		8-10-75	23,1		0,034	23,1	0,15					0	23,1	0				
1	ADE 114	16-10-75	124,6	62,3	1,5	123,1	1,2	1,25	0,075	1,2	61,1	0	124,6	0	0	0	0	62,3
2	ADE 214	17-10-75	59,0	59,0	1,35	57,7	2,3	2,5	0,05	1,5	57,5	0	59,0	0	0	0	0	59,0
3	ADE 314	-11-	60,7	60,7	1,7	59,0	2,3	30,0	0,05	2,5	58,2	0	60,7	0	0	0	0	60,7
4	ADE 414	-11-	93,8	93,8	6,4	87,4	6,8	7,2	0,16	(9,6)	(84,2)	0	93,8	0	0	0	0	93,8
N3		19-10-75	10,0		(1)	(1)	(1)					(1)	(1)	(1)				
N4		20-10-75	47,5		2,0	55,5	3,5					0	57,5	0				
N5		27-10-75	7,0		0	7,0	0					0	7,0	0				
N6		2-11-75	25,7		0,96	24,7	3,7					0	25,7	0				
N7		9-11-75	30,0		1,06	28,9	3,5					0	30,0	0				
N8		10-11-75	2,5		0	2,5	0					0	2,5	0				
N9		16-11-75	11,5		0	11,5	0					0	11,5	0				
5	ADE 8142	17-11-75	55,4	83,1	1,7	53,7	3,0	3,2	0,080	3,2	79,9	0	83,1	0	0	0	0	83,1
6	ADE 8145	-11-	57,9	115,8	3,4	54,5	6,0	6,4	0,175	(8,6)	(104,2)	0,075	57,8	0,1	0,26	0,65	0,3	115,5

(1) - Les caractéristiques relatives aux averses N3 et N4 ont été prises globalement

TABLEAU XI - Caractéristiques de ruissellement-infiltration (ADE 15)

AVERSE					REACTION PARCELLE 9							REACTION PARCELLE 10						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
N°	REFERENCE	DATE	R _u (mm)	I _m (mm/h)	L _r (mm)	L _i (mm)	K _{ru} (%)	K _{re} (%)	D _s (mm)	R _x (mm/h)	F _n (mm/h)	L _r (mm)	L _i (mm)	K _{ru} (%)	K _{re} (%)	D _s (mm)	R _x (mm/h)	F _n (mm/h)
N 3		19-10-75	10,0		(1)	(1)	(1)					(1)	(1)	(1)				
N 4		20-10-75	47,5		6,36	51,1	11,1					0,42	57,1	0,73				
N 5		27-10-75	7,0		0	7,0	0					0	7,0	0				
1	ADE 115	-11-	124,4	62,2	6,1	61,3	50,7	52,9	0,5	39,0	23,2	12,0	112,4	9,6	10,0	0,07	10,0	52,2
2	ADE 215	28-10-75	62,0	62,0	39,7	22,3	64,0	65,7	0,43	40,5	21,5	15,1	46,9	24,4	25,9	0,40	(19,0)	(43,0)
3	ADE 315	-11-	62,8	62,8	40,4	22,4	64,3	65,9	0,6	42,5	20,3	23,5	39,3	37,4	38,5	0,43	25,0	37,8
4	ADE 415	-11-	89,7	89,7	64,9	24,8	72,4	73,7	0,82	65,0	24,7	48,1	41,6	53,6	55,6	0,9	53,0	(36,7)
N 6		2-11-75	25,7		6,8	13,9	26,5					6,0	19,7	23,3				
5	ADE 615	6-11-75	60,9	60,9	23,9	37,0	39,2	43,6	0,32	30,5	30,4	15,6	45,3	25,6	28,4	0,4	20,5	40,4
6	ADE 715a	7-11-75	30,8	61,6	16,0	14,8	51,9	56,1	0,42	36,0	25,6	11,7	19,1	38,0	42,9	0,48	27,7	33,9
7	ADE 715b	-11-	30,0	60,0	17,6	12,4	58,7	61,3	0,5	37,5	22,5	13,8	16,2	46,0	49,3	0,54	30,5	29,5
N 7		9-11-75	30,0		18,3	11,7	61,0					15,9	14,1	53,0				
N 8		10-11-75	2,5		0	2,5	0					0	2,5	0				
N 9		16-11-75	11,5		0,36	11,1	3,1					0	11,5	0				
N 10		18-11-75	9,5		4,8	4,7	50,5					2,2	9,3	19,1				
8	ADE 815a	20-11-75	59,3	89,0	34,3	25,0	57,8	61,9	0,71	60,0	29,0	25,6	33,7	43,2	46,2	0,775	46,5	42,5
9	ADE 815b	-11-	58,1	116,2	39,9	18,2	68,7	71,4	1,4	(88,0)	(18,2)	35,9	22,2	61,8	65,15	1,33	(80,0)	(36,2)
N 11		24-11-75	3,1		0	3,1	0					0	3,1	0				
10	ADE 915a	25-11-75	59,8	119,6	33,2	26,6	55,5	59,7	1,04	79,0	49,6	28,3	31,5	42,3	50,35	1,4	64,5	55,1
11	ADE 915b	26-11-75	57,8	115,6	33,8	19,0	67,1	70,2	1,025	82,5	33,1	37,04	20,8	64,1	67,8	1,5	78,0	37,6
12	ADE 915c	-11-	32,9	32,9	13,4	19,5	40,7	43,7	0,35	16,5	16,4	9,9	23,0	30,1	32,4	0,325	11,0	21,9

(1) - Les caractéristiques relatives aux averses N3 et N4 ont été prises globalement.

TABLEAU XII - Caractéristiques de ruissellement-infiltration (ADE 16)

AVERSE					REACTION PARCELLE 11							REACTION PARCELLE 12						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
N°	REFERENCE	DATE	P _q (mm)	I _m (mm/H)	L _r (mm)	L _i (mm)	K _{ru} (%)	K _{re} (%)	D ₀ (mm)	R _x (mm/H)	F _m (mm/H)	L _r (mm)	L _i (mm)	K _{ru} (%)	K _{re} (%)	D ₀ (mm)	R _x (mm/H)	F _m (mm/H)
N 3		19-10-75	10,0		(1)	(1)	(1)					(1)	(1)	(1)				
N 4		20-10-75	47,5		1,0	56,5	1,7					0,68	56,8	1,18				
N 5		27-10-75	7,0		0	7,0	0					0	7,0	0				
1	ADE 116	29-10-75	119,6	59,8	2,67	116,9	2,23	2,48	0,042	3,2	56,6	0	119,6	0	0	0	0	59,8
2	ADE 216	30-10-75	59,6	59,6	5,43	54,2	9,11	9,98	0,1	7,3	52,3	0,46	59,1	0,77	1,1	0,025	0,75	58,9
3	ADE 316	-11-	61,1	61,1	9,1	52,0	14,9	15,6	0,145	10,5	50,6	1,21	59,9	1,98	2,36	0,05	1,45	59,7
4	ADE 416	-11-	88,8	88,8	23,8	65,0	26,8	27,9	0,375	27,3	61,5	3,375	85,4	3,80	4,31	0,125	4,0	84,8
N 6		2-11-75	25,7		1,0	24,7	3,9					0	25,7	0				
N 7		9-11-75	30,0		3,0	27,0	10,0					0,8	29,2	2,70				
N 8		10-11-75	2,5		0	2,5	0					0	2,5	0				
N 9		16-11-75	11,5		0,8	10,7	6,96					0,34	11,2	2,96				
5	ADE 816 a	18-11-75	57,1	85,7	8,06	49,04	14,1	15,4	0,225	14,3	71,4	1,10	56,0	1,9	2,2	0,05	2,2	83,5
6	ADE 816 b	-11-	58,8	117,6	18,04	40,8	30,7	32,0	0,58	39,0	78,6	3,125	55,7	5,3	5,9	0,170	7,5	110,1

(1) - Les caractéristiques relatives aux averses N3 et N4 ont été prises globalement.

- Colonnes 10 et 17 : Valeur de la détention superficielle D_s obtenue par planimétrage de la dernière portion de courbe de l'hydrogramme ou directement sur l'enregistrement limnigraphique.

- Colonnes 11 et 18 : Intensité de ruissellement maximale R_x . Les valeurs entre parenthèses correspondent à des essais à la fin desquels le palier de ruissellement n'était pas encore atteint ou pour lesquels des fluctuations de débit notoires ont été enregistrées.

- Colonnes 12 et 19 : Intensité minimale d'infiltration, $F_n = I_m - R_x$ avec la même remarque que ci-dessus au sujet des parenthèses.

3.3. DESCRIPTION COMPARATIVE DE QUELQUES HYDROGRAMMES OBSERVES.

Nous avons à étudier 110 hydrogrammes correspondant aux 55 pluies simulées appliquées sur les parcelles. Comme il serait fastidieux de reproduire ici tous les graphiques correspondants, nous nous contenterons de présenter à titre d'exemple les hydrogrammes obtenus sur pente de 4 % au cours de la première série d'expérimentations effectuée sous intensités de 60 mm/H. Les commentaires que nous serons conduits à faire sur le comportement de ces quatre parcelles pourraient être repris à quelques variantes près pour les huit autres.

AVERSE N° 1 (voir graphique 2)

Elle se produit dans des conditions d'humectation initiale très défavorables pour le couple 11 car il n'a pas plu depuis 11 jours à Adiopodoumé. Pour cette raison et en espérant que le régime permanent d'écoulement serait atteint, nous avons choisi de porter à deux heures la durée de cette première averse. Cependant, malgré une hauteur de pluie de 126 mm, les débits étaient toujours légèrement croissants en fin d'essai et un palier net n'a pu être obtenu sur aucune des deux parcelles.

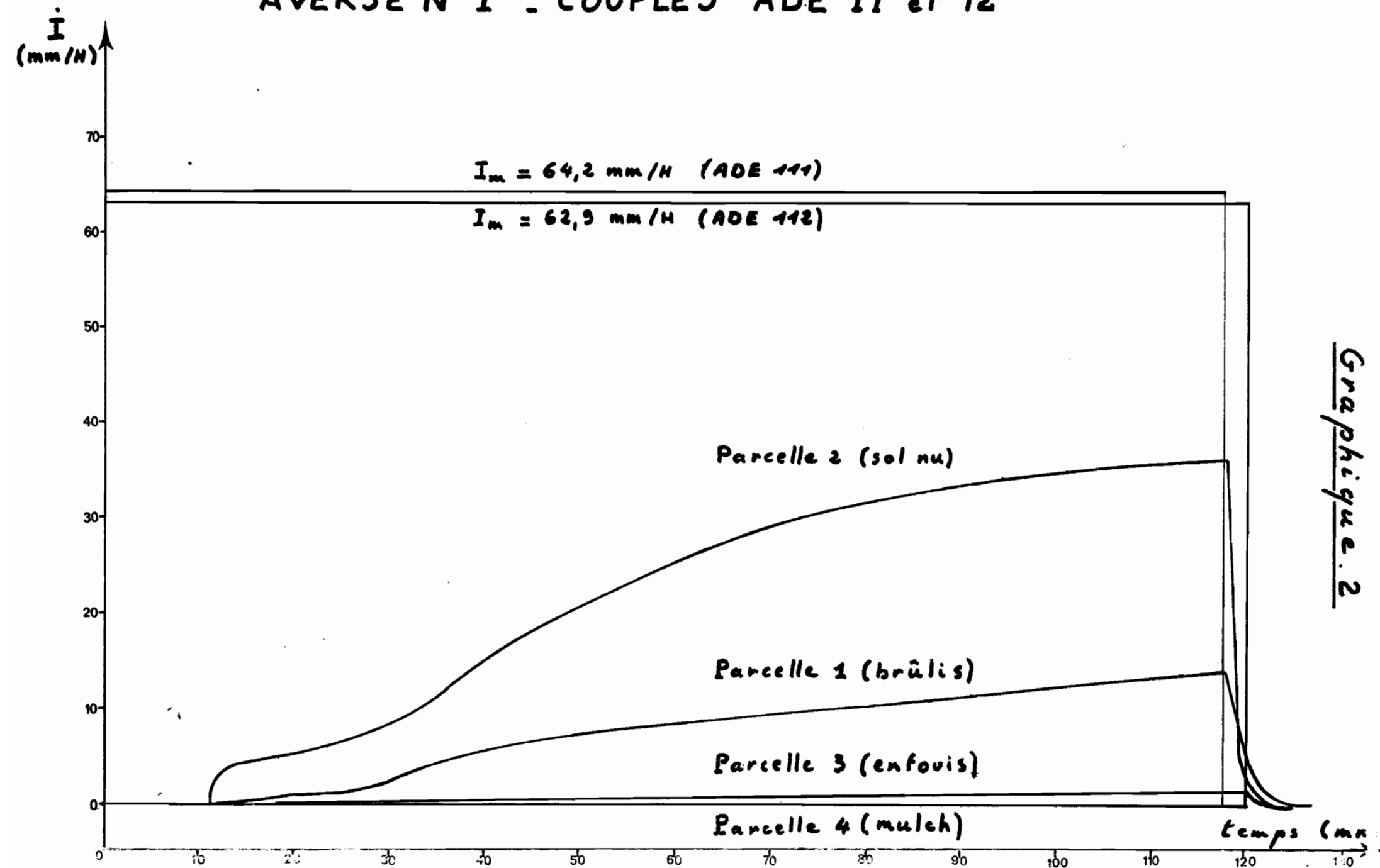
Bien que le sol de la parcelle 2 ait été fraîchement labouré, le ruissellement y débute de façon franche 11 minutes après le début de l'averse alors qu'il n'apparaît réellement qu'au bout de 25 minutes sur la parcelle 1 (brûlis).

Pour le couple ADE 12, la première averse a été appliquée le même jour et, bien que survenant peu de temps après une averse naturelle de 23,1 mm, elle ne donne qu'un écoulement insignifiant de 1,2 mm sur résidus enfouis et aucun écoulement sur mulch. Les sols initialement secs ont donc absorbé au total près de 150 mm de précipitation sans qu'un écoulement sensible se manifeste.

AVERSE N° 2 (voir graphique 3)

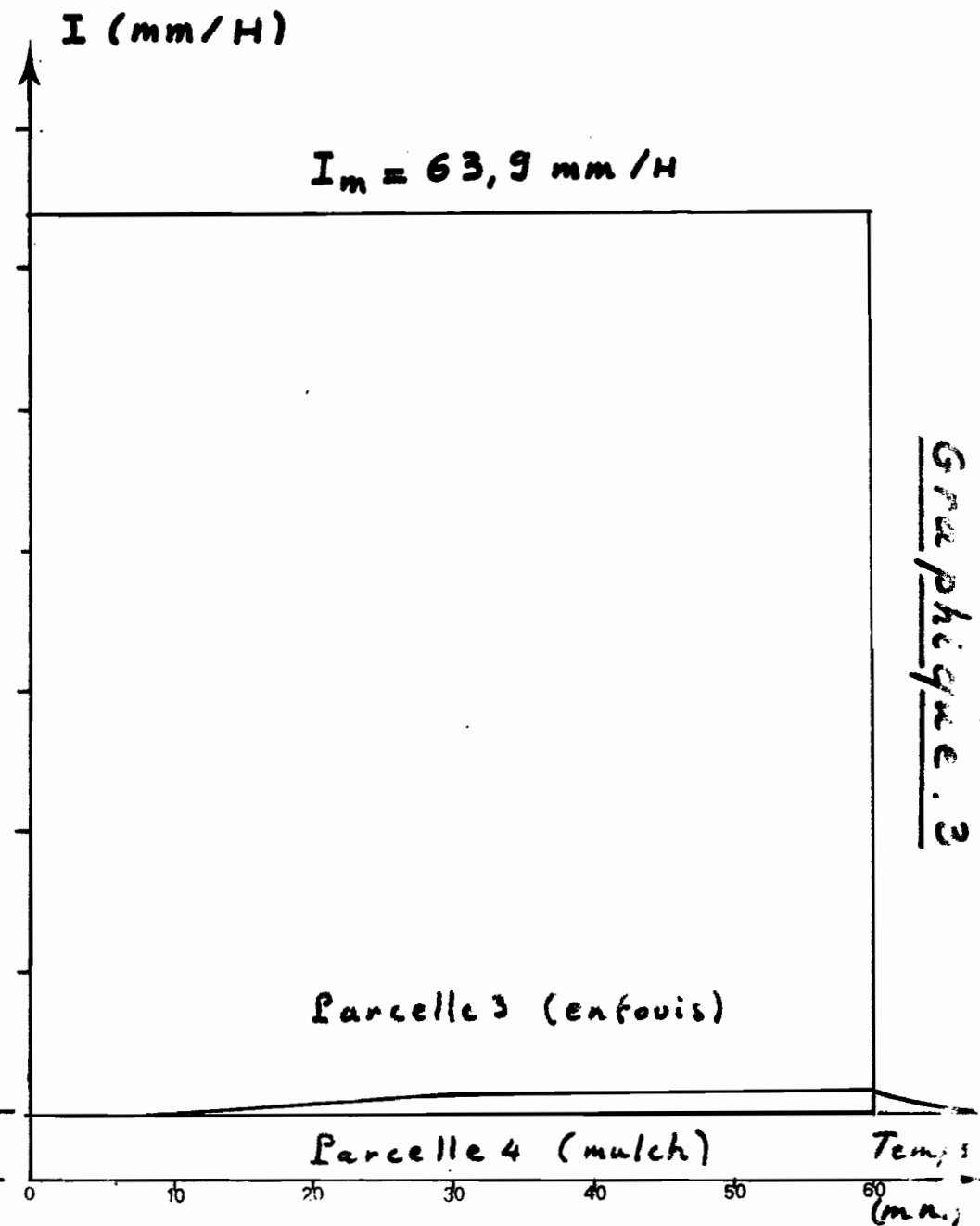
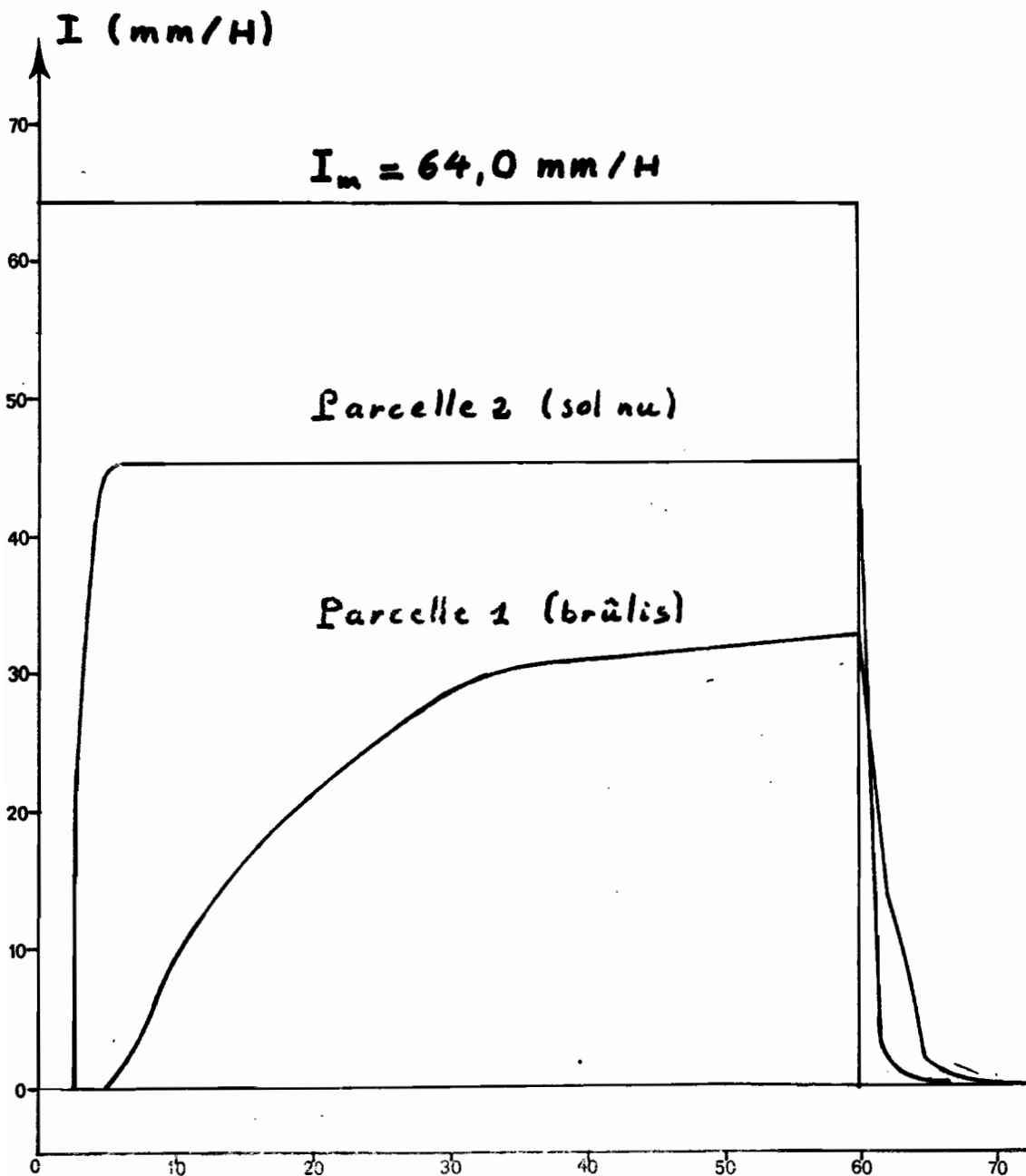
Appliquée sur le couple ADE 11 le lendemain de la première averse, soit après un temps d'arrêt de près de 20 heures, elle atteint des parcelles déjà bien humectées, aussi bien en surface qu'en profondeur. On peut noter en effet que d'après les mesures neutroniques, le front d'humectation a atteint une profondeur d'environ un mètre. D'autre part, l'importante averse de la veille a profondément modifié l'aspect superficiel du sol nu : les traces de labour ont disparu, des fi-

AVERSE N°1 . COUPLES ADE 11 et 12



Graphique 2

AVERSE N°2 . COUPLES ADE 11 et 12



Graphique 3

nes rigoles se sont formées parallèlement à la pente et une pellicule de battance est en formation. Bien que cela n'apparaisse pas à l'oeil nu, il est probable que la zone sous-jacente artificiellement perturbée par le labour s'est restructurée et est parvenue à un état voisin de l'équilibre. Pour ces différentes raisons, les hydrogrammes observés sont très différents de ceux de la veille.

Sur sol nu le démarrage du ruissellement est très brutal et apparaît à l'exutoire de la parcelle trois minutes à peine après le début de l'averse. Le palier de ruissellement maximum est lui-même atteint au bout de six minutes, son intensité s'établissant à 45 mm/H contre 35 mm/H pour la valeur de R_x de la veille. Ceci, remarquons le, pour des intensités d'averses très voisines (64,2 mm/H et 64,0 mm/H).

Sur brûlis on observe les mêmes phénomènes mais beaucoup moins accentués : le ruissellement n'apparaît qu'au bout de cinq minutes et son intensité maximale de 32,5 mm/H ne correspond pas à un véritable palier car on est toujours en régime transitoire à l'arrêt de la pluie. Pour 64 mm de hauteur précipitée, les lames ruisselées sont cette fois-ci de 24 et 44 mm et les coefficients de ruissellement de 38 % et 69 % à l'avantage du sol nu.

Sur le couple ADE 12, pour des raisons techniques l'averse n°2 n'a pu être appliquée que le surlendemain, soit après un temps d'arrêt de 39 heures. L'état d'humectation peut cependant être considéré comme assez favorable si l'on se souvient qu'une lame d'eau de l'ordre de 150 millimètres s'était infiltrée précédemment. Malgré cela, les écoulements sont une fois de plus nuls sur la parcelle E 4 et insignifiants sur la parcelle E 3 (1,3 mm dû en partie à des effets de bordure).

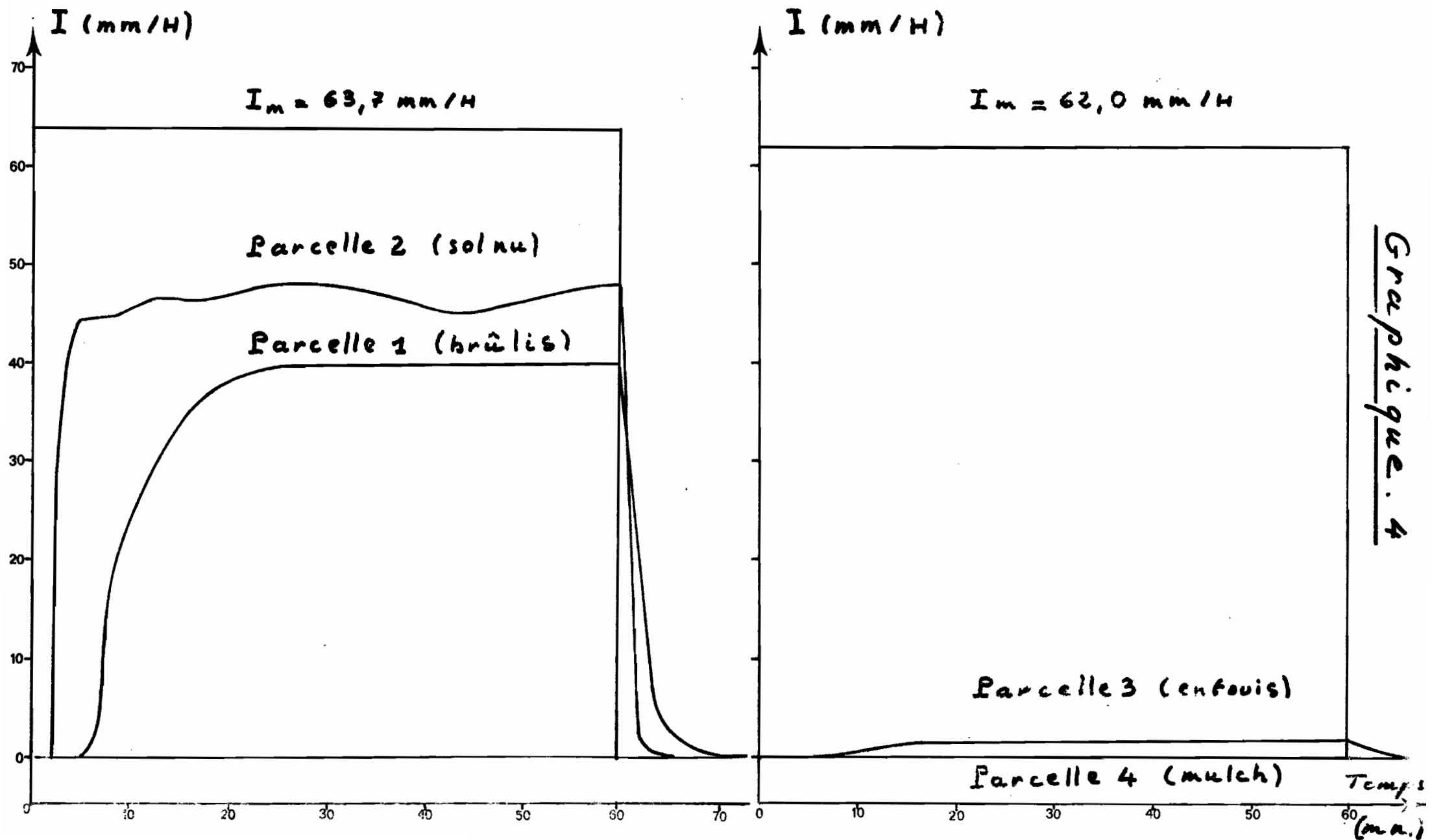
AVERSE N° 3 (voir graphique 4)

Elle débute dans d'excellentes conditions d'humidité des sols des quatre parcelles puisque le temps d'arrêt la séparant de l'averse précédente n'est que de 60 minutes.

Sur sol nu, l'hydrogramme ne présente pas de différences très marquées avec le précédent si ce n'est une apparition du ruissellement un peu plus précoce ($t_i = 2'$ au lieu de $2'45''$). Le palier de ruissellement est peut-être un peu plus élevé (47 mm/H au lieu de 45 mm/H) mais il est malaisé d'en juger avec certitude en raison des fluctuations de débit qui ont été enregistrées.[‡] Les coefficients de ruissellement sont très voisins (72 % contre 69 % pour l'averse N° 2).

[‡]Note: Les causes de ces fluctuations qui se manifestent quelquefois n'ont pas encore été déterminées de façon certaine. Il pourrait s'agir d'une mauvaise régulation de la pompe d'alimentation du simulateur mais aucune anomalie n'a été décelée par surveillance des manomètres de contrôle, et d'autre part on n'observe pas de fluctuations concomitantes sur les deux parcelles du couple. Ce phénomène pourrait-être également attribué à la formation de petits barrages dûs à l'accumulation temporaire de dépôts de sédiments au niveau des canaux collecteurs en sortie de parcelle. Il est malheureusement difficile de s'en assurer car ces canaux sont recouverts par des tôles de protection au cours des essais.

AVERSE N°3 . COUPLES ADE 11 et 12



Graphique. 4

Sur brûlis les différences sont assez sensibles car la pente moyenne de la courbe en S est plus abrupte et on obtient un véritable palier de ruissellement à 40 mm/H au bout de 25 minutes. La lame ruisselée est de 34,4 mm qui correspond à un coefficient de ruissellement de 54 % contre 38 % précédemment.

Pour le couple 12, les réactions sont toujours les mêmes : aucun ruissellement sur mulch et coefficient de ruissellement très faible de 2 % sur résidus enfouis.

AVERSE N° 4 (voir graphique 5)

Elle vient 3 heures après la précédente et l'hydrogramme résultant sur sol nu ne diffère pratiquement pas du précédent. La comparaison des profils neutroniques montre que les conditions d'humidité préalables sont identiques et correspondent à un état limite qu'il semble être impossible de dépasser pour cette intensité de pluie. Il est donc intéressant de noter la valeur du palier d'infiltration minimale de 14,9 mm/H correspondant à cette situation afin de la comparer, comme nous le ferons plus loin aux valeurs trouvées pour l'infiltration par d'autres méthodes.

Sur brûlis la pente moyenne de l'hydrogramme pendant la phase transitoire est encore plus redressée que pour l'averse précédente. La valeur du palier (45,5 mm/H) ainsi que le coefficient global de ruissellement (60 %) sont également plus élevés.

Pour le couple 11, devant la réaction nulle ou négligeable sous intensité de 60 mm/H, nous avons décidé de tester celle de 90 mm/H et de l'adopter systématiquement au cours de la quatrième averse pour tous les autres couples de parcelles à traiter. Il a d'autre part été jugé inutile d'appliquer plus de trois averses à 60 mm/H pour les trois couples mulch-résidus enfouis.

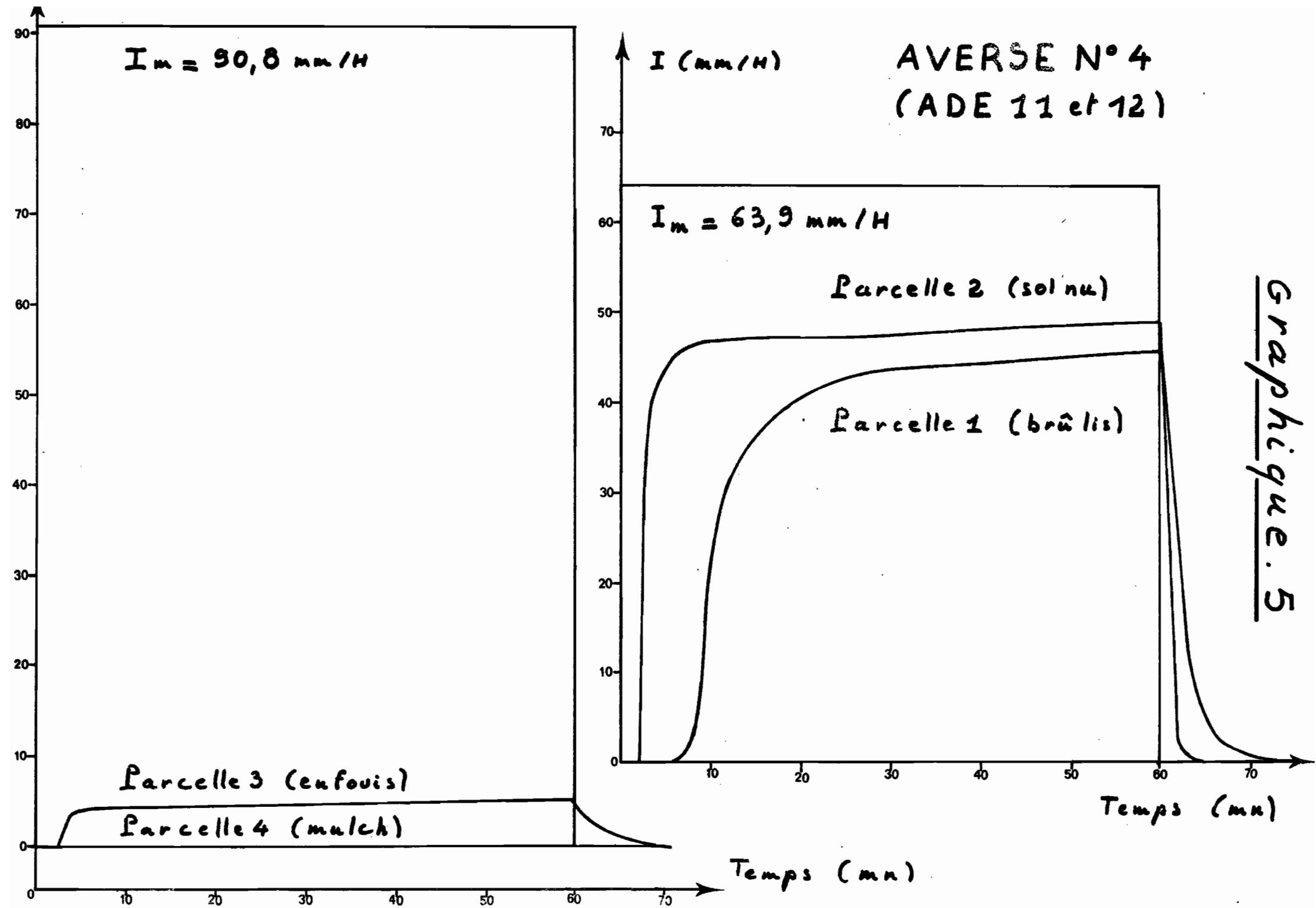
Cette fois-ci, pour une hauteur de pluie totale de 90,8 mm, la lame ruisselée sur résidus enfouis est de 4,7 mm ($K_r = 5\%$) mais aucune réaction n'est observée sur mulch. En fait, comme on peut le constater à l'examen des tableaux VIII, X et XII, les écoulements observés sur mulch au cours des expérimentations l'ont été seulement pour la pente de 20 %.

AVERSE N° 5 (voir graphique 6)

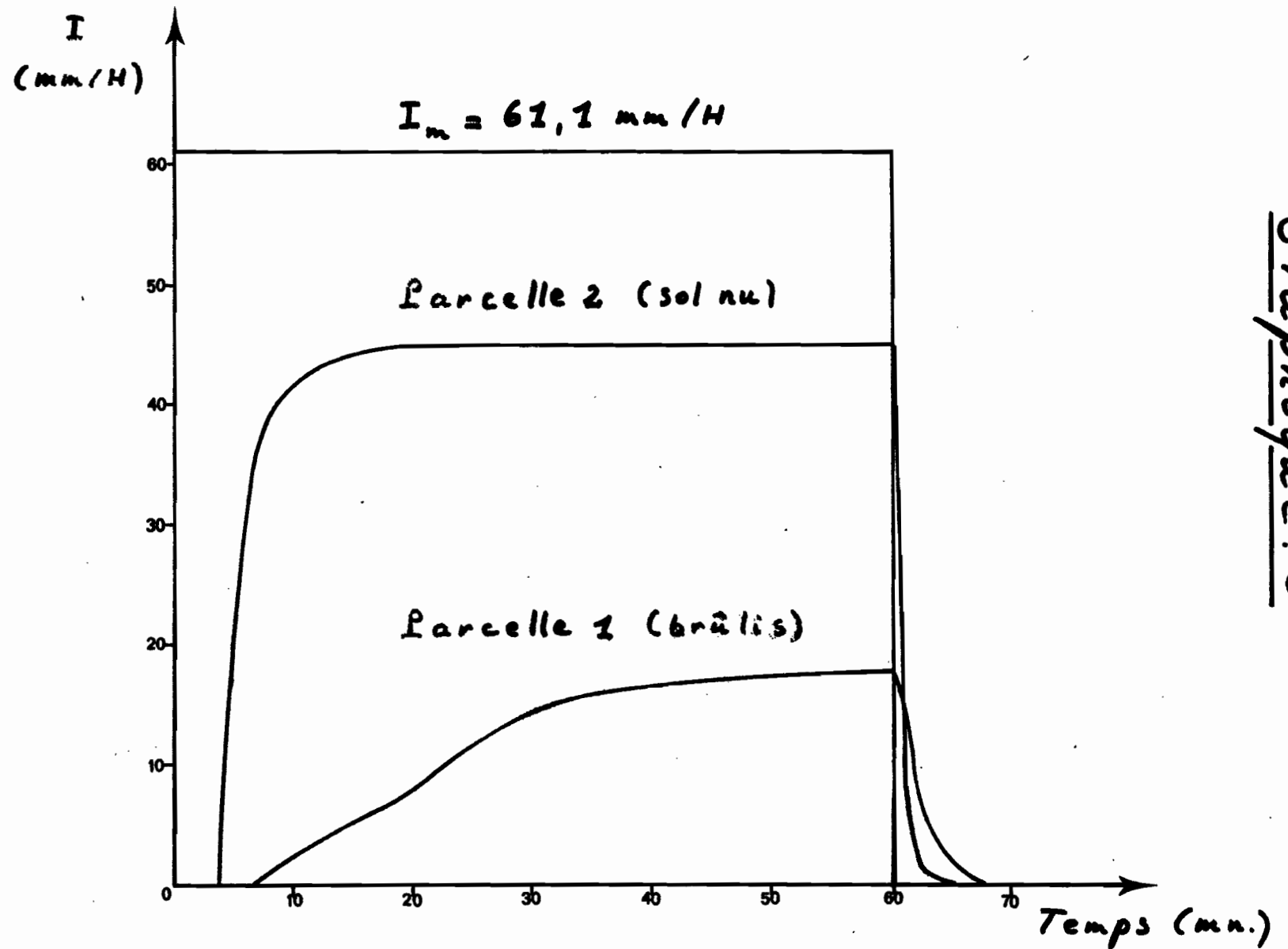
Les conditions d'humectation initiales sont intermédiaires entre celles rencontrées par les averses N° 1 et N° 2 car l'essai débute deux jours après une averse naturelle (N°5) de 25,7 mm.

Malgré cela, l'hydrogramme obtenu sur sol nu est très semblable à ceux que l'on observait au cours des deux précédentes averses pour des états d'humectation apparemment beaucoup plus favorables. Si l'on excepte le temps d'imbibition plus long (6 minutes) les autres caractéristiques sont très voisines, en particulier l'intensité maximale de ruissellement (45 mm/H), ce qui montre déjà que l'état d'humidité a peu d'influence sur elle pour le sol nu.

En revanche, les caractéristiques de l'hydrogramme relatif au



AVERSE N° 5 _ COUPLE ADE 11



Graphique 6

brûlis se situent toutes entre celles qui correspondent aux averses N° 1 et N° 2 : $R_x = 17,7 \text{ mm/H}$ et $K_{ru} = 20 \%$.

AVERSE N° 6 et N° 7 (voir graphique 7)

C'est une averse double (deux grains de 30' séparés par un temps d'arrêt de 30') qui est appliquée sur le couple 16H30 après l'averse N° 5.

Cet essai montre une fois de plus que l'état du stock hydrique initial joue un rôle important sur les réactions de la parcelle 1 (brûlis) alors qu'il a très peu d'influence sur celles du sol nu.

3.4. PREMIERES CONCLUSIONS DECOULANT DES OBSERVATIONS

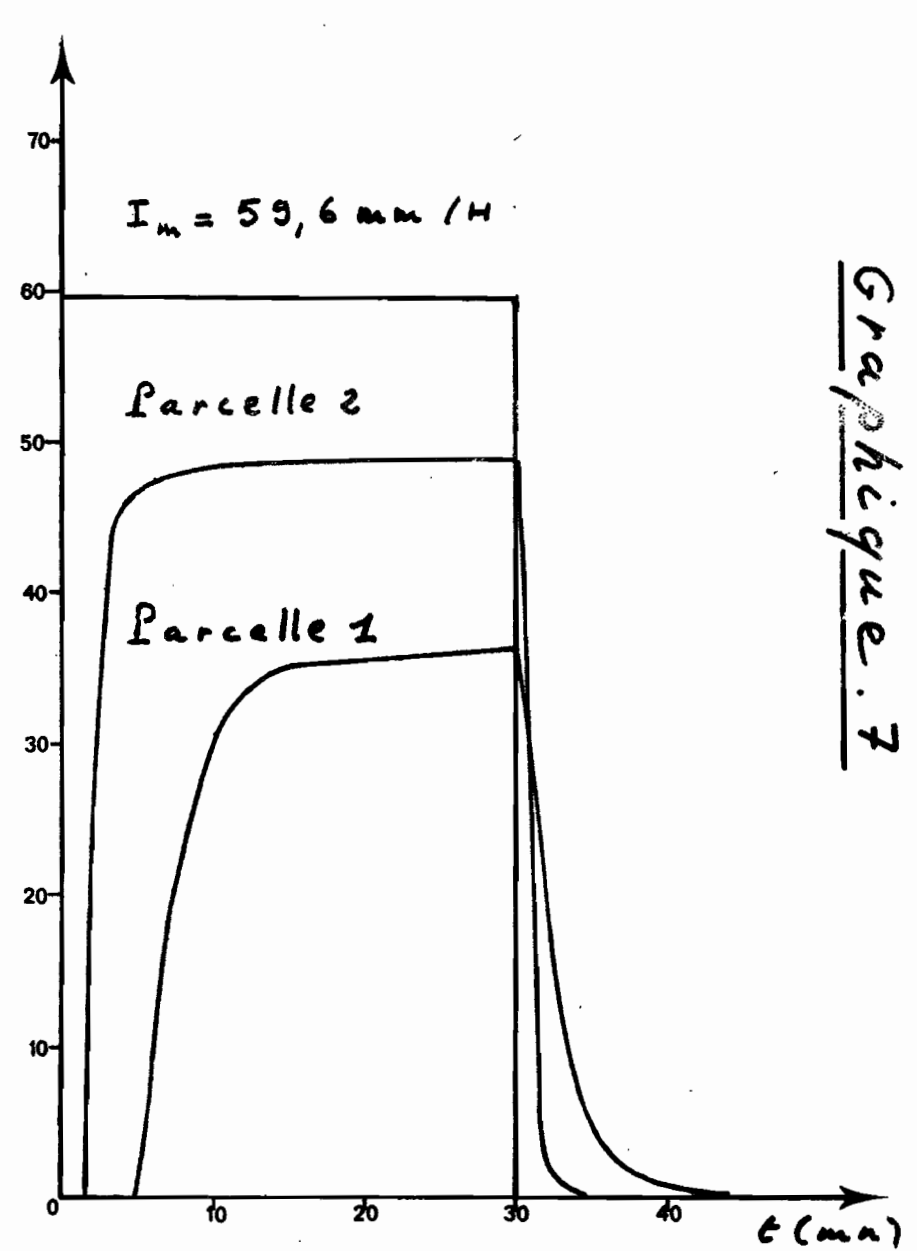
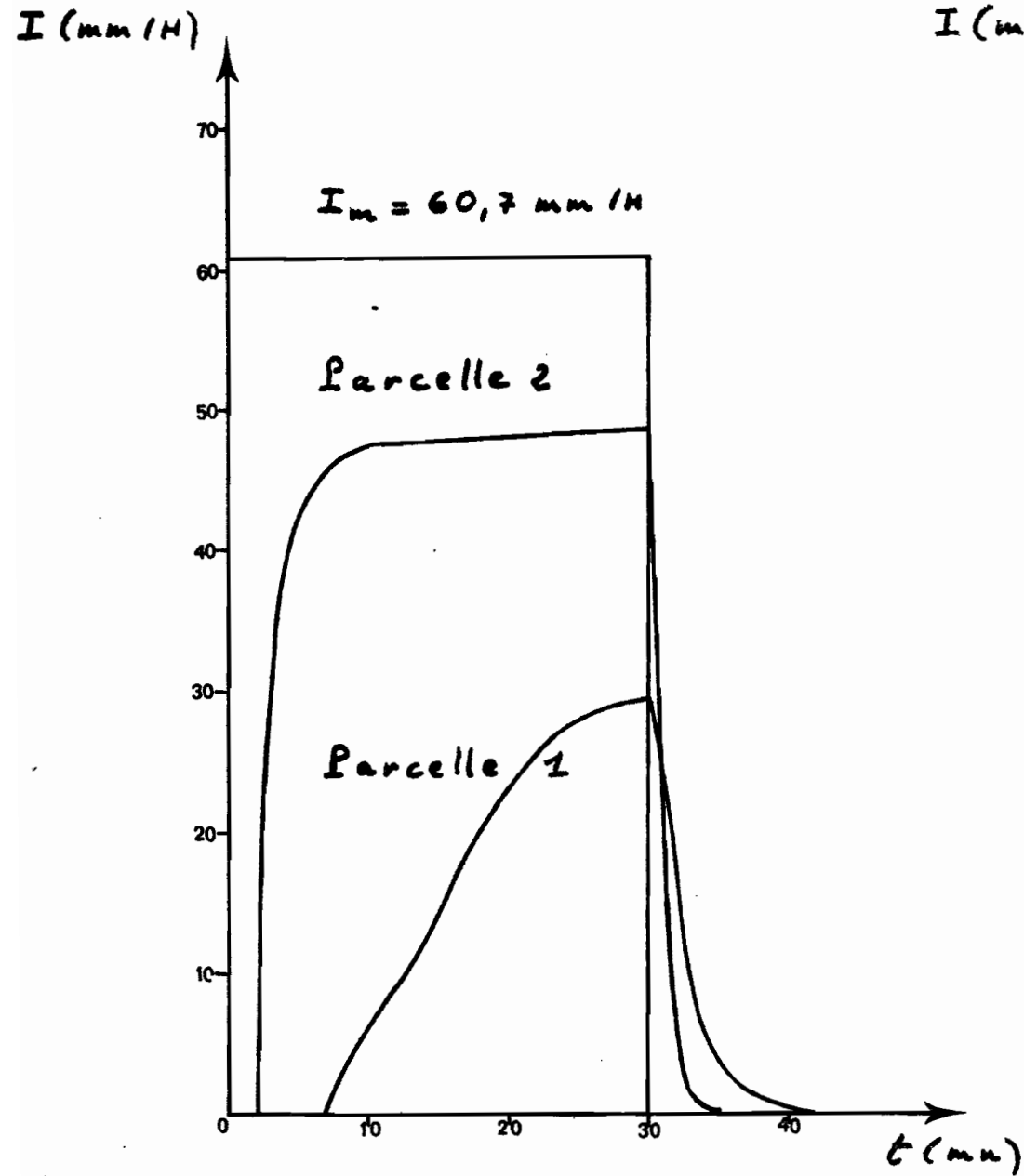
L'examen des premiers hydrogrammes obtenus sur pente de 4 % permet d'exprimer quelques appréciations qualitatives concernant le rôle de la couverture et du traitement du sol sur le ruissellement car les différences de comportement des quatre parcelles sont très nettes:

- La parcelle sur sol nu ruisselle environ deux fois plus que la parcelle sur brûlis, même au cours du premier essai qui a lieu sur terrain fraîchement labouré, et l'influence de ce labour ne se fait pratiquement plus sentir à partir du deuxième essai. Il semble d'autre part qu'à partir de ce même essai, l'état d'humectation préalable du sol n'ait qu'un faible effet sur la hauteur de la pluie d'imbibition et un effet négligeable sur le régime permanent d'infiltration et de ruissellement qui, nous le supposons, serait alors contrôlé par des caractéristiques superficielles du sol.

- Sur la parcelle plantée avec résidus de culture brûlés, l'état d'humectation initial a en revanche une influence marquée à la fois sur la hauteur de la pluie d'imbibition, la durée du régime transitoire et les paramètres R_x et F_n , définissant le régime permanent.

- Enfin, sur les parcelles 3 et 4, les techniques culturales utilisées ont entraîné une infiltration totale pour le mulch et quasi totale pour les résidus enfouis. On peut remarquer que les effets de ces techniques sont durables, contrairement à ce qui est observé pour le simple labour.

AVERSES N° 6 et 7 (ADE 11)



Graphique. 7

C H A P I T R E I V

ANALYSE DE QUELQUES CARACTERISTIQUES DU RUISSELLEMENT ET DE L'INFILTRATION.

Comme nous le précisons au paragraphe 3.1., nous réservons l'étude de la phase transitoire pour la troisième partie de rapport général. Nous nous bornerons donc à examiner dans le présent chapitre les caractéristiques suivantes :

- 1) Pour la phase d'imbibition, la valeur de la pluie d'imbibition P_i .
- 2) Pour le régime permanent, la valeur de l'intensité maximale de ruissellement R_x .
- 3) Pour la phase de vidange, la valeur de la détention superficielle D_s .

Nous formulerons enfin quelques remarques concernant l'infiltration.

Etant donné d'autre part que nous cherchons le plus souvent à expliciter les liaisons existant entre certains paramètres du ruissellement et l'état d'humectation préalable, nous reproduisons ci-après pour chaque couple de parcelles les tableaux numérotés de XIII à XVIII donnant en regard des valeurs de ces paramètres (¶) celles de certaines caractéristiques de cet état. Ce sont, dans l'ordre des colonnes :

- t_a qui désigne l'intervalle de temps en heures séparant le début de l'averse considérée de la fin de l'averse précédente, qu'elle soit naturelle ou simulée. Dans le cas où l'averse précédant immédiatement l'averse étudiée semble avoir été de hauteur insuffisante pour avoir eu une influence réelle sur le ruissellement (reprise évaporatoire totale probable), on a indiqué entre parenthèses la valeur de t_a correspondant à l'avant dernière averse.
- P_a qui désigne la hauteur en millimètres de l'averse antérieure.
- $(H_i)_a$, lame d'eau moyenne, exprimée en millimètres, infiltrée au cours de l'averse antérieure.
- $\sum (H_i)_a$, lame d'eau cumulée infiltrée depuis le début des essais.

¶) Note : On a reporté dans ces tableaux les valeurs de P_i et R_x , paramètres définis plus haut et celles de P_o , autre paramètre dont la signification est explicitée au chapitre V.

TABLEAU XIII - Caractéristiques d'état d'humectation (ADE 11)

N°	REFERENCE	DATE	HEURE DEBUT	DUREE (mn)	HEURE FIN	t _a (heures)	P ₁₂ (mm)	PARCELLE 1					PARCELLE 2				
								(H ₁) _a (mm)	Σ(H ₁) _a (mm)	P ₁ (mm)	P ₀ (mm)	R _x (mm/H)	(H ₁) _a (mm)	Σ(H ₁) _a (mm)	P ₁ (mm)	P ₀ (mm)	R _x (mm/H)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N 1		26-5-75															
1	ADE 111	8-10-75	10 ^h 03	117,5	10 ^h 51 30	224 ^h	34,0			10,3	37,5	14,0			12,0	45,0	134,0
N 2		-11-	10 ^h 07	118,0	14 ^h 05	2 ^h 58	125,9	111,6					83,3				
2	ADE 211	9-10-75	9 ^h 37	60,0	10 ^h 27	19 ^h 32	23,7	22,4	134,0	5,2	15,3	35,0	15,7	99,6	2,6	2,9	45,0
3	ADE 311	-11-	11 ^h 45	60,0	12 ^h 45	1 ^h 01	64,0	40,0	174,0	5,3	8,7	40,0	20,0	114,6	2,2	2,2	47,0
4	ADE 411	-11-	15 ^h 36		16 ^h 36	2 ^h 51	63,7	29,3	203,3	5,8	10,4	45,5	17,8	137,4	2,2	2,2	49,0
N 3		19-10-75	5 ^h 00	300,0		226 ^h 34	63,9	25,8	229,1				17,3	154,7			
N 4		20-10-75	5 ^h 00		5 ^h 00	24 ^h 00	10,0										
N 5		22-10-75	2 ^h 00			162 ^h 00	47,5	56,1	288,2				41,6	196,3			
N 6		2-11-75	12 ^h 00			134 ^h 00 (376)	7,0	7,0	232,2				7,0	203,3			
5	ADE 611	4-11-75	15 ^h 00	60,0	16 ^h 00	54 ^h 00	25,7	25,0	317,2	9,1	19,6	17,7	15,0	218,3	3,9	5,2	45,0
6	ADE 711 a	5-11-75	8 ^h 33	30,0	5 ^h 05	16 ^h 33	61,1	49,0	366,2	7,3	13,9	(29,5)	19,8	238,1	2,2	2,2	48,5
7	ADE 711 b	-11-	9 ^h 35	30,0	10 ^h 05	6 ^h 30	30,4	21,8	398,0	4,7	5,8	36,0	7,9	246,0	1,6	1,6	48,5
N 7		9-11-75	6 ^h 00			115 ^h 35	28,8	15,0	403,0				6,8	250,8			
N 8		10-11-75	23 ^h 00			41 ^h 00	30,0	25,0	428,0				1,7	253,9			
N 9		16-11-75	17 ^h 00	15,0	17 ^h 45	138 ^h 00 (175)	2,5	2,5	430,5				2,5	256,4			
N 10		18-11-75	22 ^h 00	10,0	20 ^h 10	50 ^h 45	17,5	11,5	442,0				8,3	264,7			
8	ADE 811 a	21-11-75	11 ^h 08	40,0	11 ^h 48	63 ^h 00 (292)	9,5	9,5	451,5	9,1	18,0	32,0	2,3	267,0	3,7	6,8	78,5
9	ADE 811 b	-11-	13 ^h 57	30,0	14 ^h 27	2 ^h 00	59,9	44,8	496,3	7,4	9,7	(82,0)	11,0	278,6	2,2	2,2	111,0
N 11		24-11-75	18 ^h 00	340,0	24 ^h 00	15 ^h 33	62,0	27,6	523,9				8,3	286,9			
10	ADE 911 a	26-11-75	15 ^h 00	30,0	15 ^h 30	33 ^h 00 (114)	3,1	3,1	527,0	9,5	19,8	(61,5)	3,1	250,0	3,3	5,1	(106,0)
N 12		27-11-75	1 ^h 00	60,0	2 ^h 00	9 ^h 30	60,1	41,2	568,2				11,7	291,7			
11	ADE 911 b	-11-	10 ^h 07	30,0	10 ^h 37	8 ^h 07	15,5	13,9	582,1	7,2	9,9	85,0	6,5	298,2	2,1	2,1	107,3
12	ADE 911 c	-11-	11 ^h 15	60,0	12 ^h 15	0 ^h 30	60,3	25,5	607,6	5,2	7,0	17,5	8,7	304,9	1,2	1,5	24,0
13	ADE 911 d	-11-	14 ^h 45	40,0	15 ^h 25	2 ^h 30	33,9	18,8	626,4	6,2	7,8	67,0	11,1	318,0	1,7	1,7	76,0

TABLEAU XIV - Caractéristiques d'état d'humectation

(ADE 12)

N°	REFERENCE	DATE	HEURE DEBUT	DUREE (mn)	HEURE FIN	Ca (heures)	Pa (mm)	PARCELLE 3					PARCELLE 4				
								(H ₂) _a (mm)	Σ(H ₂) _a (mm)	P ₁ (mm)	P ₂ (mm)	R _x (mm/h)	(H ₂) _a (mm)	Σ(H ₂) _a (mm)	P ₁ (mm)	P ₂ (mm)	R _x (mm/h)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N 1		26-9-75															
N 2		8-10-75	12 ^h 07	118	14 ^h 05	288 ^h 00	34,0										
1	ADE 112	-11-	16 ^h 00	120	18 ^h 00	2 ^h 00	23,1	21,8		18	19,0	1,5	21,9		—	—	0
2	ADE 212	10-10-75	9 ^h 10	60	10 ^h 10	34 ^h 00	125,8	124,6	146,4	8,6	8,5	1,7	125,8	147,7	—	—	0
3	ADE 312	-11-	11 ^h 13	60	12 ^h 13	1 ^h 00	63,9	62,6	209,0	5,7	5,0	2,0	63,9	271,6	—	—	0
4	ADE 412	-11-	15 ^h 12	60	16 ^h 12	2 ^h 59	62,0	60,8	263,8	3,9	4,0	5,0	62,0	273,6	—	—	0
N 3		19-10-75	3 ^h 00			205 ^h 00	90,8	86,1	355,9				90,8	364,4			
N 4		20-10-75	3 ^h 00	300	8 ^h 00	24 ^h 00	10,0										
N 5		27-10-75	2 ^h 00			162 ^h 00	47,5	57,1	413,0				57,0	421,4			
N 6		2-11-75	12 ^h 00			154 ^h 00	7,0	7,0	420,0				7,0	428,4			
N 7		9-11-75	6 ^h 00			162 ^h 00	25,7	25,4	445,4				25,7	454,1			
N 8		10-11-75	23 ^h 00			41 ^h 00	30,0	29,5	474,9				29,7	483,8			
5	ADE 812 a	14-11-75	8 ^h 41	40	9 ^h 21	81 ^h 41(12)	2,5	2,5	477,4	8,9	10,5	2,1	2,5	486,3	—	—	0
6	ADE 812 b	-11-	11 ^h 21	30	11 ^h 51	2 ^h 00	58,8	57,8	535,2	5,3	5,0	4,9	58,2	574,5	22,3		1,2

TABLEAU XV - Caractéristiques d'état d'humectation (ADE 13)

N°	REFERENCE	DATE	HEURE DEBUT	DUREE (mn)	HEURE FIN	t _a (heures)	P _a (mm)	PARCELLE 5					PARCELLE 6				
								(H ₀) _a (mm)	Σ(H ₀) _a (mm)	P _i (mm)	P ₀ (mm)	R _x (mm/H)	(H ₀) _a (mm)	Σ(H ₀) _a (mm)	P _i (mm)	P ₀ (mm)	R _x (mm/H)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N 1		26-9-75															
N 2		8-10-75	12 ^h 07	118	14 ^h 05		34,0										
1	ADE 113	13-10-75	11 ^h 09	120	13 ^h 09	119 ^h 02	23,1	22,7		25,6	38,5	45,0	23,0		15,9	15,5	5,5
2	ADE 213	14-10-75	9 ^h 00	60	10 ^h 00	19 ^h 51	130,0	67,9	20,6	1,8	2,0	50,7	125,8	148,8	5,83	7,0	18,5
3	ADE 313	-11-	11 ^h 00	60	12 ^h 00	1 ^h 00	63,4	20,1	110,7	1,3	1,0	52,5	54,0	202,8	3,20	4,5	23,0
4	ADE 413	-11-	15 ^h 00	60	16 ^h 00	3 ^h 00	67,9	17,4	128,1	1,54	1,5	25,0	47,2	250,0	4,5	6,5	42,0
N 3		19-10-75	3 ^h 00			83 ^h 00	88,1	13,1	141,2				49,3	299,3			
N 4		20-10-75	3 ^h 00	300	8 ^h 00	24 ^h 00	10,0										
N 5		27-10-75	2 ^h 00			162 ^h 00	47,5	39,9	111,1				55,0	354,3			
N 6		2-11-75	12 ^h 00			154 ^h 00 (310 ^h)	7,0	2,0	188,1				7,0	361,3			
5	ADE 613	5-11-75	15 ^h 00	60	16 ^h 00	2 ^h 00	25,7	14,9	200,0	3,4	3,5	30,0	24,5	385,8	7,6	13,5	10,5
6	ADE 713 a	6-11-75	8 ^h 32	30	9 ^h 02	17 ^h 32	62,1	34,2	234,2	1,7	2,0	38,5	54,0	437,8	4,3	4,5	20,0
7	ADE 713 b	-11-	9 ^h 34	30	10 ^h 04	0 ^h 32	30,8	12,7	246,9	1,2	1,5	40,0	22,3	462,1	2,7	4,0	25,0
N 7		9-11-75	6 ^h 00			68 ^h 00	39,0	11,0	257,9				17,25	481,35			
N 8		10-11-75	23 ^h 00			41 ^h 00	39,0	10,0	267,9				21,3	502,65			
N 9		16-11-75	13 ^h 00	15	13 ^h 15	138 ^h 00 (170 ^h)	2,5	2,5	246,4				2,5	505,15			
N 10		18-11-75	20 ^h 00	10	20 ^h 10	50 ^h 45	11,5	9,6	280,0				11,4	516,55			
8	ADE 813 a	19-11-75	11 ^h 05	40	11 ^h 45	14 ^h 55	9,5	4,4	284,4	2,0	2,5	72,0	9,5	526,05	5,5	7,5	28,5
9	ADE 813 b	-11-	14 ^h 10	30	14 ^h 40	2 ^h 45	61,1	44,7	329,1	1,7	1,0	99,0	44,7	570,75	4,4	4,0	61,0
10	ADE 913 a	24-11-75	15 ^h 02	30	15 ^h 32	120 ^h 00	59,7	11,5	340,6	3,2	3,5	80,5	31,7	602,65	7,3	11,0	38,9
N 11		-11-	18 ^h 00	360	24 ^h 00	2 ^h 28	61,4	23,7	364,3				45,8	648,25			
11	ADE 913 b	25-11-75	8 ^h 50	30	9 ^h 20	8 ^h 50 (13 ^h)	3,1	3,1	367,4	1,8	3,0	92,0	3,1	651,35	4,6	7,0	60,6
12	ADE 913 c	-11-	9 ^h 53	60	10 ^h 53	0 ^h 33	61,5	17,8	385,2	0,9	2,0	11,5	34,6	685,35	3,4	7,0	3,0

TABLEAU XVI - Caractéristiques d'état d'humectation (ADE 14)

N°	REFERENCE	DATE	HEURE DEBUT	DUREE (mm)	HEURE FIN	Ta (heures)	Pa (mm)	PARCELLE 7					PARCELLE 8				
								(H _i) _a (mm)	Σ(H _i) _a (mm)	P _i (mm)	P _o (mm)	R _x (mm/H)	(H _i) _a (mm)	Σ(H _i) _a (mm)	P _i (mm)	P _o (mm)	R _x (mm/H)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N 2		8-10-75	12 ^h 07	118	14 ^h 05												
1	ADE 114	6-10-75	10 ^h 20	120	12 ^h 20	188 ^h 15	23,1	23,1		4,7	4	1,2	23,1		—	—	0
2	ADE 214	7-10-75	8 ^h 40	60	9 ^h 40	20 ^h 20	124,6	123,1	146,2	4,7	5	1,5	124,6	147,7	—	—	0
3	ADE 314	-11-	10 ^h 47	60	11 ^h 47	1 ^h 07	59,0	57,7	203,9	3,4	5	2,5	59,0	206,7	—	—	0
4	ADE 414	-11-	14 ^h 55	60	15 ^h 55	3 ^h 08	60,7	59,0	262,9	4,3	4	9,6	60,7	267,1	—	—	0
N 3		9-10-75	3 ^h 00			34 ^h 05	93,8	87,4	350,3				93,8	369,2			
N 4		6-10-75	3 ^h 00	300	8 ^h 00	24 ^h 00	10,0										
N 5		7-10-75	2 ^h 00			162 ^h 00	47,5	55,5	405,8				57,5	418,7			
N 6		-11-75	12 ^h 00			154 ^h 00 (316)	7,0	7,0	412,8				7,0	425,7			
N 7		-11-75	6 ^h 00			162 ^h 00	25,7	24,7	437,5				25,7	451,4			
N 8		-11-75	23 ^h 00			41 ^h 00	30,0	28,9	466,4				30,0	481,4			
N 9		1-11-75	17 ^h 00	15	17 ^h 15	138 ^h 00 (199)	2,5	2,5	468,9				2,5	483,9			
5	ADE 814 a	1-11-75	12 ^h 15	40	12 ^h 55	18 ^h 40	11,5	11,5	480,4	3,5	4	3,2	11,5	495,4	—	—	0
6	ADE 814 b	-11-	14 ^h 55	30	15 ^h 25	2 ^h 00	55,4	53,7	534,1	4,7	5	8,6	83,1	578,5	29,1		9,3

TABLEAU XVII - caractéristiques d'état d'humectation (ADE 15)

N°	REFERENCE	DATE	HEURE DEBUT	DUREE (mn)	HEURE FIN	ta (heures)	Pa (mm)	PARCELLE 9					PARCELLE 10				
								(H _i) _a (mm)	Σ(H _i) _a (mm)	Pi (mm)	Po (mm)	Rx (mm/H)	(H _i) _a (mm)	Σ(H _i) _a (mm)	Pi (mm)	Po (mm)	Rx (mm/H)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N 3		19-10-75	3 ^h 00														
N 4		20-10-75	3 ^h 00	300	8 ^h 00	24 ^h 00	10,0										
N 5		27-10-75	2 ^h 00			162 ^h 00	47,5	51,1					57,1				
1	ADE 115	-11-	10 ^h 02	120	12 ^h 02	2 ^h 58 (170 ^h)	7,0	7,0	58,1	5,2	20,0	39,0	7,0	58,1	4,0	23,5	10,0
2	ADE 215	28-10-75	9 ^h 05	60	10 ^h 05	21 ^h 00	124,4	61,3	119,4	1,6	1,5	40,5	112,4	170,4	3,6	7,5	19,0
3	ADE 315	-11-	11 ^h 05	60	12 ^h 05	1 ^h 00	62,0	22,3	144,7	1,5	1,5	42,5	46,9	217,4	1,8	3,5	25,0
4	ADE 415	-11-	15 ^h 00	60	16 ^h 00	3 ^h 00	62,8	22,4	164,4	1,6	1,5	65,0	39,3	256,7	3,2	6,0	53,0
N 6		2-11-75	12 ^h 00			116 ^h 00	89,7	24,8	188,9				41,6	298,3			
5	ADE 615	6-11-75	15 ^h 00	60	16 ^h 00	99 ^h 00	25,7	18,9	207,8	6,1	15,0	30,5	19,7	318,0	6,0	14,5	20,5
6	ADE 715a	7-11-75	8 ^h 30	30	9 ^h 30	16 ^h 30	60,9	37,0	244,8	2,3	3,0	36,0	45,3	363,3	3,5	4,5	27,7
7	ADE 715b	-11-	9 ^h 31	30	10 ^h 01	6 ^h 31	30,8	14,8	259,6	1,3	2,0	37,0	19,1	382,4	2,0	3,0	30,5
N 7		9-11-75	6 ^h 00			44 ^h 00	30,0	12,4	272,0				16,2	398,6			
N 8		10-11-75	23 ^h 00			41 ^h 00	30,0	11,7	283,7				14,1	418,7			
N 9		16-11-75	17 ^h 00	15	17 ^h 15	138 ^h 00 (179 ^h)	2,5	2,5	286,2				2,5	415,2			
N 10		18-11-75	20 ^h 00	10	20 ^h 10	51 ^h 00	11,5	11,1	297,3				11,5	426,7			
8	ADE 815a	20-11-75	11 ^h 10	40	11 ^h 50	40 ^h 00	9,5	4,7	302,0	3,9	8,5	60,0	9,3	436,0	3,85	8,5	46,5
9	ADE 815b	-11-	13 ^h 50	30	14 ^h 20	2 ^h 00	59,3	25,0	327,0	2,2	1,5	38,0	33,7	469,7	3,0	3,5	80,0
N 11		24-11-75	18 ^h 00	360	24 ^h 00	100 ^h 00	58,1	18,2	345,2				22,2	491,9			
10	ADE 915a	25-11-75	15 ^h 00	30	15 ^h 30	21 ^h 00 (121 ^h)	3,1	3,1	348,3	4,2	7,5	79,0	3,1	495,0	3,6	8,5	64,5
11	ADE 915j	26-11-75	8 ^h 40	30	9 ^h 10	17 ^h 10	59,8	26,6	374,9	2,5	3,5	82,5	31,5	526,5	3,2	5,0	78,0
12	ADE 915c	-11-	9 ^h 40	60	10 ^h 40	0 ^h 30	57,8	19,0	393,9	1,5	6,5	16,5	20,8	547,3	2,3	4,5	11,0

TABLEAU XVIII - Caractéristiques d'état d'humectation

(ADE-16)

N°	REFERENCE	DATE	HEURE DEBUT	DURÉE (mn)	HEURE FIN	ta (heures)	Pa (mm)	PARCELLE 11					PARCELLE 12				
								(H _c) _a (mm)	Σ(H _c) _a (mm)	P _c (mm)	P _o (mm)	R _x (mm/tt)	(H _c) _a (mm)	Σ(H _c) _a (mm)	P _c (mm)	P _o (mm)	R _x (mm/tt)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N 3		19-10-75	3 ^h 00														
N 4		20-10-75	3 ^h 00	300	8 ^h 00	24 ^h 00	10,0										
N 5		27-10-75	2 ^h 00			162 ^h 00	47,5	56,5					56,5				
1	ADE 116	29-10-75	11 ^h 17	120	13 ^h 17	57 ^h 17 (215 ^h)	7,0	7,0	63,5	12,1	12,0	3,2	7,0	63,8	18,4	-	0
2	ADE 216	30-10-75	9 ^h 04	60	10 ^h 04	19 ^h 47	113,4	116,9	180,4	5,2	5,5	7,3	113,6	183,4	16,9	16,7	0,75
3	ADE 316	-11-	11 ^h 04	60	12 ^h 04	1 ^h 00	59,6	54,2	234,6	2,8	2,5	10,5	59,1	242,5	9,8	9,7	1,45
4	ADE 416	-11-	15 ^h 00	60	16 ^h 00	2 ^h 56	61,1	52,0	286,1	3,6	3,5	27,3	59,9	302,4	10,5	10,5	4,0
N 6		2-11-75	12 ^h 00			92 ^h 00	88,8	65,0	351,6				85,4	387,8			
N 7		5-11-75	6 ^h 00			162 ^h 00	25,7	24,7	176,3				25,7	413,5			
N 8		10-11-75	23 ^h 00			41 ^h 00	39,0	27,0	403,3				25,2	442,7			
N 9		16-11-75	17 ^h 00	15	17 ^h 15	138 ^h 00 (175 ^h)	2,5	2,5	405,8				2,5	445,2			
5	ADE 816a	18-11-75	11 ^h 05	40	11 ^h 45	41 ^h 00	11,5	10,7	416,5	4,8	4,8	14,3	11,2	456,4	6,2	6,5	2,2
6	ADE 816b	-11-	13 ^h 50	30	14 ^h 20	2 ^h 00	57,1	49,0	465,5	2,5	2,5	39,0	56,0	512,4	5,7	5,5	7,5

4.1. ETUDE DE LA PLUIE D'IMBIBITION PREALABLE P_i

Après diverses tentatives de régressions qui n'ont pas permis de mettre en évidence une influence systématique de l'intensité de précipitation ou des lames d'eau infiltrées, nous avons finalement retenu le seul paramètre t_a pour l'étude de la pluie d'imbibition.

Pour les sols nus, en ne tenant pas compte des points figuratifs correspondant aux averses N° 1, nous avons pu tracer les courbes d'aspect logarithmique du graphique 8 qui traduisent l'influence de l'état d'humectation préalable sur la pluie d'imbibition.

On peut constater que P_i varie de façon relativement importante dans les premières heures suivant l'arrêt de l'averse antérieure et que sa valeur semble se stabiliser aux environs de 4 ou 5 millimètres pour un t_a supérieur à quatre ou cinq jours. On remarquera que la pente n'a pas d'influence vraiment significative.

Sur résidus de culture brûlés on observe des valeurs plus fortes de P_i qui peuvent atteindre une dizaine de millimètres (averse N° 1 sur parcelle E1) mais on peut constater sur les courbes du graphique 9 que les variations en fonction de t_a sont du même ordre de grandeur que sur sol nu, ces variations étant surtout sensibles au cours des deux premiers jours suivant l'averse antérieure. En revanche on voit apparaître pour ce traitement une nette influence de la pente topographique et à un accroissement de cette dernière correspond une diminution de la pluie d'imbibition.

Pour les résidus de culture enfouis nous n'avons pu étudier la pluie d'imbibition que sur les parcelles 3 et 11. En effet, sur la parcelle 7, un ruissellement parasite se produisant au voisinage du canal collecteur masque à chaque averse la réaction d'ensemble de la parcelle, tout au moins en ce qui concerne la pluie d'imbibition.

Sur les autres parcelles (pente de 4 % et de 20 %) on observe des valeurs de P_i encore plus élevées que sur sol nu et brûlis ainsi que des variations plus importantes en fonction de t_a . D'autre part, malgré le faible nombre d'essais, il semble que l'on puisse signaler une différence d'aspect entre les courbes du graphique 10 et celles des graphiques 8 et 9 : les courbures sont moins accentuées et on observe encore de fortes variations de P_i pour des valeurs élevées de t_a . Il semble également, comme pour le traitement précédent, qu'à un accroissement de la pente topographique corresponde une diminution de la hauteur de pluie d'imbibition.

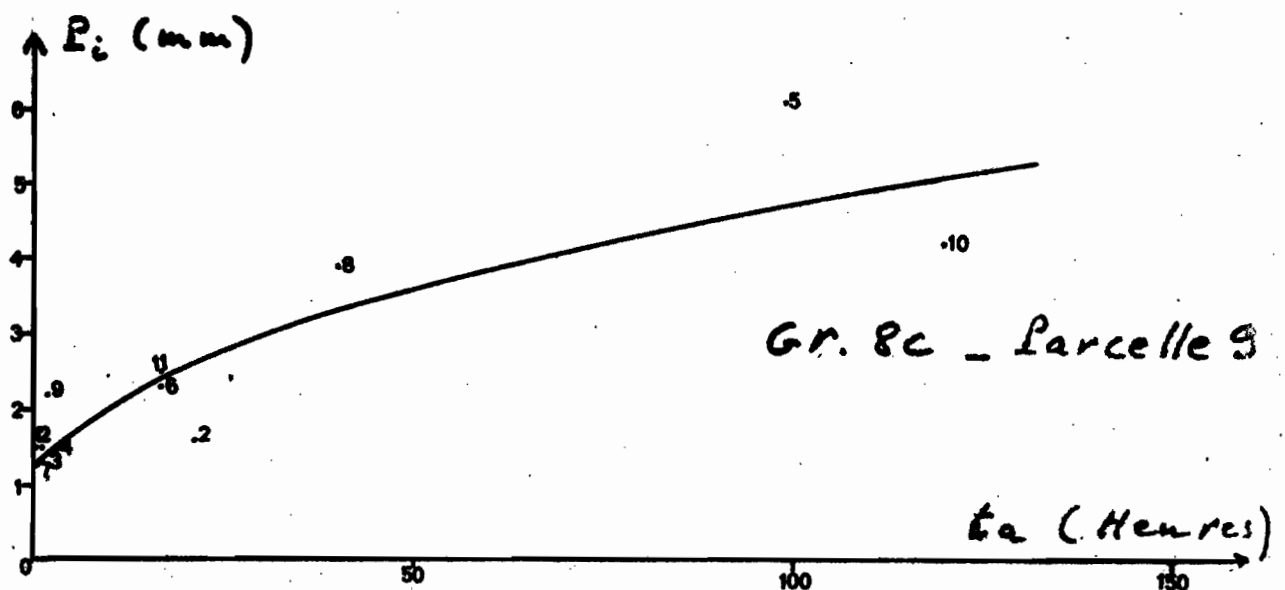
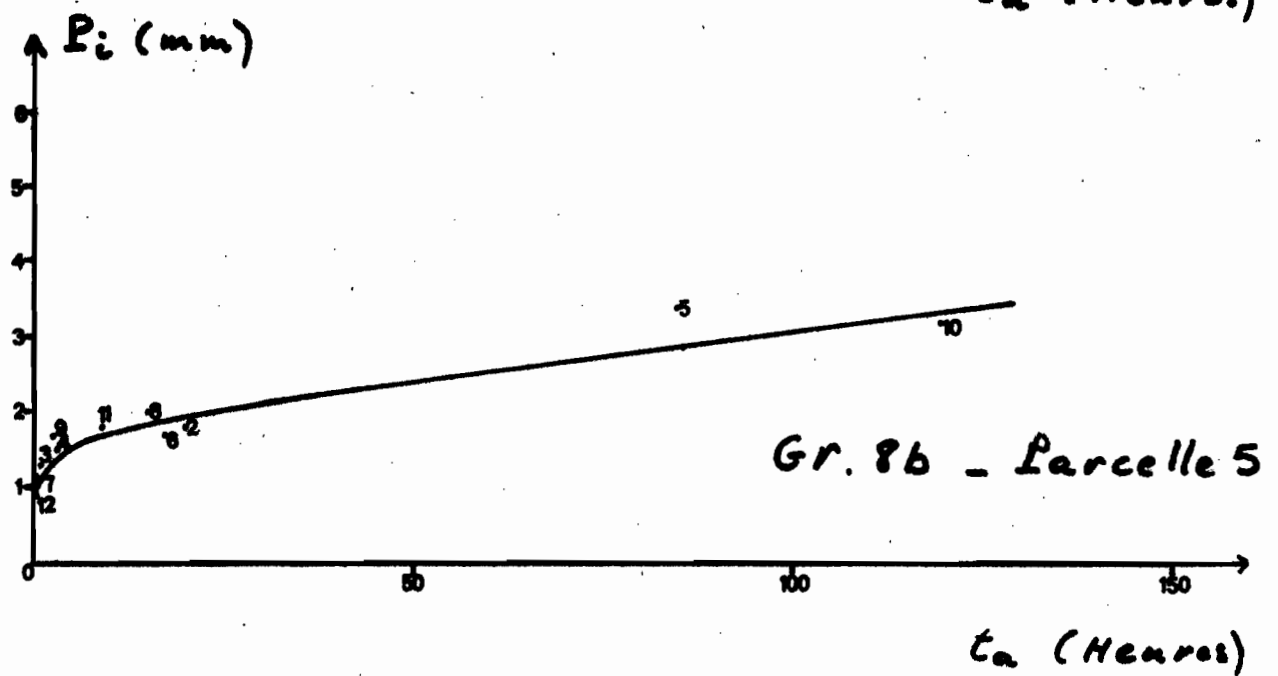
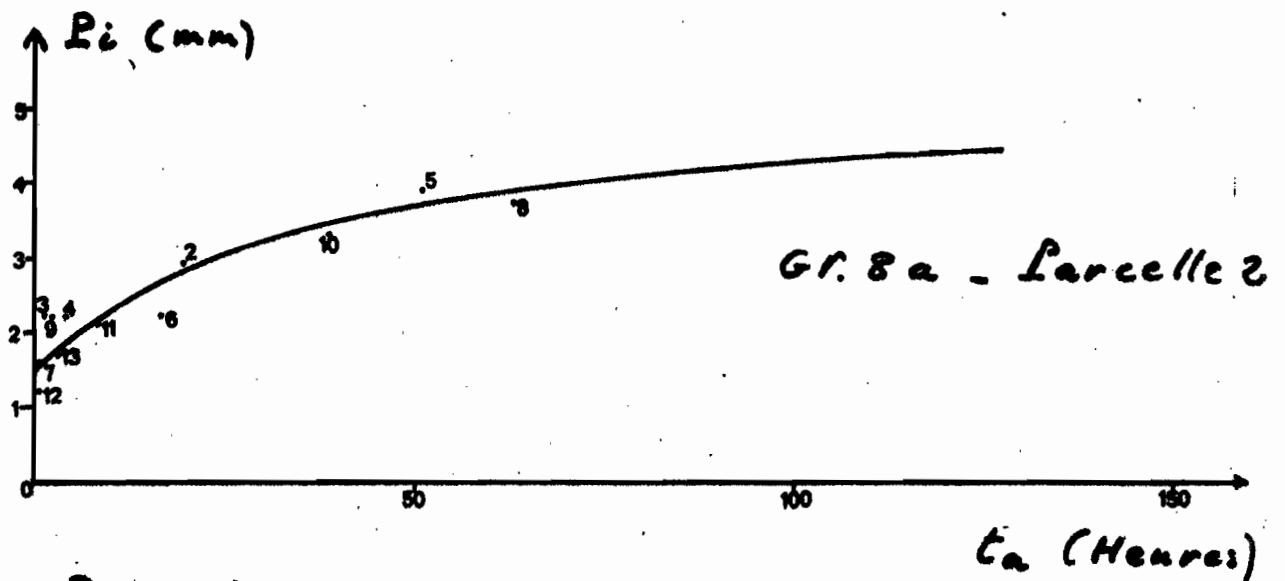
4.2. ETUDE DE L'INTENSITE DE RUISSELLEMENT MAXIMALE R_x

Pour cette étude nous avons mis en oeuvre une méthode graphique d'écarts résiduels en choisissant comme facteur principal l'intensité de la pluie et comme facteurs secondaires certaines caractéristiques de l'état d'humectation initial.

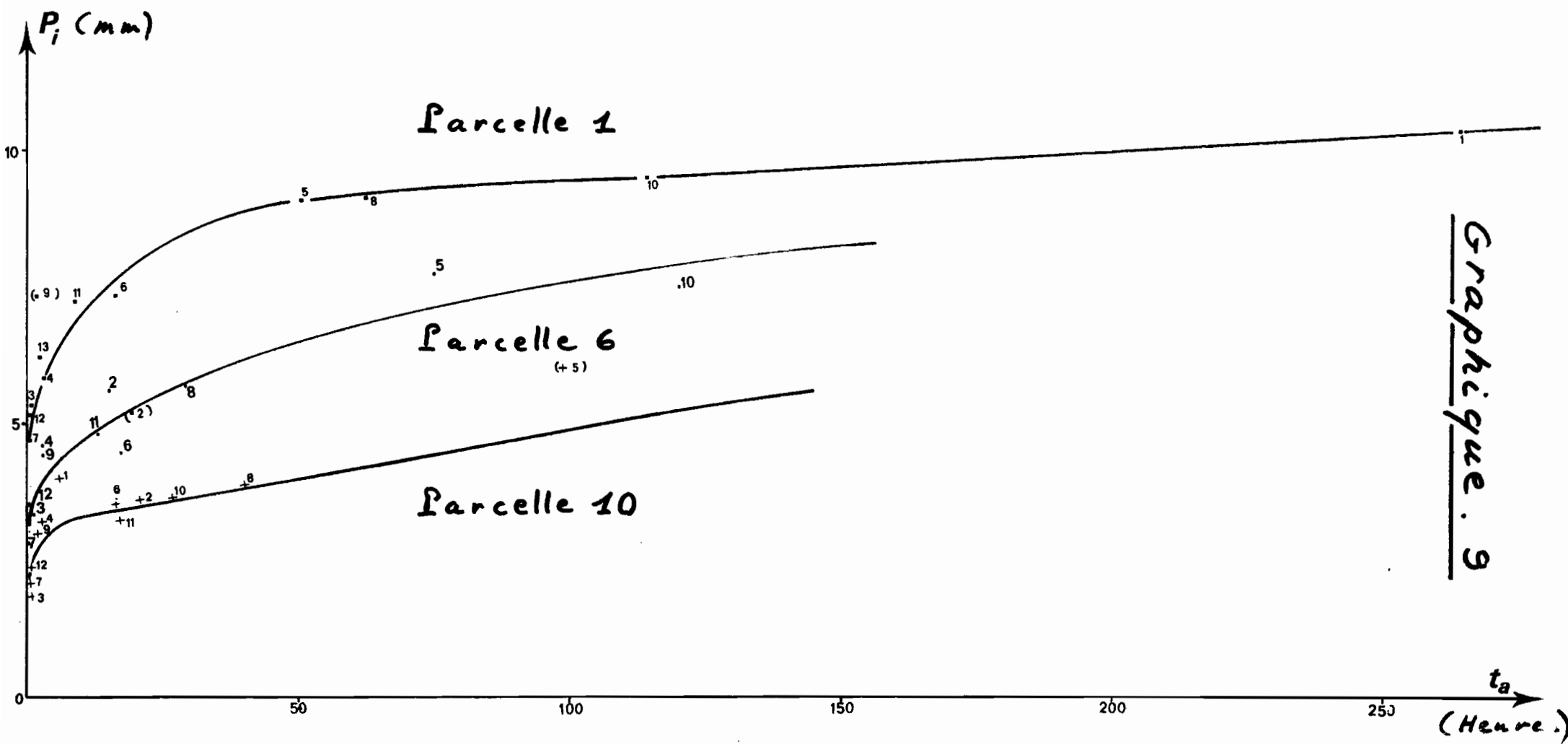
La méthode utilisée étant la même à quelques variantes près pour les douze parcelles, nous nous bornerons pour son exposé à traiter ici de façon complète le cas de la parcelle E1.

Graphique. 8

PLUIE D'IMBIBITION SUR SOL NU



PLUIE D'IMBIBITION SUR BRULIS



PLUIE D'IMBIBITION SUR RESIDUS ENFOUIS

P_i (mm)

25

20

15

10

5

0

Parcelle 3

Parcelle 11

Parcelle 7

.2

.5

.2

.5

+5

t_1

Graphique. 10

t_a

(Heure)

50

100

150

200

250

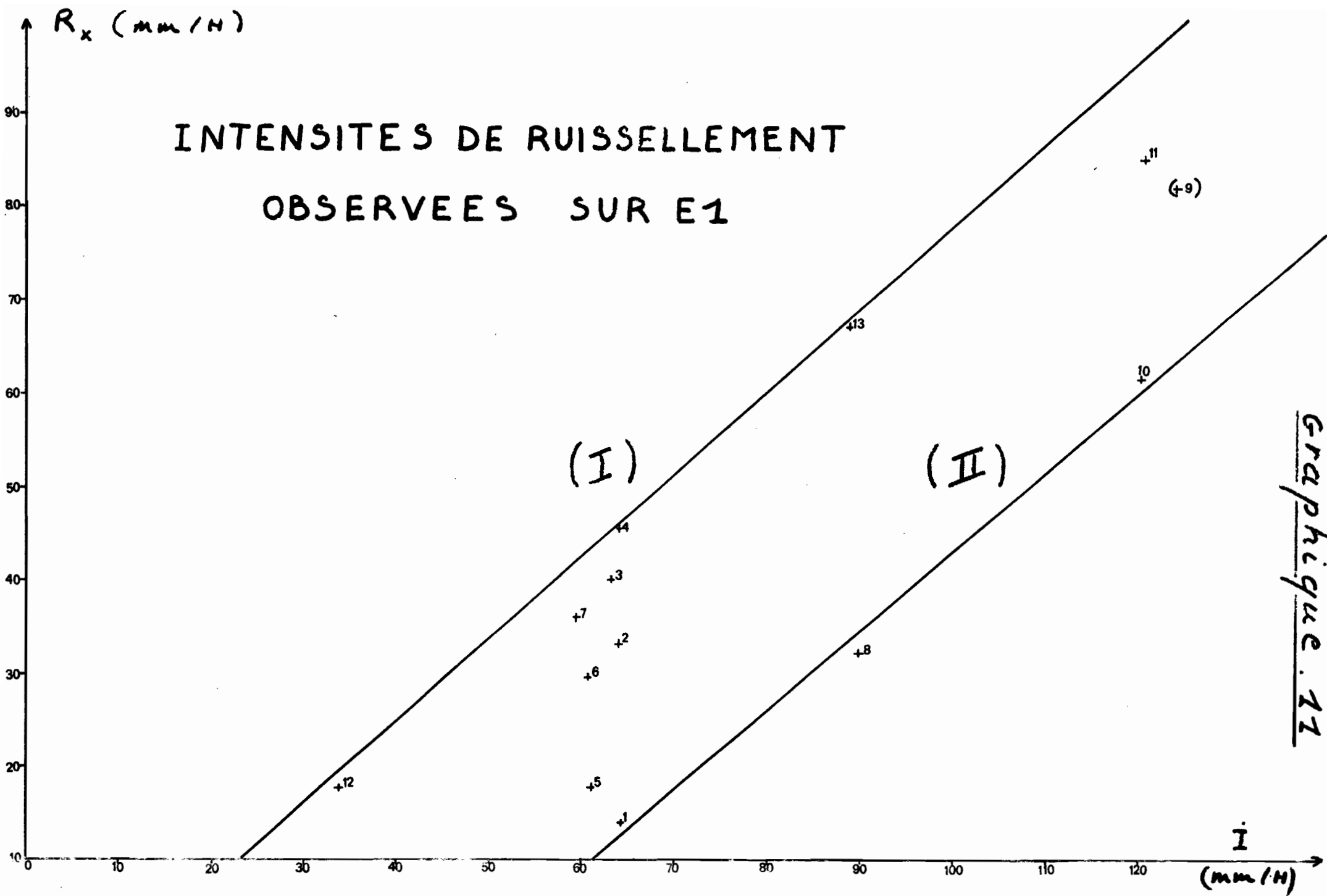
Sur un premier graphique (11) nous avons porté toutes les valeurs (Σ) de R_x en regard de I_m et avons tracé une courbe limite supérieure (1) qui correspond aux meilleures conditions d'humectation initiale comme on peut le vérifier sur le tableau XIII. En effet, cette courbe passe au voisinage du point 12 ($t_a = 0H30$, $P_a = 60,3$ mm), du point 4 ($t_a = 2H50$, $P_a = 63,7$ mm) et du point 13 ($t_a = 2H30$, $P_a = 33,9$ mm). On doit par ailleurs remarquer que ces trois points sont sensiblement alignés car c'est une constatation générale qui peut être faite pour toutes les parcelles dans le domaine de variation de l'intensité d'averse 30 - 120 mm/H. De même, on peut tracer une seconde droite (II) parallèle à la droite (I) et passant au mieux de la distribution des points 1 ($t_a = 264H$, $P_a = 34$ mm), 8 ($t_a = 63H$, $P_a = 9,5$ mm) et 10 ($t_a = 39H$, $P_a = 3,1$ mm) qui correspondent aux conditions de sécheresse du sol observées les plus sévères.

On a donc ainsi délimité pour la parcelle un domaine à l'intérieur duquel doivent se trouver tous les points figuratifs pour un état d'humectation initial intermédiaire. La position d'un de ces points pour une intensité d'averse donnée peut alors être définie par son écart soit à la droite (I) soit à la droite (II) mais en pratique on parvient plus aisément à définir un état du sol "très humide" qu'un état très sec. En effet il est toujours possible d'inclure dans le protocole d'essais des averses se produisant dans des conditions d'humectation très favorables, ces conditions étant réalisables à volonté; ce qui n'est pas le cas pour des conditions extrêmes opposées. Pour cette raison nous avons retenu et étudié l'écart e à la droite (I).

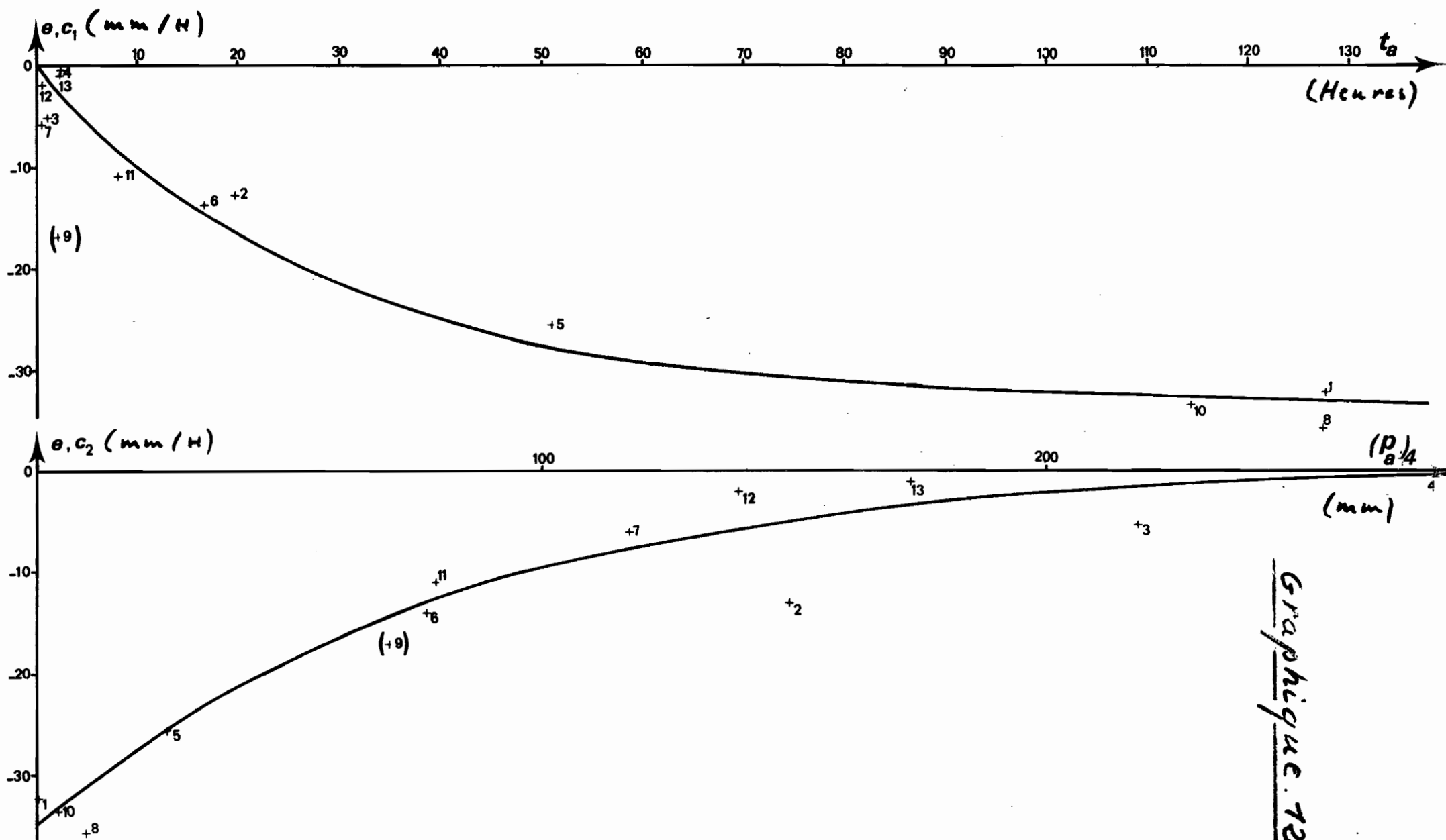
Nous avons procédé à divers essais graphiques de régression entre e et les paramètres susceptibles de caractériser l'état hydrique du sol en début d'averse. Exception faite des sols nus, les meilleurs résultats ont été obtenus pour t_a et $(P_a)_4$ en désignant ainsi la somme des hauteurs de précipitations enregistrées au cours des quatre jours précédant l'averse étudiée. Nous avons pu de cette façon tracer deux courbes moyennes (voir graphique 12) donnant les corrections à faire, C_1 suivant t_a ou C_2 suivant $(P_a)_4$ pour obtenir l'intensité R_x à partir de la valeur maximale fournie par la droite (I).

Inversement, en appliquant aux valeurs de R_x observées la correction moyenne - $\frac{(C_1 + C_2)}{2}$, nous obtenons la distribution de la figure 13 dont la dispersion est acceptable car elle ne présente pas de tendances systématiques. Précisons que lorsque de telles tendances se sont manifestées pour d'autres parcelles, le tracé de la droite (I) a été modifié en conséquence de même que celui des courbes de correction, et ceci autant de fois que nécessaire pour obtenir une distribution définitive sans distorsions. Dans le cas présent l'écart absolu moyen à la courbe (I) est de 2,9 mm/H et tombe à 2,3 mm/H si l'on ne tient pas compte de l'essai n° 9 au cours duquel le régime d'écou-

(Σ) Les points et numéros d'averses entre parenthèses sur les graphiques correspondent à des paliers de ruissellement mal définis: arrêt prématuré de la pluie ou fluctuation importante de débit.



ECARTS ET CORRECTIONS SUR R_x (PARCELLE E1)



Graphique. 12

lement permanent n'avait pas été atteint. Remarquons cependant que si l'on se borne à effectuer la seule correction suivant t_a la dispersion est également acceptable puisqu'on obtient un écart absolu moyen de 2,5 mm/H. Afin d'alléger les calculs au chapitre suivant, cette remarque nous conduira parfois à ne tenir compte que de la correction selon t_a . La meilleure façon de procéder serait évidemment de ne retenir qu'un seul indice de correction du genre indice de KOHLER qui prendrait en compte de façon globale les influences des t_a et des P_a . Nous tenterons de rechercher la forme d'un tel indice dans la troisième partie du rapport général lorsque nous étudierons l'évolution du stock hydrique du sol.

Grâce aux courbes de correction que nous venons de définir nous avons pu tracer sur le graphique 13 quelques droites correspondant à des états différents de la parcelle. Ces droites parallèles ont pour équation paramétrique :

$$R_x = K (I_m - I_l (t_a, P_a))$$

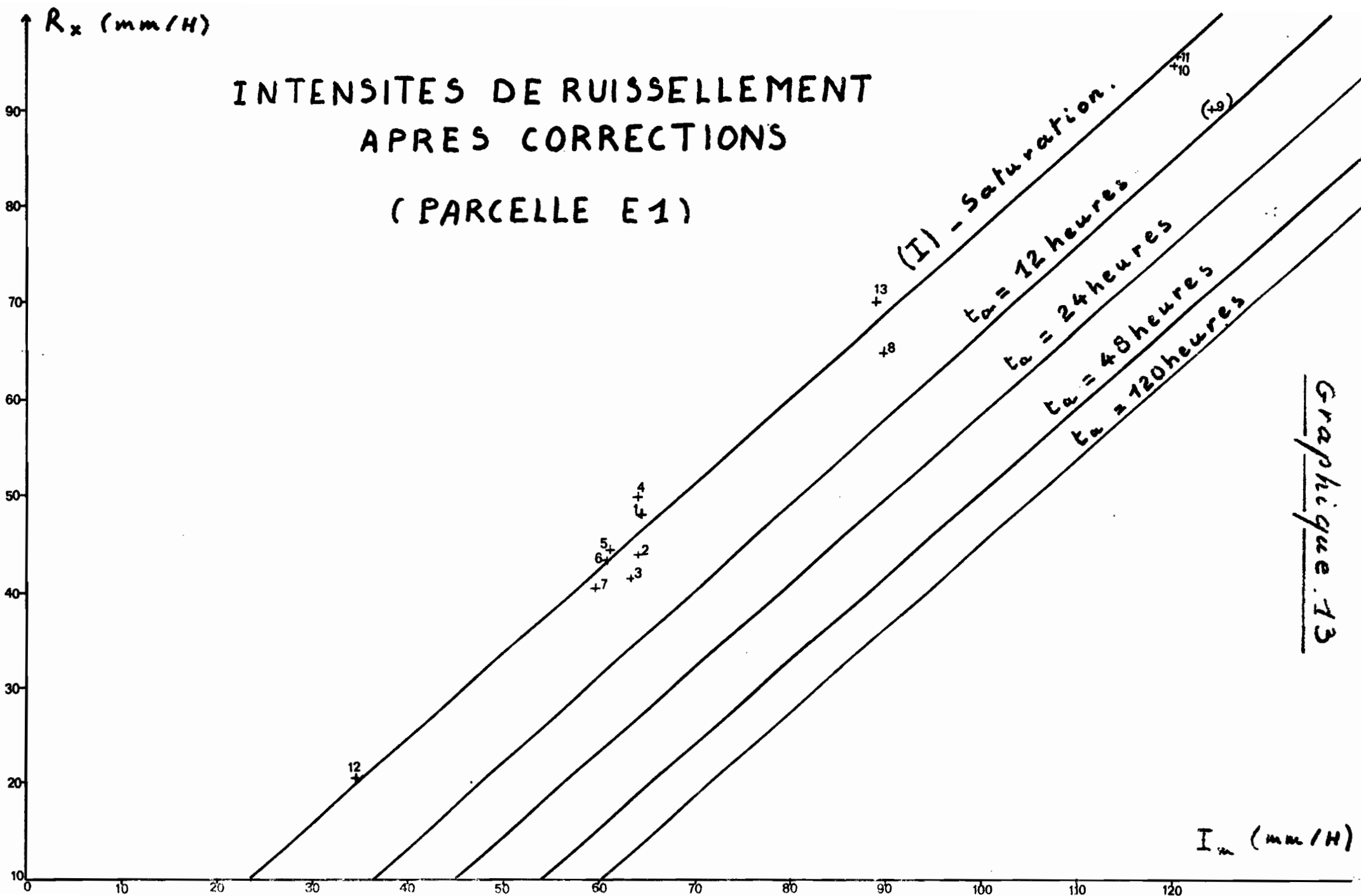
dans laquelle K est une constante sans dimension, caractéristique de la parcelle et I_l une "intensité d'averse limite de ruissellement" dépendant des conditions d'humectation avant l'averse. Bien que cette intensité ne soit dans l'état actuel de nos études rien de plus qu'une limite théorique, il est permis de supposer qu'elle correspond peut-être à une réalité physique et dans ce cas il serait d'un grand intérêt d'explorer le problème plus à fond au cours de recherches ultérieures. Il suffirait en pratique pour cela de pouvoir faire varier à volonté et de façon continue les intensités délivrées par le simulateur de pluie. Ce serait réalisable en apportant quelques modifications à l'appareil.

Afin de mettre en évidence l'influence de la pente et du traitement sur l'intensité maximale de ruissellement R_x , nous avons tracé sur le graphique 14 les différentes droites limite telles que (I) obtenues par la méthode que nous venons d'exposer et avons pu ainsi déterminer graphiquement les valeurs de I_l (x) et celles de K que nous avons reportées en fonction de la pente topographique sur le graphique 15.

On constate que toutes conditions identiques par ailleurs et dans la limite des trois pentes étudiées, K prend des valeurs croissantes depuis le mulch jusqu'au sol nu en passant par les résidus enfouis et les résidus brûlés. On constate en outre que sur sol nu le coefficient K a tendance à décroître avec la pente alors qu'il augmente avec cette dernière sur mulch et résidus enfouis. Sur brûlis le phénomène est apparemment plus complexe car K semble décroître avec la pente pour les faibles valeurs de cette dernière puis croître pour des valeurs plus fortes.

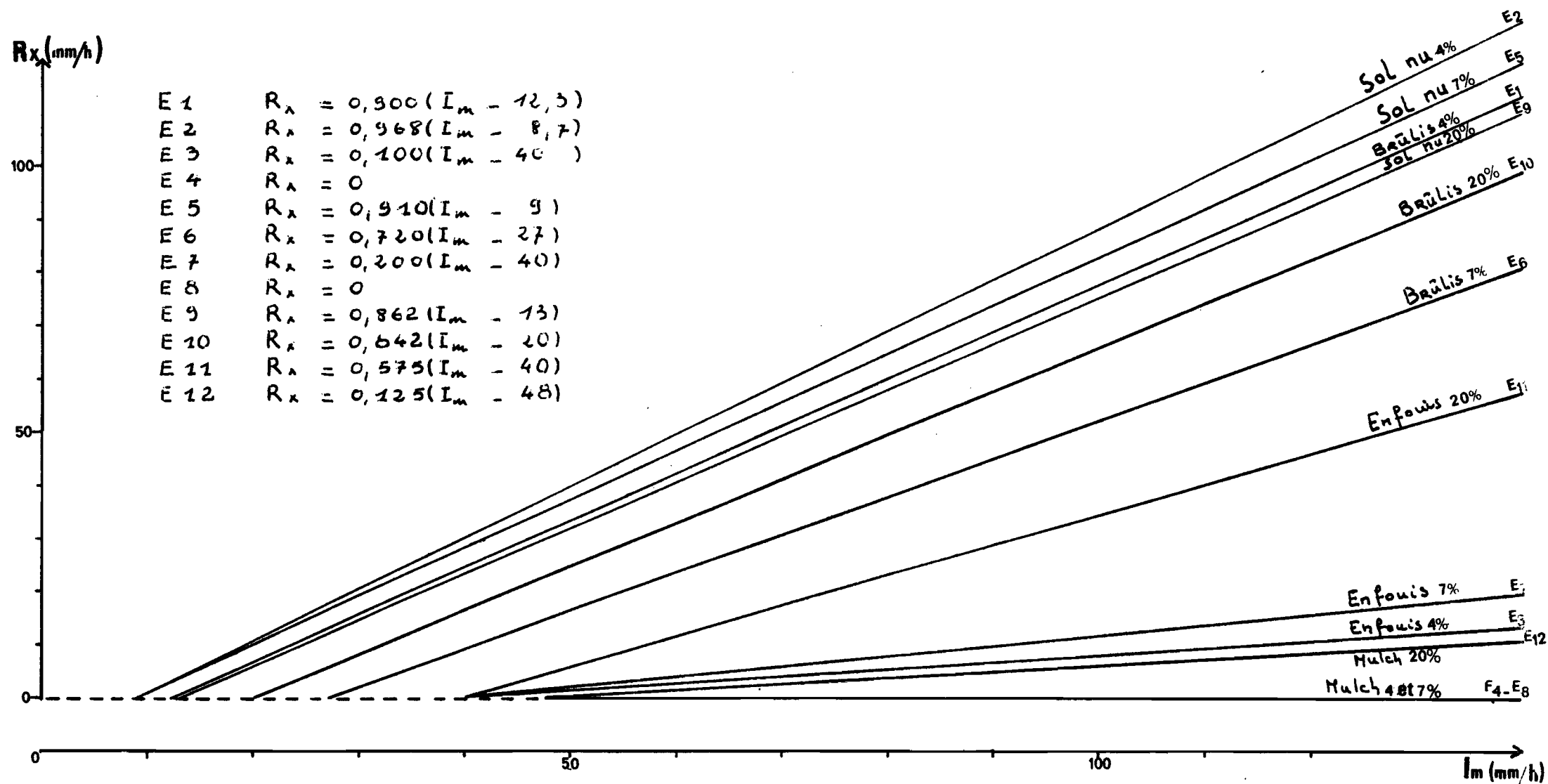
Quant à l'intensité limite minimale théorique de ruissellement elle dépend principalement du traitement de la parcelle et quatre groupes de valeurs apparaissent :

x) Pour un état d'humectation défini par la correction C , on peut également obtenir par le calcul la valeur de I_l correspondante : $I_l = I_{lN} + \frac{(C)}{K}$, I_{lN} étant la valeur minimale de I_l .



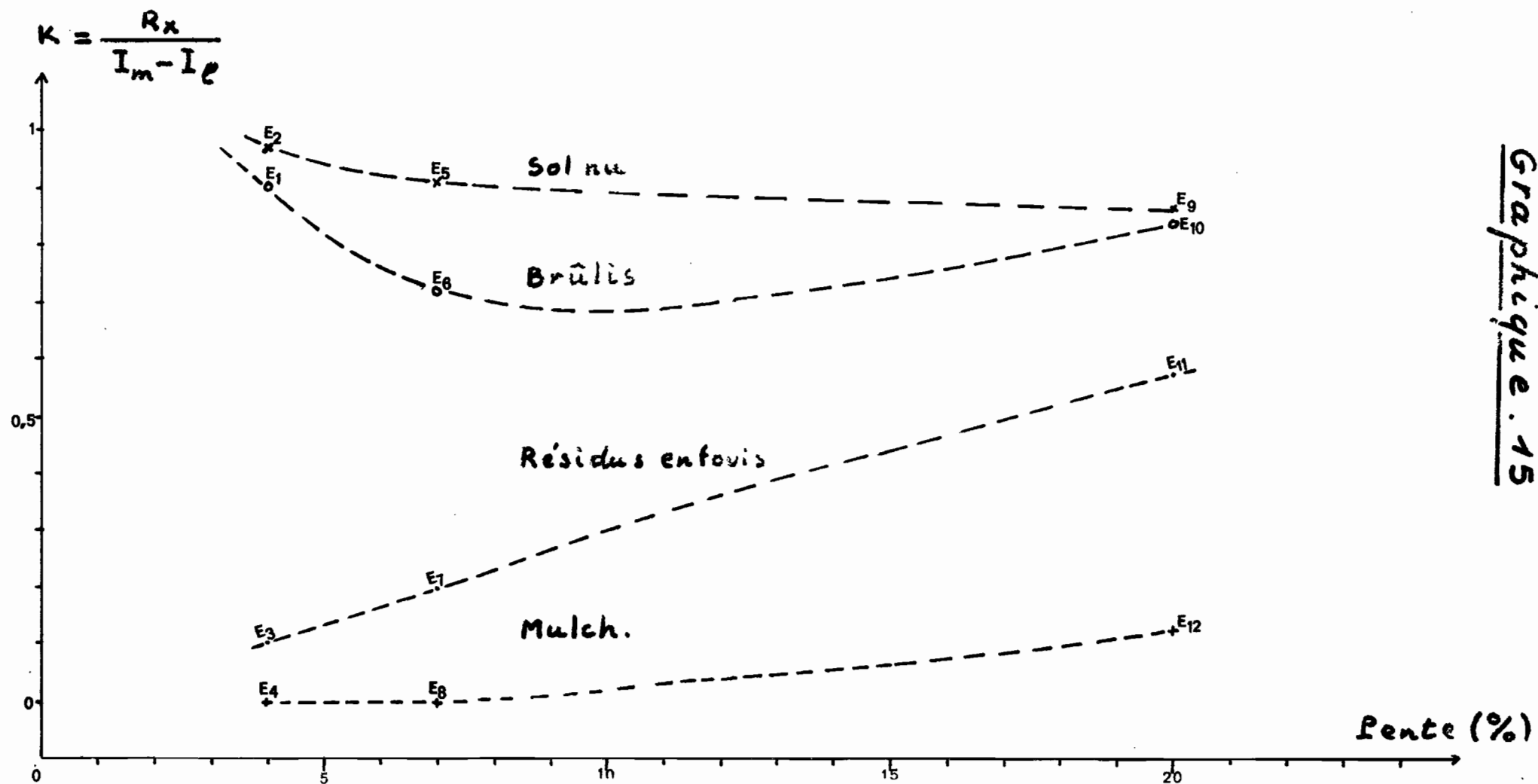
Graphique 13

INTENSITES MAXIMALES DE RUISSELLEMENT DANS LES CONDITIONS D'HUMECTATION LES PLUS FAVORABLES



Graphique 14

INFLUENCE DE LA PENTE ET DU TRAITEMENT SUR LE COEFFICIENT K



Graphique . 15

- Entre 9 et 13 mm/H sur sol nu
- Entre 12 et 27 mm/H sur brûlis
- 40 mm/H sur résidus enfouis quelle que soit la pente
- Indéterminée mais supérieure à 120 mm/H sur mulch et pente inférieure à 7 %, égale à 48 mm/H pour pente de 20 %.

Enfin, pour aborder l'étude comparative de la variabilité de R_x en fonction de l'état hydrique initial, nous pouvons examiner les courbes de correction suivant t_a ou $(P_a)_4$ sur les graphiques 12 et 16 à 19.

L'examen de ces graphiques ne fait pas ressortir d'influence très nette du traitement ou de la pente. Il semble seulement que le rôle de l'état d'humectation initial est le plus important sur brûlis où les écarts maximaux sur R_x sont compris entre 35 mm/H (pente 4 %) et 17 mm/H (pente 20 %). Ensuite viennent les sols nus (écarts maximaux compris entre 20 mm/H et 5 mm/H) puis les résidus enfouis (entre 11 mm/H pour la pente de 20 % et 4 mm/H pour celle de 4 %). Sur mulch les variations dues à l'état d'humectation initiale sont encore plus faibles et ne dépassent pas 2 mm/H, c'est pourquoi nous avons jugé inutile de tracer une courbe de correction.

Il convient d'ouvrir une parenthèse au sujet du sol nu : sur le graphique 17 nous avons reporté pour la parcelle E2 les écarts e observés par rapport à la valeur maximale de R_x en fonction de la somme des précipitations antérieures depuis l'averse N° 1 et nous avons tracé une courbe (III), enveloppe de la distribution de points en espérant ainsi éliminer le facteur "tassement et glaçage du sol en surface". Il ne faut pas oublier en effet que les sols nus ont été labourés juste avant la première averse et ont donc vu leur structure superficielle modifiée par la suite à chaque averse. D'après l'aspect de la courbe (III), cette structure semble s'être stabilisée définitivement après l'averse N°7. Nous avons ensuite reporté en fonction de t_a les écarts résiduels e' observés par rapport à la courbe (III) et avons obtenu ainsi la distribution correspondant à la courbe (IV) qui présente une dispersion relativement faible.

Nous avons tenté d'appliquer la même méthode aux deux autres parcelles sur sol nu (E5 et E9) mais, il faut le dire, sans grand succès. Cela peut signifier que nous avons eu de la chance avec la parcelle E1 ou bien alors que les phénomènes de glaçage et de tassement ont été beaucoup plus rapides sur fortes pentes.

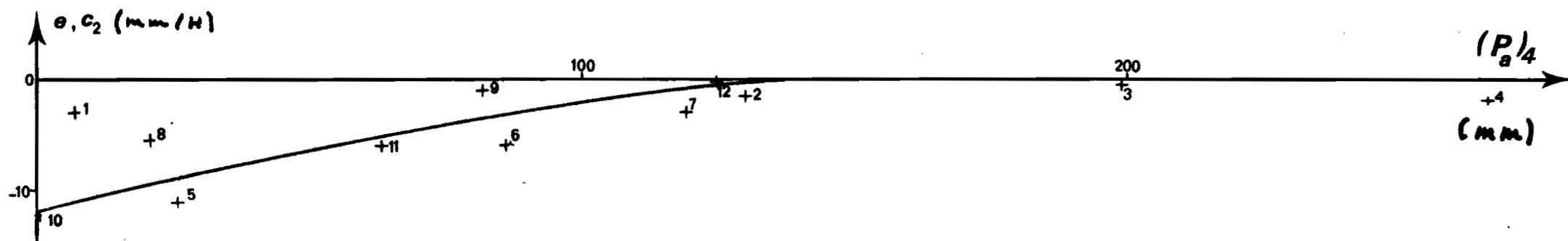
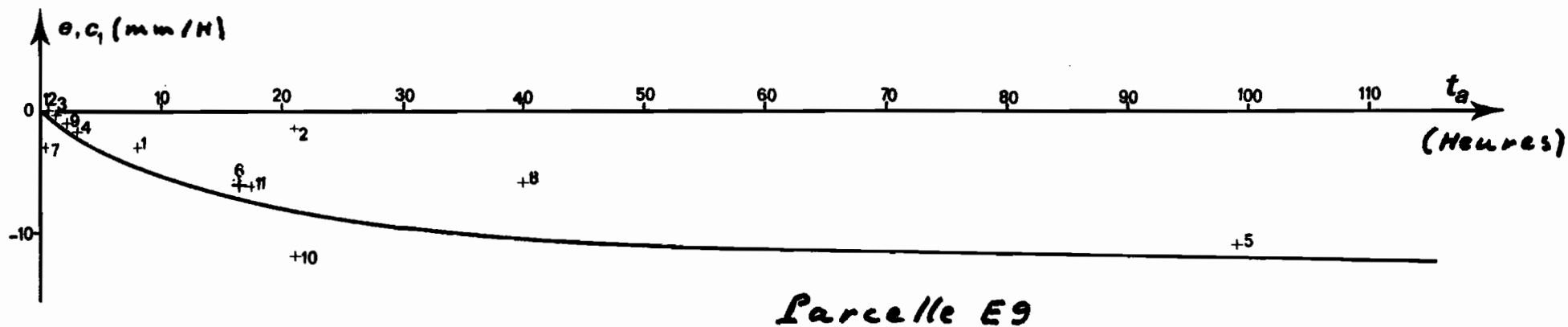
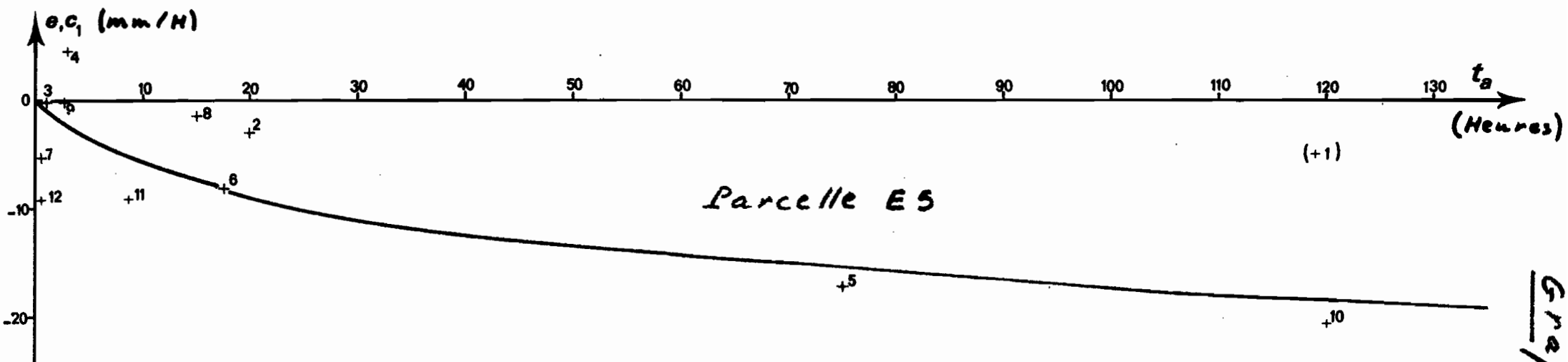
4.3. ETUDE DE LA DETENTION SUPERFICIELLE

Sur les graphiques numérotés de 20 à 24, nous avons reporté pour toutes les averses ayant donné lieu à du ruissellement les valeurs de la détention superficielle en fonction de l'intensité de ruissellement correspondante au moment de l'arrêt de la pluie (valeurs de R_x dans les tableaux des caractéristiques de ruissellement).

Malgré une relative dispersion des points qui se manifeste

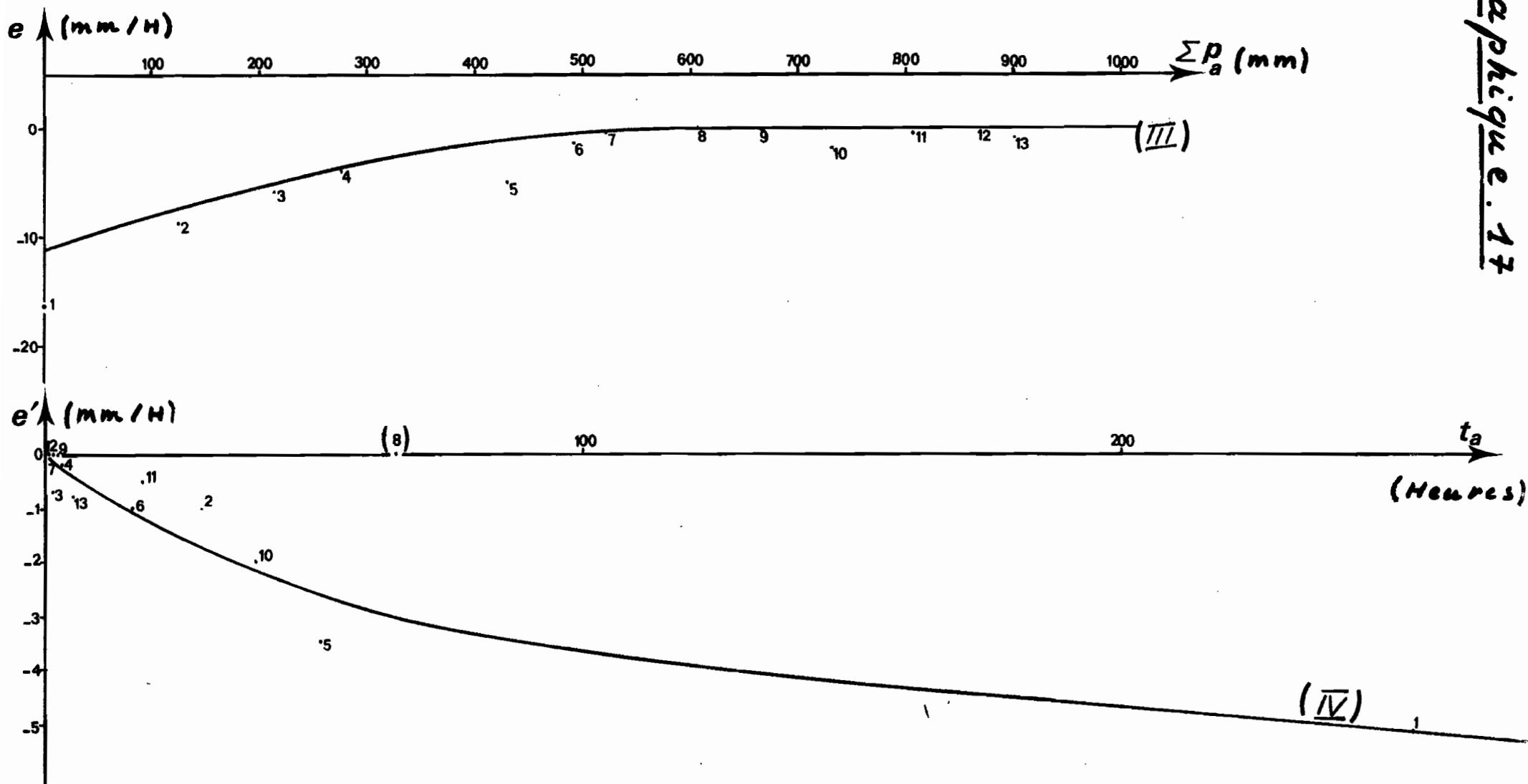
ECARTS ET CORRECTIONS SUR R_x

Graphique. 16

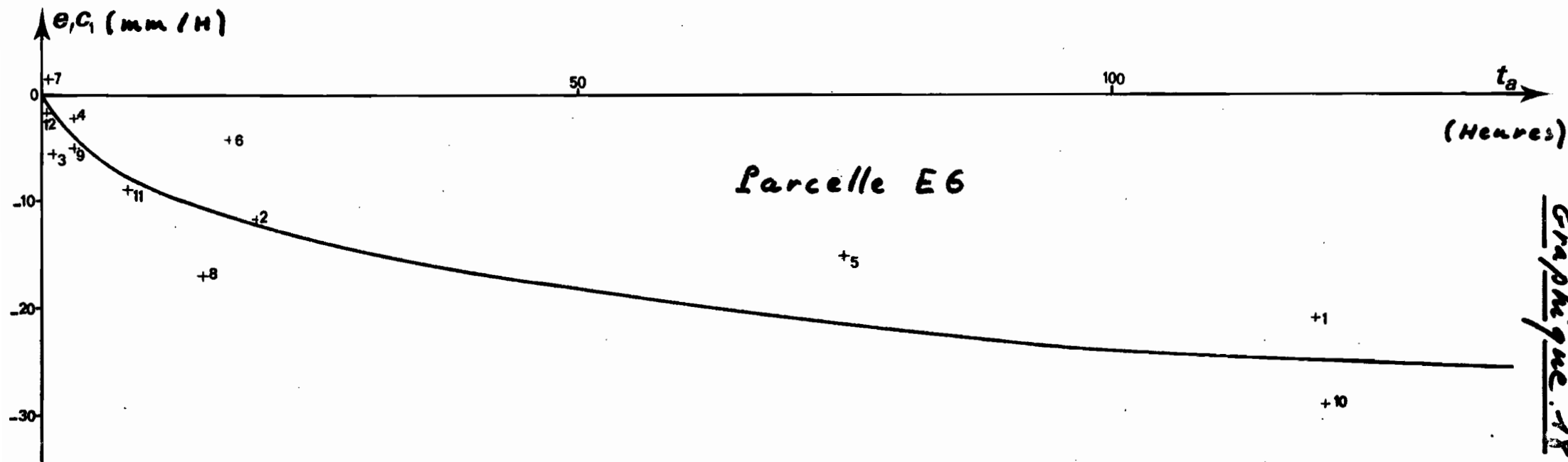
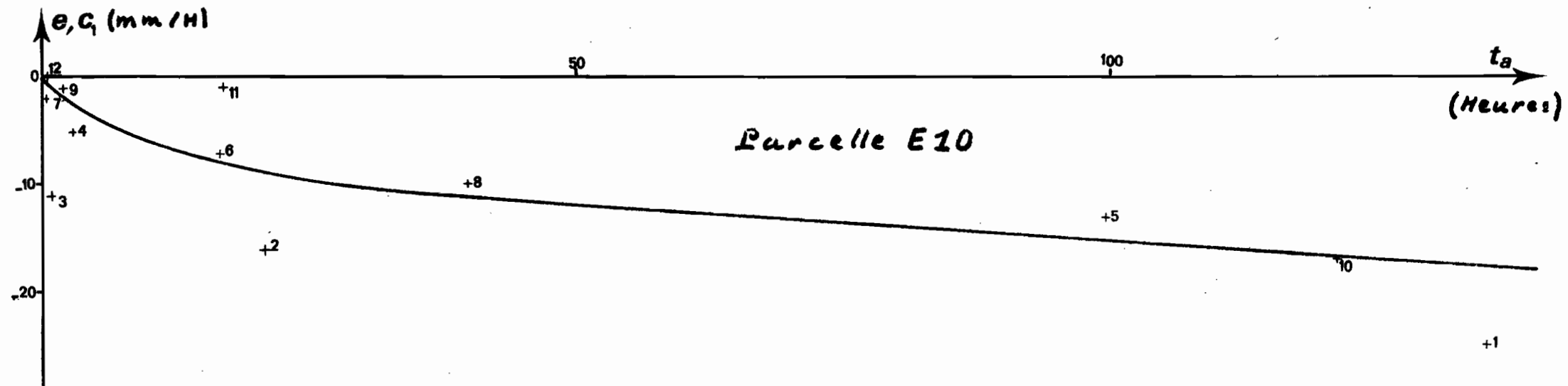


ECARTS ET CORRECTIONS SUR R_x (Parcelle E2)

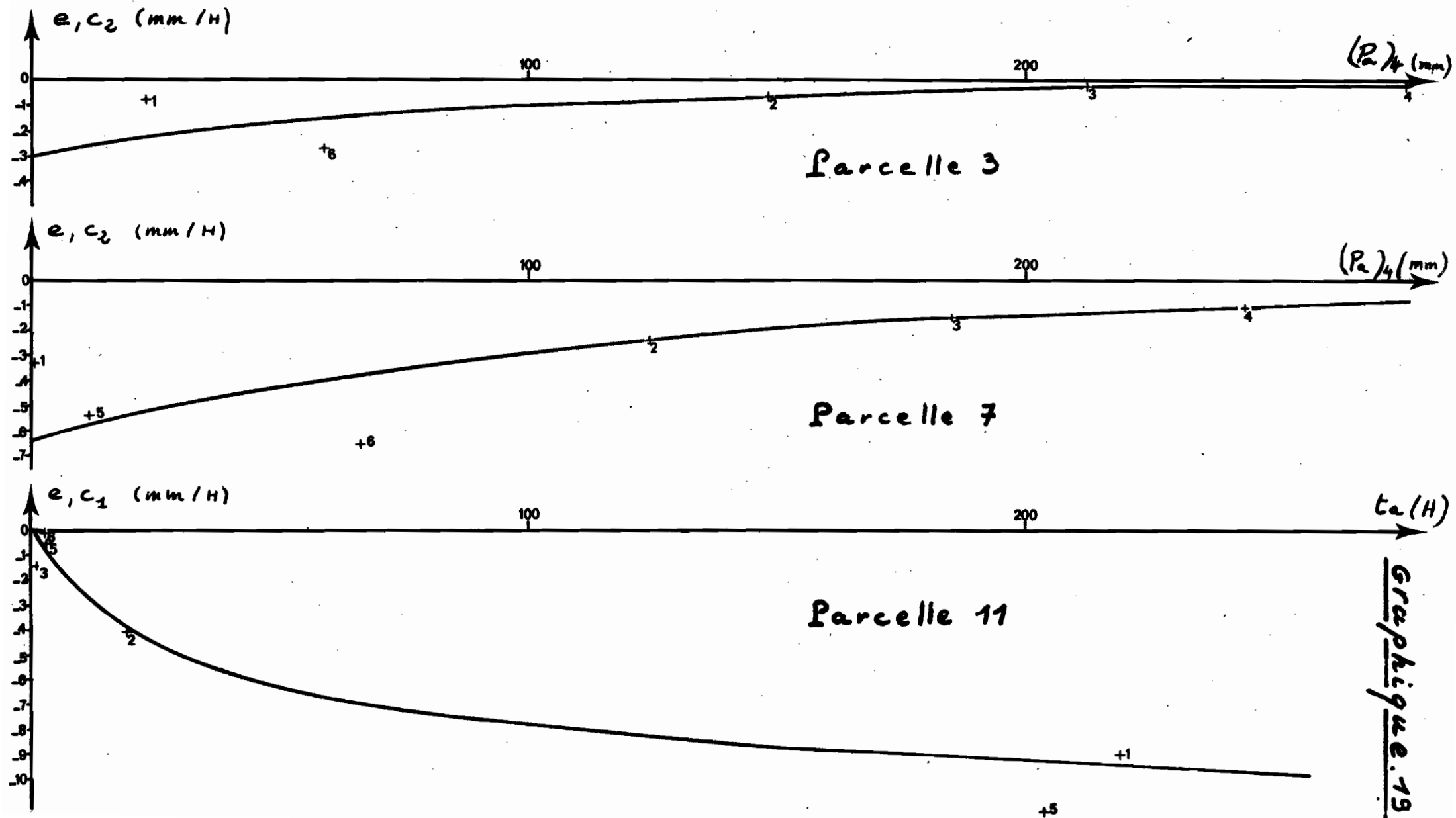
Graphique. 17



ECARTS ET CORRECTIONS SUR R_x



ECARTS ET CORRECTIONS SUR R_x



Graphique. 13

pour certains d'entre-eux (*), l'examen de ces graphiques permet d'affirmer qu'il existe une relation de proportionnalité entre les deux variables dans le domaine de variation exploré. C'est d'ailleurs une constatation expérimentale générale que nous avons déjà faite auparavant sur d'autres types de sols. Dans chaque cas nous avons donc déterminé graphiquement la valeur du rapport $\frac{D_s}{R_x}$

Il convient de remarquer que ce rapport a la dimension d'un temps et traduit en quelque sorte la résistance offerte au ruissellement par la surface du sol de la parcelle (rugosité et pente). En effet, pour une intensité de ruissellement donnée, une parcelle retient un stock d'eau mobilisable d'autant plus important que la valeur de ce rapport est plus grande.

Afin d'examiner cette propriété en liaison avec la pente topographique et le traitement du sol, nous avons consigné dans le tableau ci-après les valeurs exprimées en heures trouvées pour les "temps de détention" $t_d = \frac{D_s}{R_x}$ caractérisant chaque parcelle.

Traitement	Pente	4 %	7 %	20 %
Sol nu		0,0147	0,0127	0,0127
Brûlis		0,0400	0,0212	0,0180
Résidus enfouis		0,0260	0,0194	0,0152
Mulch		-	-	0,0290

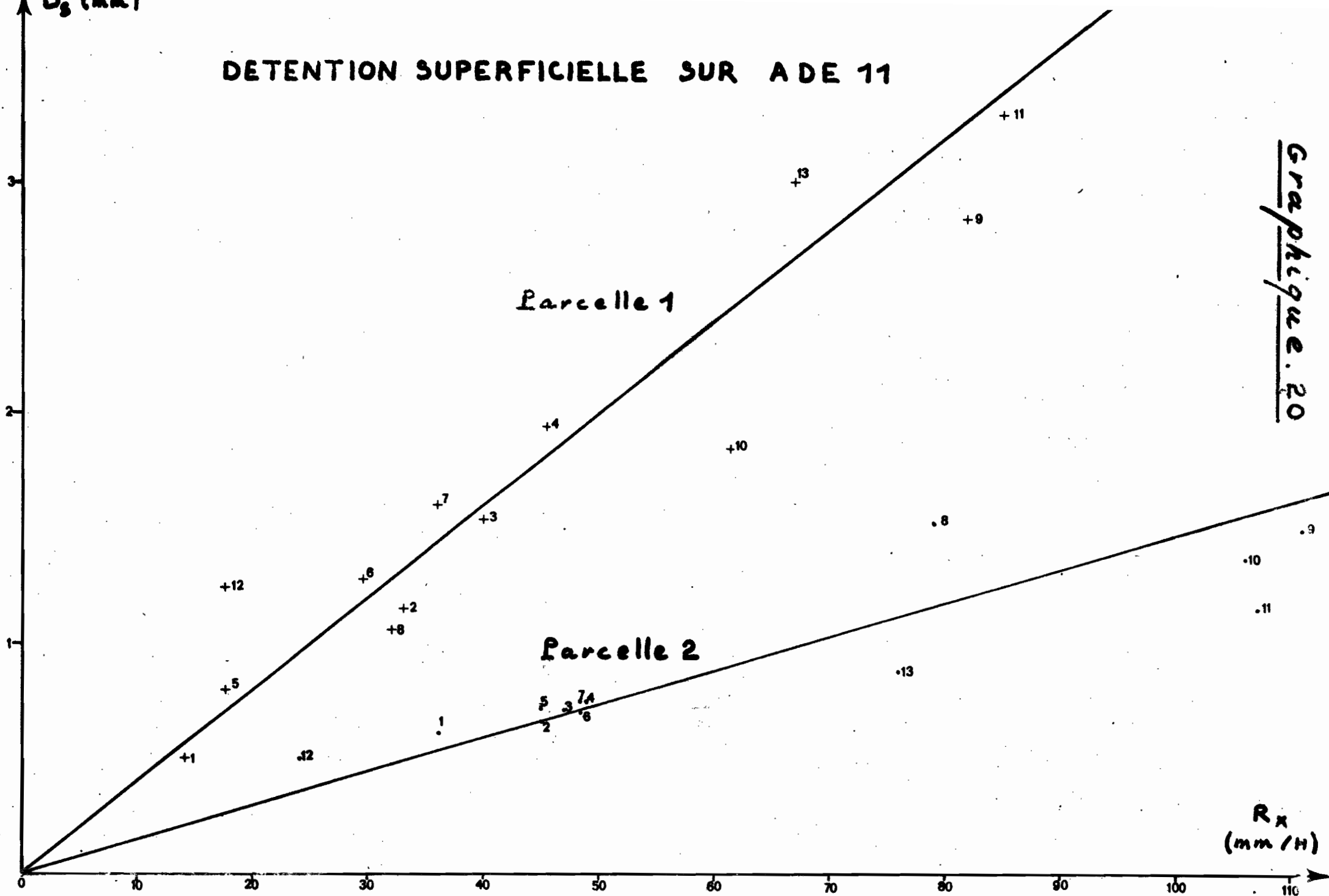
Ces résultats sont traduits graphiquement sur la figure N° 25 qui permet de visualiser une double tendance :

- 1) Pour une même pente topographique et une même intensité de ruiss-

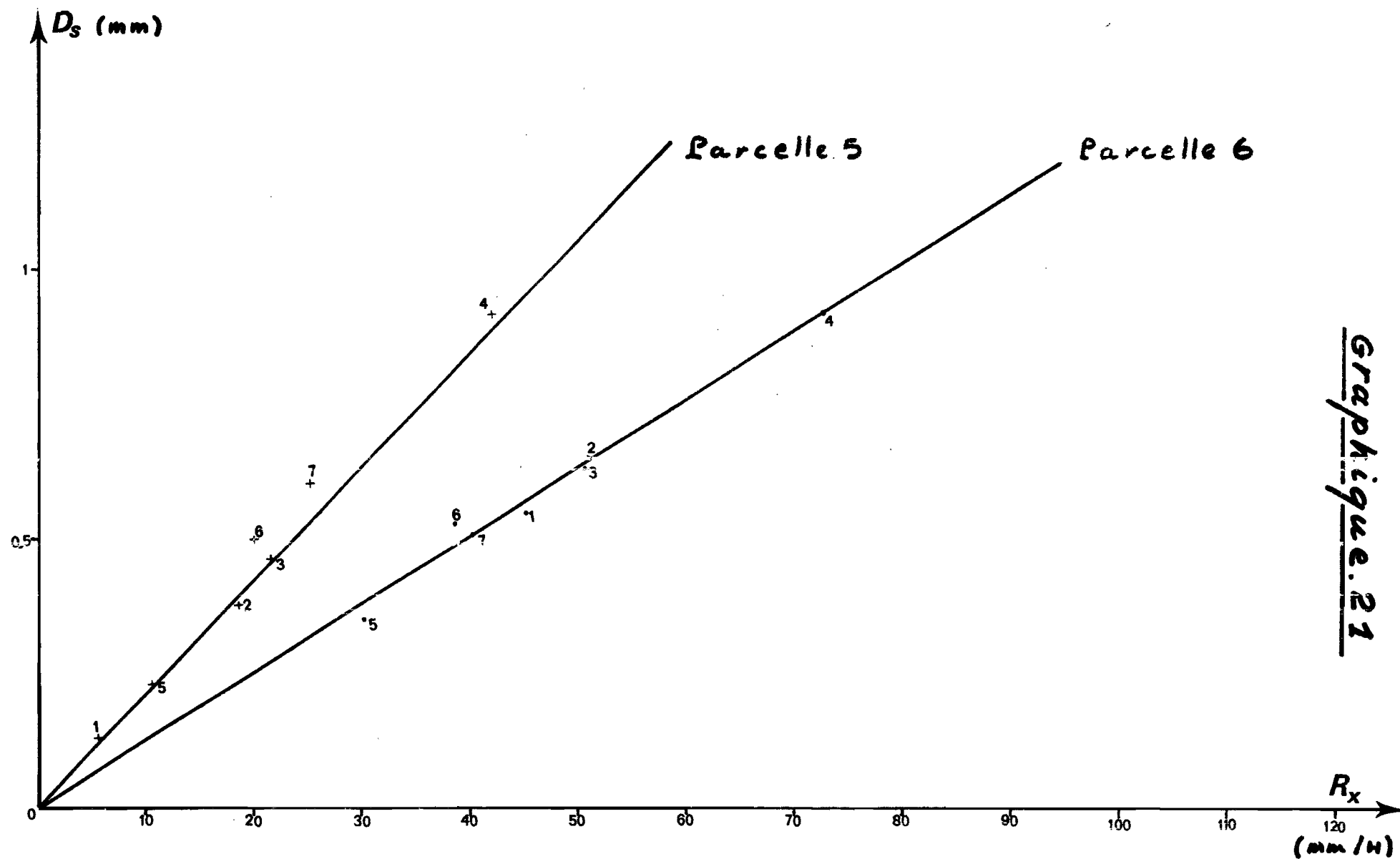
*) Cette dispersion correspond à la précision des mesures $\frac{\Delta H}{H}$ sur les lames d'eau écoulées : l'incertitude sur la mesure H est d'environ 0,05 mm lorsque la valeur de D_s est obtenue directement sur le limnigramme mais elle est près de dix fois plus élevée lorsqu'on est obligé de déterminer D_s par planimétrage de l'hydrogramme, ce qui entraîne une incertitude relative de 50 % pour une lame d'eau ruisselée de 1 mm.

DETENTION SUPERFICIELLE SUR ADE 11

Graphique. 20

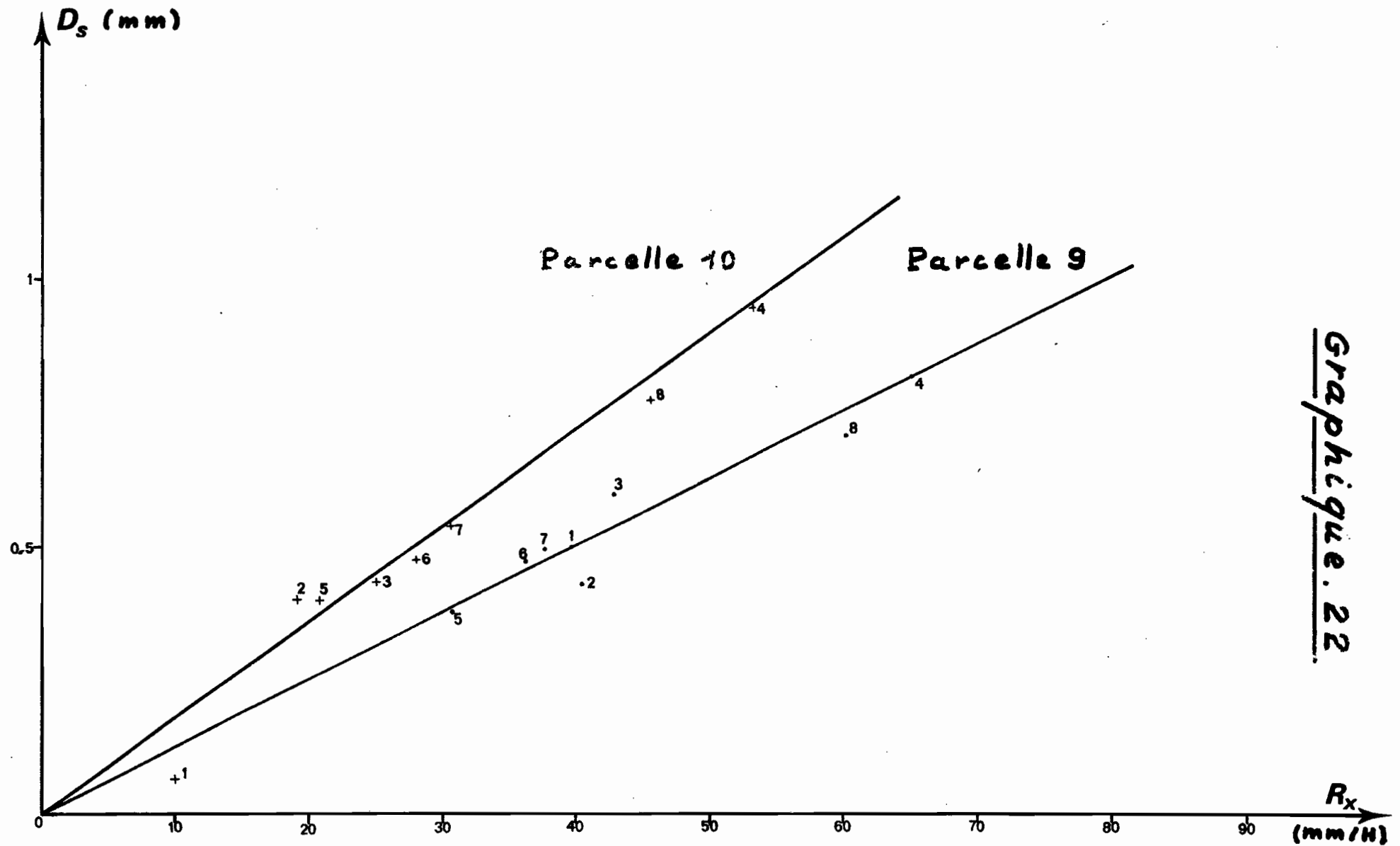


DETENTION SUPERFICIELLE SUR ADE 13

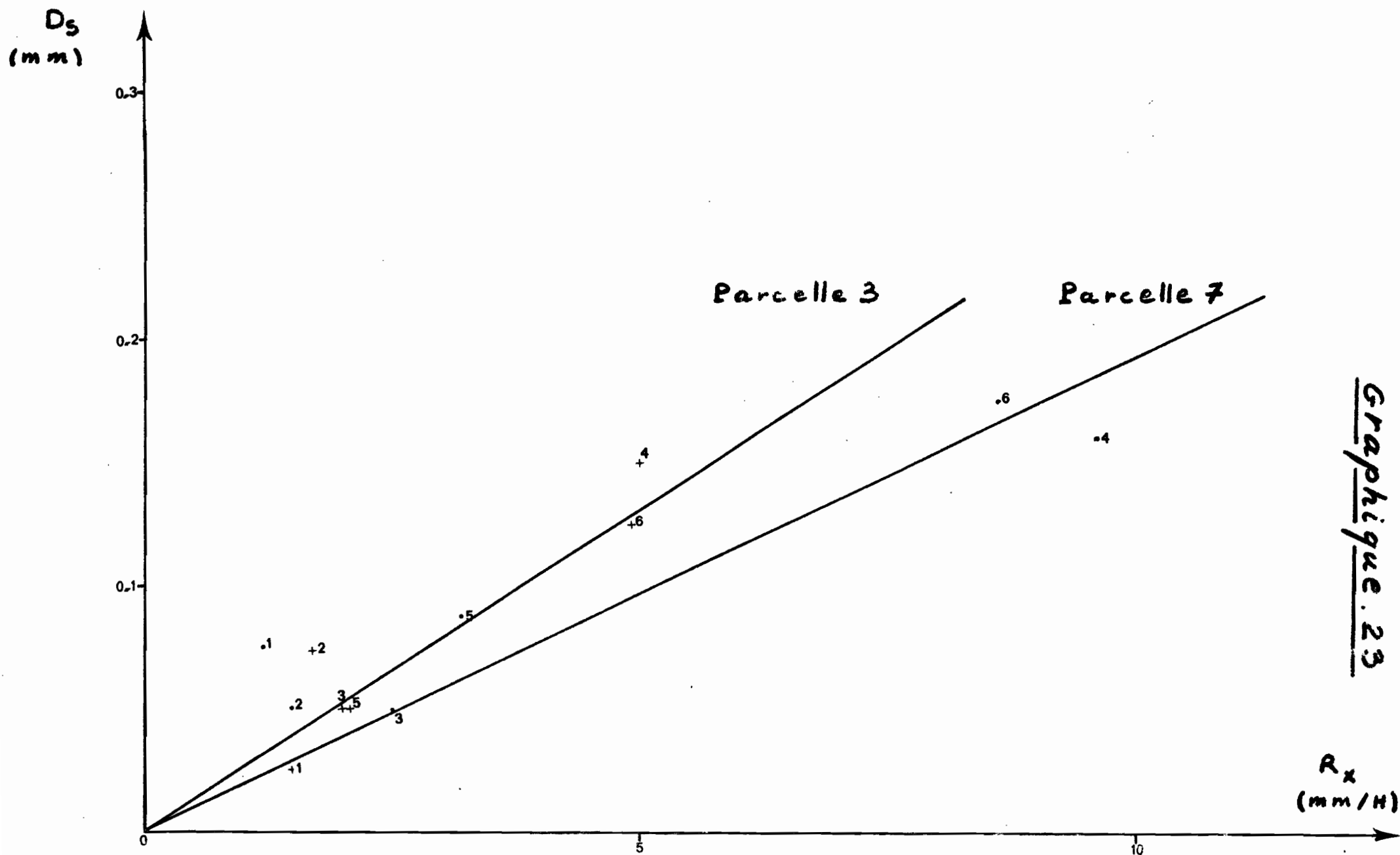


Graphique. 21

DETENTION SUPERFICIELLE SUR ADE 15

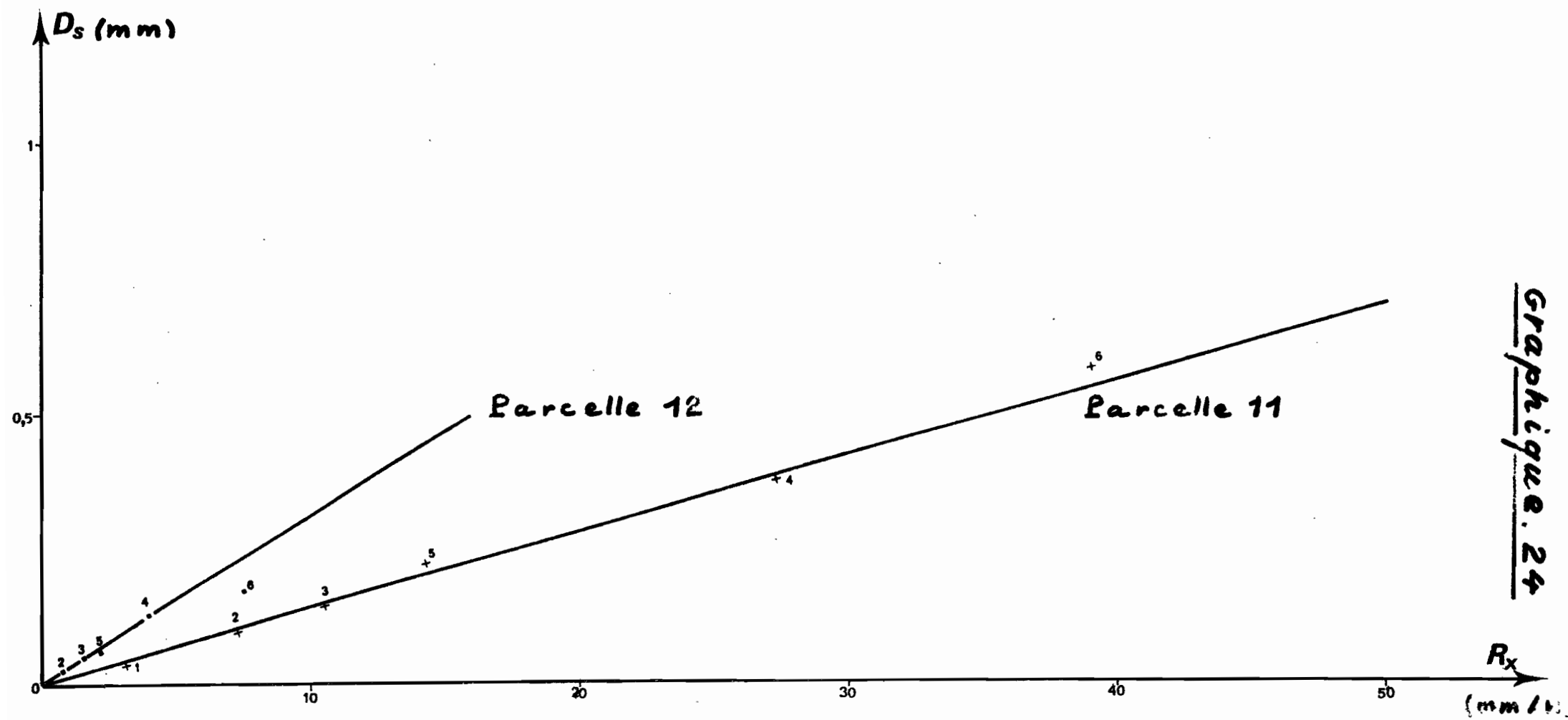


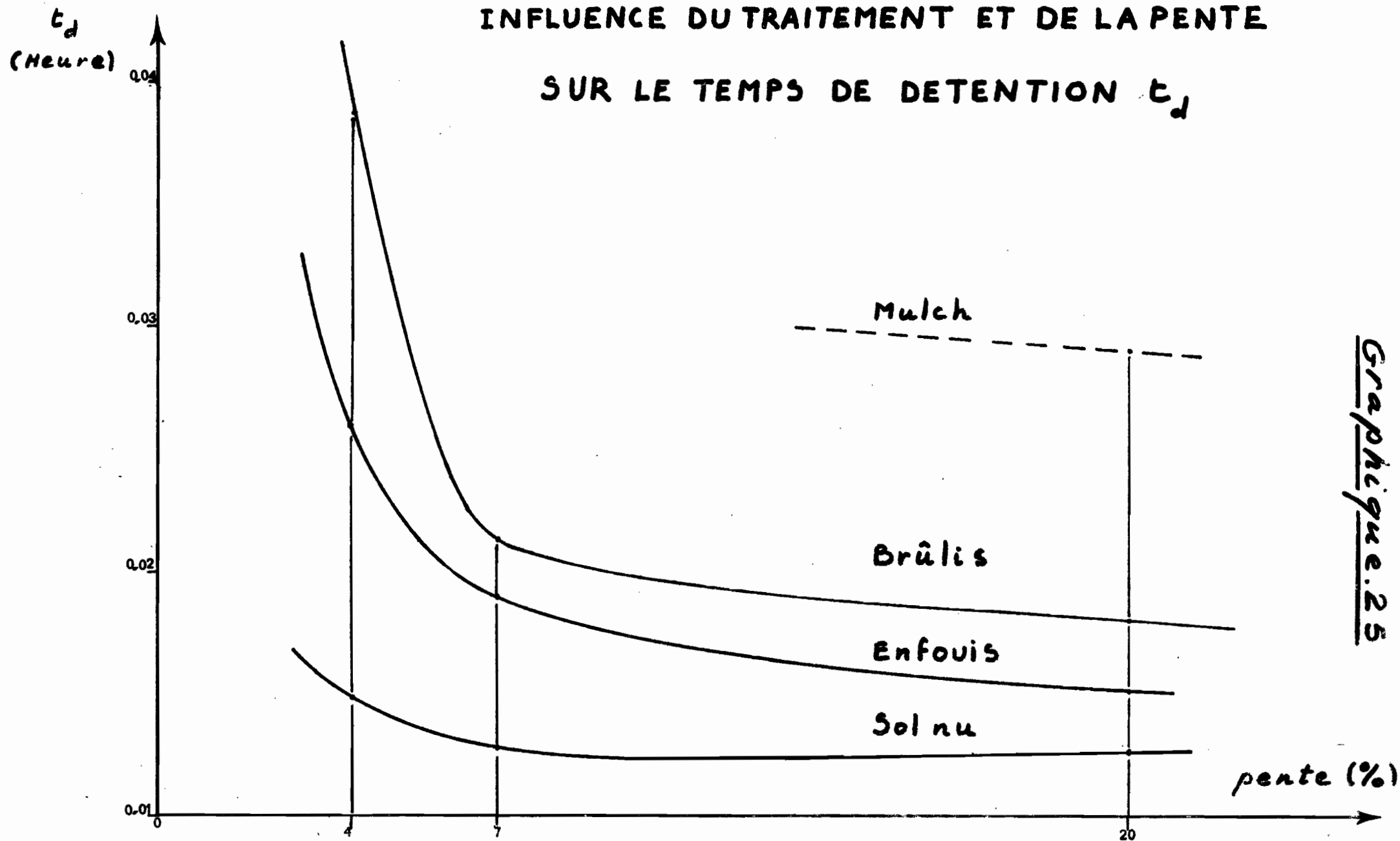
DETENTION SUPERFICIELLE SUR ADE 12 et 14



Graphique 23

DETENTION SUPERFICIELLE SUR ADE 16





Graphique.25

sellement, ce sont les parcelles cultivées qui présentent les valeurs de détention superficielle les plus élevées, le traitement le plus efficace à ce point de vue étant le mulch.

2) Une augmentation de pente a pour effet de diminuer la détention superficielle, cet effet étant d'autant plus sensible que la pente est faible : il semble même que sur sol nu les variations de pente entre 7 % et 20 % n'aient aucune influence sur la détention superficielle.

4.4. QUELQUES REMARQUES CONCERNANT L'INFILTRATION.

4.4.1. Expression analytique simplifiée

En supposant que les réactions de la parcelle sont instantanées, c'est-à-dire en négligeant à la fois les temps de propagation d'un point quelconque de la parcelle à l'exutoire et les fonctions d'étalement qui leur sont liées, on peut écrire que durant un court instant dt , la hauteur de pluie dP se partage entre une lame d'eau ruisselée $R dt$, une lame d'eau infiltrée $F dt$ et un accroissement de la détention superficielle $t_d dR$, soit, en termes d'intensités:

$$F = I - R - t_d \frac{dR}{dt} \quad (1)$$

Un cas particulièrement simple est celui de la phase de vidange pour un sol très peu perméable. Dans cette situation, l'intensité de la pluie étant nulle et celle de l'infiltration négligeable, on a :

$$\frac{dR}{R} = -\frac{dt}{t_d} \quad (2)$$

En intégrant à partir de l'instant t_u correspondant à l'arrêt de la pluie on a :

$$\begin{aligned} \text{Log } R - \text{Log } R_x &= -\frac{(t - t_u)}{t_d} \quad \text{soit:} \\ R &= R_x e^{-\frac{t - t_u}{t_d}} \quad (3) \end{aligned}$$

Cette dernière relation montre que dans ce cas la loi de vidange des réserves superficielles mobilisables est une loi de tarissement exponentielle dont le coefficient est $\frac{1}{t_d}$.

Un second cas encore plus simple est celui du régime permanent où l'on a bien évidemment :

$$F = F_N = I_m - R_x \quad (4)$$

4.4.2. Influence de l'intensité de la pluie sur le régime d'infiltration.

En vertu de la relation (4) qui précède et d'après les développements du paragraphe 4.3., on peut exprimer l'intensité de l'infiltration en régime permanent par la relation :

$$F = F_N = I_m - R_x = I_m - K [I_m - I_1 (t_a, P_a)]$$

soit:
$$F = (1 - K) I_m + K I_1$$

Cette relation n'est valable que si $I_m > I_1$, sinon il y aurait infiltration totale, $F = I_m$, mais elle montre que lorsque la parcelle ruisselle en régime permanent, l'intensité de l'infiltration est une fonction linéaire de l'intensité de la pluie. Ceci, bien entendu, pour le type de sol étudié et dans le domaine limité des intensités explorées.

L'étude des intensités minimales d'infiltration F_N aurait pu être faite parallèlement à celle de R_x au paragraphe 4.3. et tout ce qui a été dit pour R_x reste valable pour F_N . Nous pouvons en particulier tracer le faisceau de droites de la figure 26 donnant les intensités minimales en fonction de I_m pour des conditions d'humectation du sol les plus favorables. Ce faisceau se déduit de celui de la figure 14 par simples déplacements.

4.4.3. Remarques au sujet de l'infiltration MUNTZ

Avant, aussi bien qu'après la série de pluies simulées, nous avons réalisé sur certaines parcelles des mesures d'infiltration à l'infiltromètre MUNTZ.

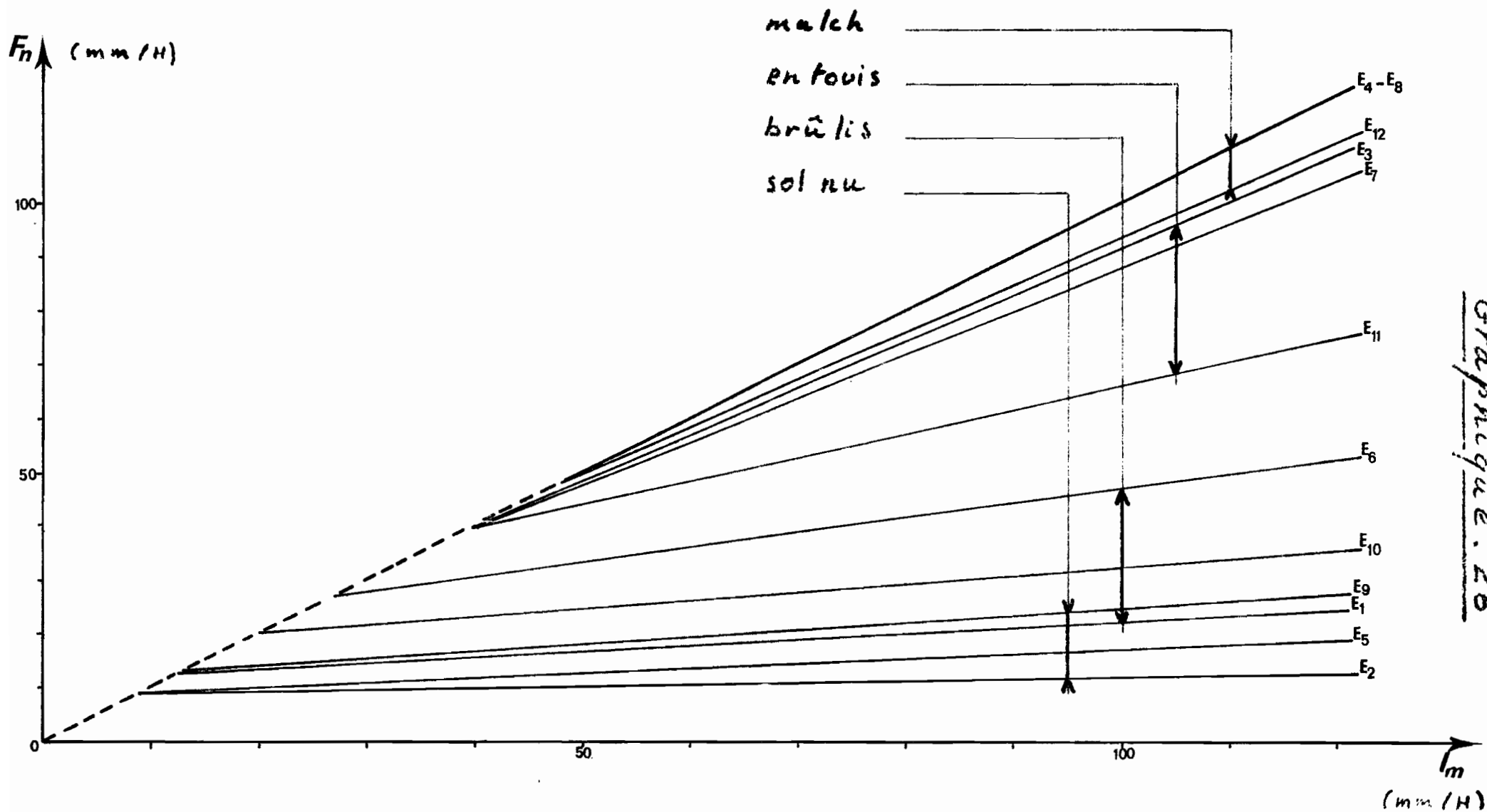
L'appareil utilisé est du type COLOMBANI - LAMAGAT - THIEBAUX (5) dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

- diamètre de l'anneau de mesure	112 mm
- diamètre de l'anneau de garde	320 mm
- enfoncement des cylindres dans le sol	60 mm
- charge d'eau sur le sol	30 mm

Les mesures ont été faites sur sol sec pour la pente de 4 %, sur sol sec puis sur sol très humide pour celle de 7 %. Sur pente de 20 % il n'a évidemment pas été possible d'utiliser l'appareil.

Les résultats de chaque mesure ponctuelle ainsi que les moyennes par site ont été rassemblés dans le tableau XIX en regard des intensités minimales d'infiltration observables sous averses de différentes intensités, ces valeurs étant extraites du faisceau de droites de la figure 26.

INTENSITES D'INFILTRATION MINIMALE DANS LES MEILLEURES CONDITIONS D'HUMECTATION INITIALE



Graphique. 26

TABLEAU XIX - RÉSULTATS DES MESURES D'INFILTRATION MUNTZ

[illegible]

L'examen du tableau XIX conduit à faire plusieurs remarques :

1) La dispersion des mesures effectuées sur un même site est très acceptable si on la compare à celles, beaucoup plus fortes, que l'on obtient généralement avec ce type d'appareil. Ceci montre bien que les sols des parcelles sont particulièrement homogènes ainsi que les traitements reçus.

2) Les ordres de grandeur des valeurs MUNTZ et des valeurs observées sous averse sont différents : le rapport des moyennes obtenues sous charge constante aux valeurs correspondantes obtenues sous intensités de 120 mm/H est compris entre 3 et 12 pour les parcelles cultivées et atteint 45 sur sol nu. Cette remarque vient confirmer, il convient de le préciser, les observations déjà faites à l'occasion de précédentes campagnes de mesures (6) sur des types de sol très différents.

On pourrait expliquer les différences observées par plusieurs causes possibles :

- La charge d'eau sur le sol, plus forte, est uniformément répartie dans le cas de l'infiltromètre alors qu'elle l'est de façon très inégale sous ruissellement : en réalité l'eau ne ruisselle pas "en nappe" mais se concentre dans des rigoles plus ou moins larges qui de toutes façons occupent une faible superficie relative du sol. Il faut d'ailleurs remarquer que cette superficie relative est d'autant plus élevée que la pente topographique est plus forte (érosion plus intense) ce qui pourrait fournir une explication au fait que la part de l'infiltration est plus grande sur forte pente que sur faible pente dans le cas du sol nu (voir graphique N° 26).

- L'effet d'échelle : si l'infiltration se produit sur une grande surface, l'air qui est chassé des pores est en grande partie refoulé vers le bas et continue à gêner l'infiltration. Si au contraire l'infiltration se produit sur une superficie réduite de quelques décimètres carrés, l'air a toujours la possibilité de s'échapper latéralement.

- L'effet destructeur de l'appareil : à sa mise en place, on ne peut éviter d'engendrer des vibrations susceptibles de modifier la structure du sol, et de diminuer localement sa cohésion, notamment dans le cas d'un sol très sec qui a tendance à se fissurer plus facilement qu'un sol humide à la suite d'ébranlements répétés. Il faut également signaler que l'alimentation en eau s'effectuant par à coups, il y a, à chaque fois, dans les cylindres, création de courants susceptibles de mettre en suspension les particules les plus fines de la couche superficielle et de diminuer ainsi l'efficacité des croûtes ou pellicules de battance.

3) Que ce soit sous charge constante ou sous averse, le classement des parcelles cultivées par ordre de perméabilités croissantes est le même : dans l'ordre, brûlis, résidus enfouis et mulch. En revanche les résultats obtenus sur sol nu sont des plus surprenants : l'infiltromètre fournit pour eux les perméabilités les plus fortes alors que ce sont en réalité les moins perméables. Mais il ne faut pas perdre de vue que ces parcelles ont été préalablement labourées sur 10 cm de

profondeur et que par conséquent, sous une couche superficielle compactée et imperméabilisée par les impacts des gouttes se situe un horizon de surface très aéré et perméable. Il est probable qu'en utilisant l'appareil MUNTZ on mesure la perméabilité de cet horizon partiellement privé de l'effet protecteur de la couche superficielle comme on l'a supposé plus haut. On trouve en effet, sur le sol nu des parcelles, des intensités d'infiltration beaucoup plus fortes que sur les sols nus sous forêt environnante qui eux n'ont jamais été soumis au labour.

4) On constate enfin des différences significatives et systématiques entre les résultats obtenus sur sol sec d'une part et sur sol très humide d'autre part (pente de 7 %). Les perméabilités MUNTZ sont en effet de 20 % à 50 % moins élevées sur sol très humide.

4.5. PROPAGATION DU RUISSELLEMENT.

Pensant pour différentes raisons, qu'il pourrait être intéressant de connaître les vitesses moyennes de propagation du ruissellement à la surface des parcelles en fonction de la pente et des intensités de ruissellement, nous avons procédé à quelques tentatives de mesures pendant les phases de régime permanent. Ces mesures ont principalement porté sur les parcelles non cultivées et ont été conduites de la façon suivante :

Des jalons ont été disposés tous les deux mètres le long des bordures latérales des parcelles, matérialisant ainsi un repérage en distance de l'amont vers l'aval. A un signal donné, un opérateur déversait une dizaine de litres d'un liquide colorant le long de la bordure amont de la parcelle tandis qu'un deuxième observateur déclenchait simultanément un chronomètre et notait ensuite les temps de passage du front coloré devant chaque alignement de jalons.

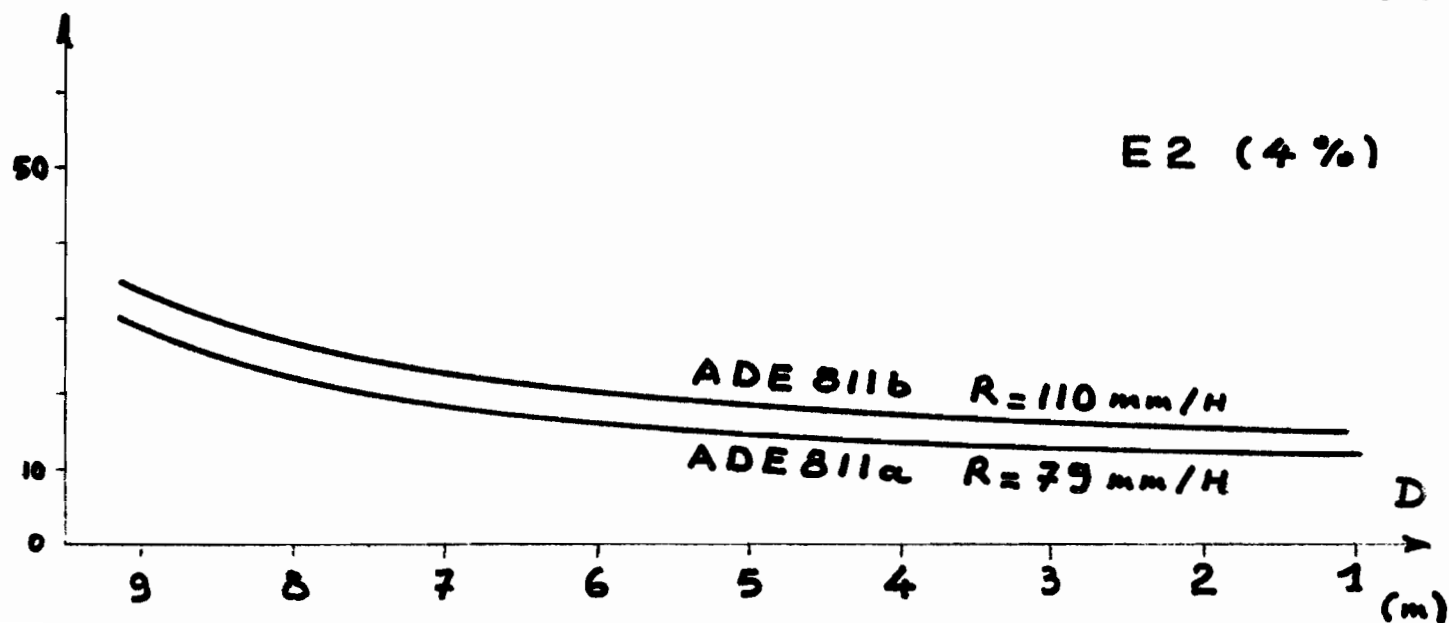
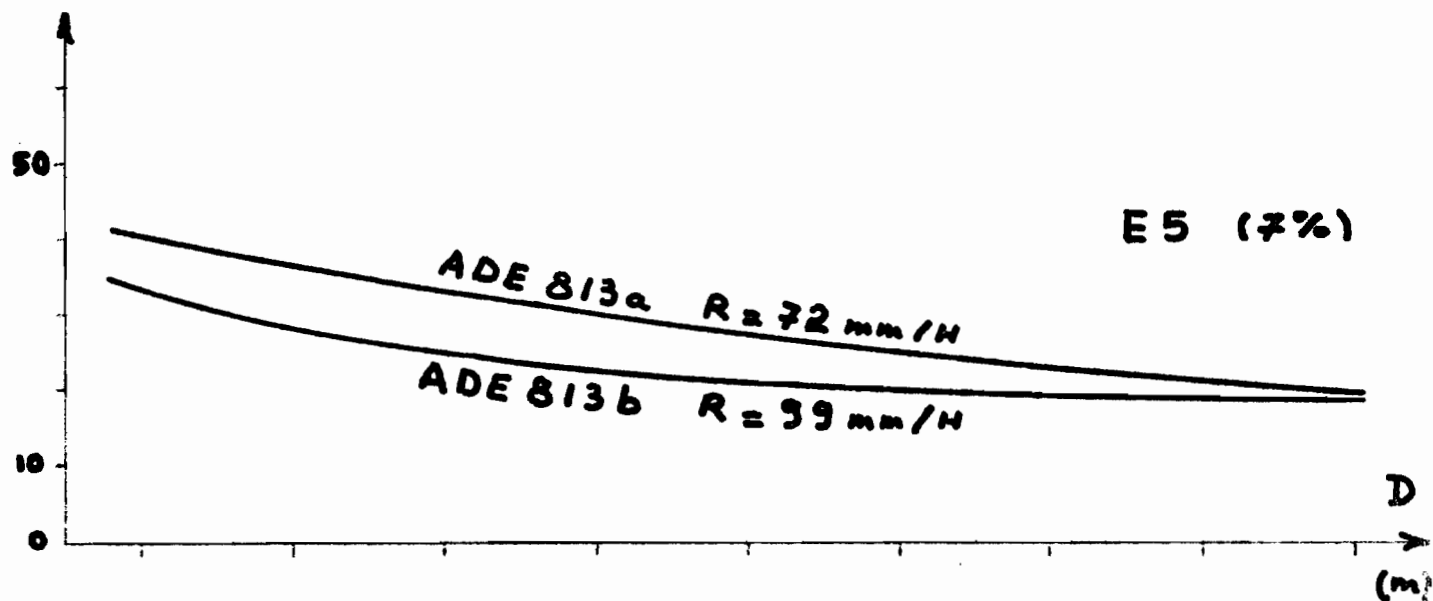
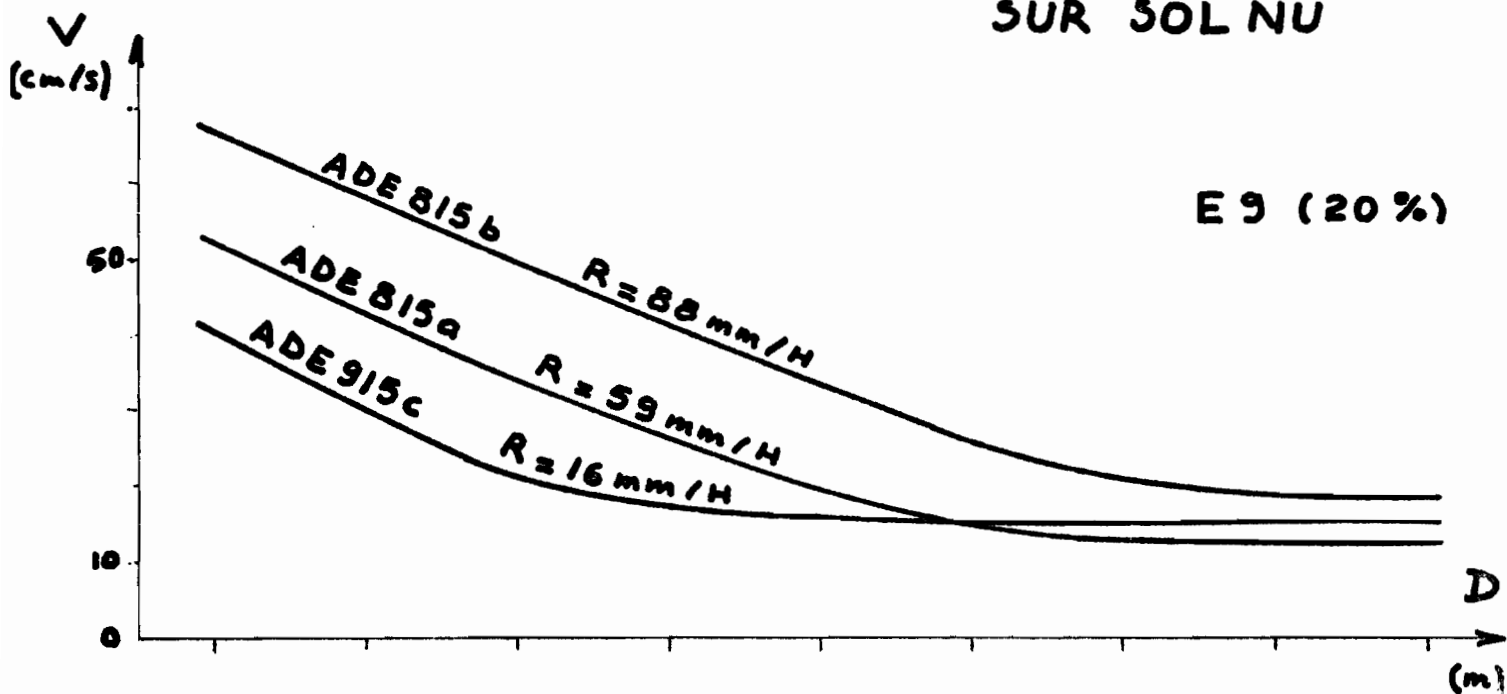
Les résultats des mesures relatives aux sols nus ont été traduits ici sous forme de courbes (graphique 27) donnant la vitesse d'avancement des fronts en fonction de leurs positions sur les parcelles. Les distances sont comptées à partir du canal récepteur bordant la partie aval de la parcelle.

L'examen de ces courbes suggère différentes remarques :

- D'une façon générale les vitesses diminuent de l'amont vers l'aval, ce qui est à priori surprenant. En effet, en toute logique on devrait s'attendre à observer le phénomène inverse car, la pente motrice étant la même du haut en bas, la charge d'eau au sol est probablement en moyenne plus élevée, de même que les vitesses, dans les parties basses des parcelles. Il faut donc chercher une explication au niveau de la méthode utilisée qui, en fait, masque par son principe même le phénomène à mesurer : en déversant brutalement à l'amont une dizaine de litres de colorant, on applique localement une impulsion correspondant à une charge supplémentaire d'environ 2 mm de hauteur si l'on admet que le colorant s'étale de façon quasi instantanée sur une bande d'un mètre de large sur cinq mètres de long. Cette impulsion a pour effet d'accroître momentanément les vitesses à l'amont, vitesses qui diminuent ensuite progressivement le long de la pente à mesure que la surcharge s'étale et diminue en hauteur.

PROPAGATION DU RUISSELLEMENT

SUR SOL NU



- La décroissance des vitesses s'effectue sur une distance d'autant plus courte que la pente est plus forte, ce qui traduit une importante influence de la pente topographique sur l'affaiblissement d'une impulsion localisée. Il apparaît d'ailleurs que l'affaiblissement est d'autant plus marqué que l'intensité de ruissellement initiale est plus réduite (confert les trois courbes relatives à la parcelle E9).

- Il semble enfin qu'en bas de parcelle les vitesses de propagation tendent vers une limite comprise entre 15 et 20 cm/s. Mais les mesures effectuées ne sont pas suffisamment nombreuses pour qu'apparaissent nettement les influences de la pente et des intensités de ruissellement initiales sur cette limite.

Relativement aux buts recherchés nous sommes donc pratiquement conduits à dresser un constat d'échec à la suite de ces expériences. C'est pourquoi, à l'avenir, nous tacherons de procéder différemment en employant non plus un colorant liquide mais un colorant en poudre qui sera répandu directement à la surface des eaux de ruissellement et ne modifiera pas les vitesses réelles. Toutefois, nous n'écarterons pas systématiquement la méthode du colorant liquide qui, mise en oeuvre d'une façon moins grossière, pourrait fournir des informations précieuses sur les temps de concentration et les fonctions d'étalement à l'échelle de la parcelle.

C H A P I T R E V

ETUDE DE LA LAME D'EAU RUISSELEE

Nous nous proposons d'étudier la hauteur de la lame d'eau ruisselée en fonction des caractéristiques de l'averse, de celles de la parcelle et de son état hydrique initial.

5.1. INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DE L'AVERSE

Si l'on examine l'hydrogramme théorique (1) de la figure 28 qui correspond à une averse simulée de durée t_u , on peut voir que la lame d'eau ruisselée totale est :

$$L_R = \int_0^{t_u} R(t) dt + D_S \quad \text{avec} \quad D_S = t_d R_x.$$

En supposant que l'averse ait été interrompue au bout d'un temps $t'_u < t_u$ on aurait eu de la même façon :

$$L'_R = \int_0^{t'_u} R(t) dt + t_d R(t'_u).$$

Nous avons donc la possibilité de construire point par point, et pour chaque essai, les courbes de variation de la lame d'eau ruisselée en fonction de la durée de la pluie utile, et comme d'autre part nous opérons à intensité de précipitation constante, il est possible d'exprimer L_R en fonction de la hauteur de pluie utile par le changement de variable $t_u = \frac{P_u}{I_m}$ afin d'obtenir une courbe telle que (3).

Il faut remarquer en outre que pour $t_u > t_t$, c'est-à-dire en régime permanent, cette courbe est rectiligne et a une équation de la forme :

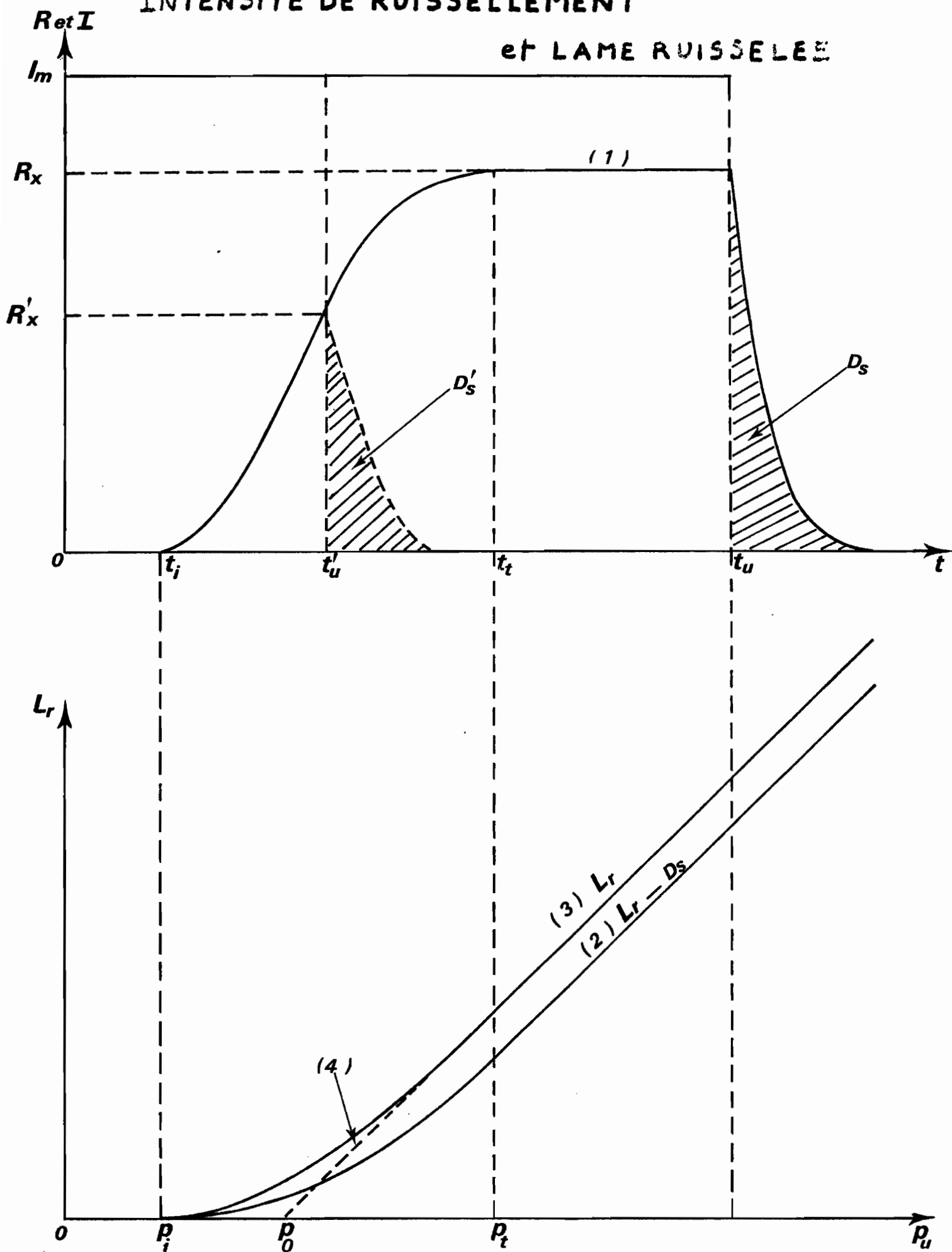
$$L_R = A(P_u - P_o) \quad \text{avec} \quad A = \frac{R_x}{I_m}$$

soit encore, d'après ce que nous avons vu au chapitre précédent :

$$L_R = K \left(1 - \frac{I_1}{I_m}\right) (P_u - P_o) \quad (4)$$

INTENSITE DE RUISSELLEMENT

et LAME RUISSELEE



C'est là l'équation paramétrique d'un faisceau de droites dont les pentes dépendent de l'intensité de l'averse (I_m), des caractéristiques de la parcelle (K) et des caractéristiques du sol, de son état hydrique et de son traitement (I_1). Quant au paramètre P_0 , c'est en quelque sorte une "hauteur de précipitation théorique limite de ruissellement" et il peut être également relié comme nous le montrerons plus loin aux caractéristiques de la parcelle et de son état hydrique.

A titre d'exemples, nous avons reproduit sur les graphiques N° 29, 30 et 31 ci-après quelques unes des courbes expérimentales L_r (P_u) obtenues sur le premier groupe de parcelles pour une pente topographique de 4 %. Si l'on assimile leurs parties basses aux droites du faisceau (4) que nous venons de définir et obtenues en prolongeant vers le bas les portions rectilignes, on voit que l'erreur par défaut ainsi commise sur L_r est très faible. En faisant abstraction de l'averse N° 1 au cours de laquelle la structure superficielle du sol était en évolution, on peut même dire que cette erreur est pratiquement nulle pour les sols nus qui présentent des régimes transitoires très brefs.

En ce qui concerne l'influence des caractéristiques de l'averse sur la lame d'eau ruisselée, on peut donc conclure que la hauteur de pluie utile intervient de façon linéaire. Quant à l'intensité de la pluie, tous les autres paramètres étant fixés, elle intervient sous forme hyperbolique.

5.2. INFLUENCE DE L'ETAT D'HUMECTATION INITIAL, DU TRAITEMENT ET DE LA PENTE.

Nous avons déjà montré au chapitre précédent quelles étaient les incidences de ces paramètres sur les valeurs de R_x et tout ce que nous avons dit alors peut être repris pour l'étude des pentes A du faisceau (4) puisque $A = \frac{R_x}{I_m}$. Il n'est pas nécessaire d'y revenir.

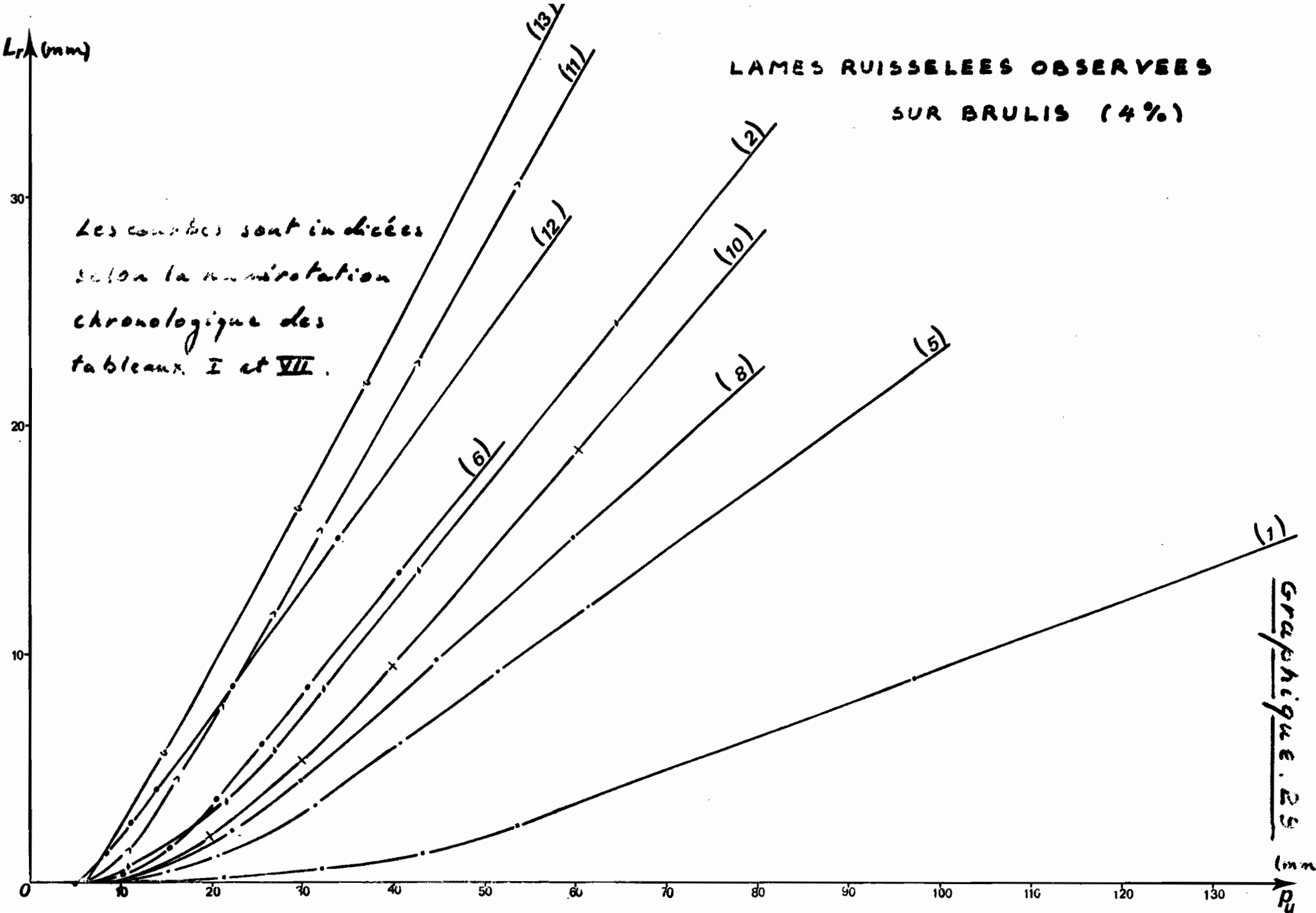
Il reste à étudier l'influence de ces paramètres sur l'abscisse à l'origine P_0 , ce que nous avons fait provisoirement de façon très simple en retenant une fois de plus t_a comme caractéristique de l'état d'humectation. Pour chaque essai la valeur de P_0 a été déterminée graphiquement par prolongation des courbes L_r (P_u) et reportée dans le tableau des caractéristiques d'état d'humectation correspondant. Des courbes de régression selon t_a ont été établies ensuite à partir de ces tableaux :

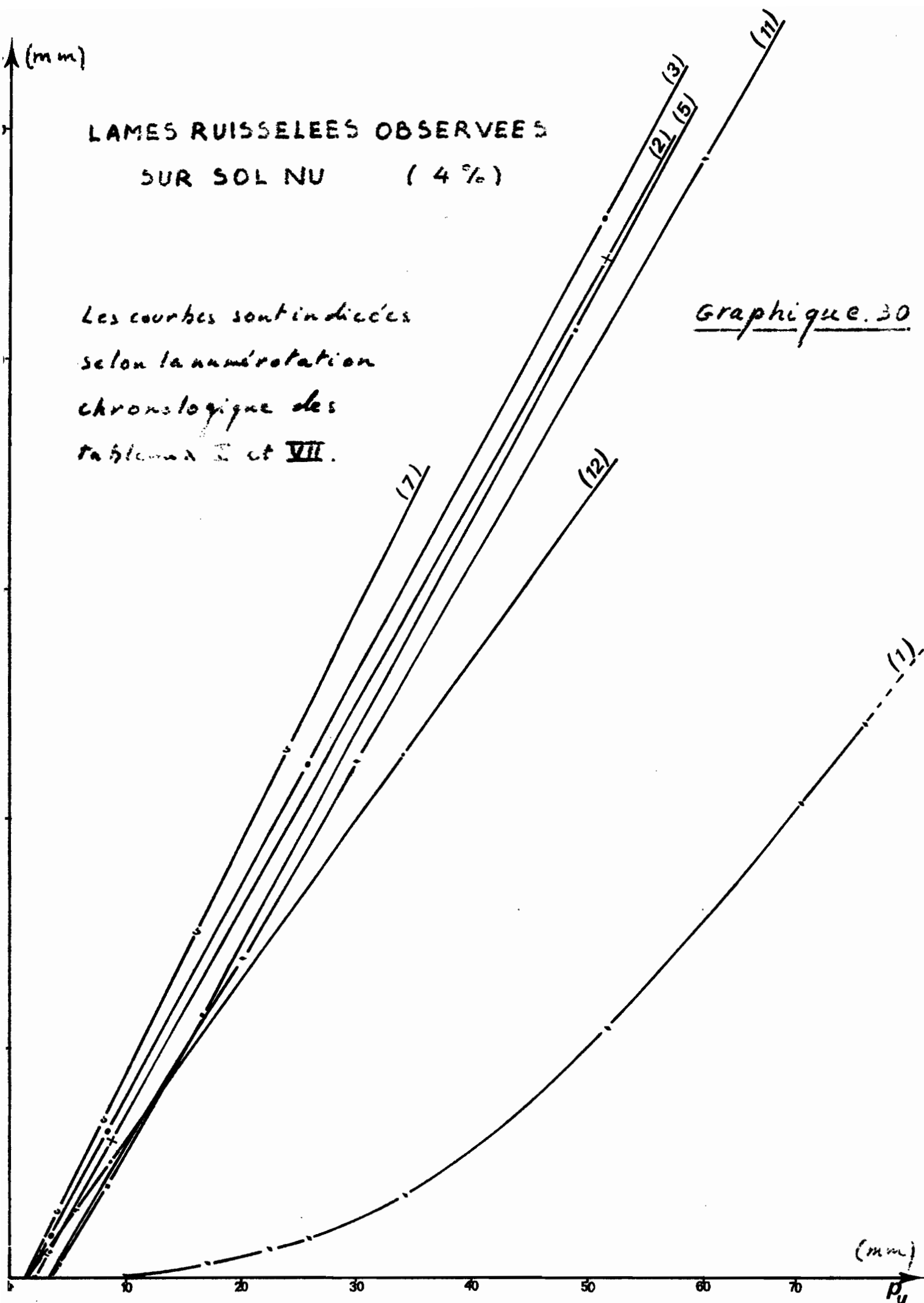
- Sur sol nu (graphique 32) les courbes de régression sont, en première approximation, des droites sensiblement identiques pour les pentes topographiques de 4 % et de 20 % ($P_0 = 1,5$ mm pour $t_a = 0$ et $P_0 = 6$ mm pour $t_a = 48$ heures). Sur la pente de 7 % les valeurs de P_0 demeurent très faibles pour des temps d'arrêt assez longs : $P_0 = 2,5$ mm pour $t_a = 48H00$.

- Sur brûlis (graphique 33) on observe des courbes également très voisines pour les pentes de 7 et 20 %. Sur pente de 4 % la courbe accuse une concavité très accentuée vers le bas pour des faibles valeurs de t_a et les valeurs de P_0 sont beaucoup plus élevées que sur les autres pentes. Dans l'ensemble, le paramètre P_0 est plus important sur brûlis que sur sol nu.

LAMES RUISSELEES OBSERVEES
SUR BRULIS (4%)

Les courbes sont indicées
selon la numérotation
chronologique des
tableaux I et VII.



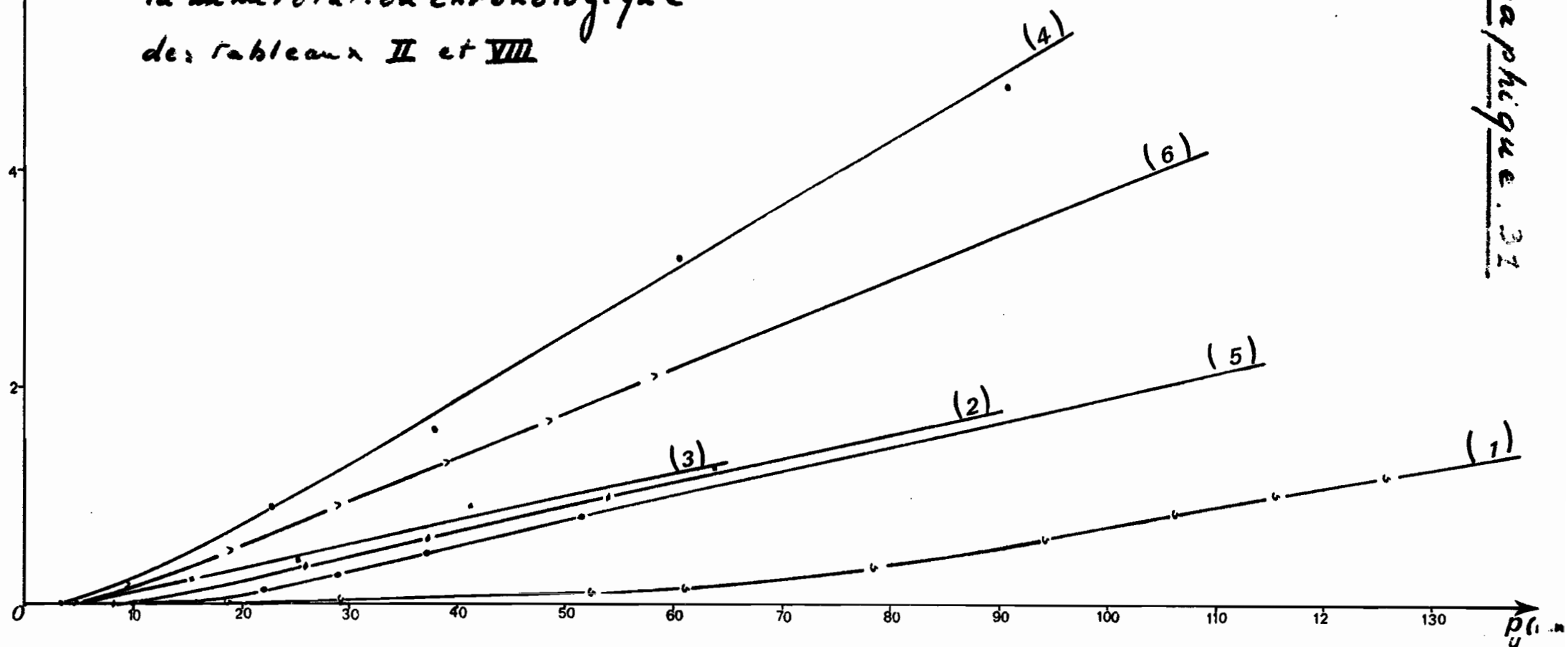


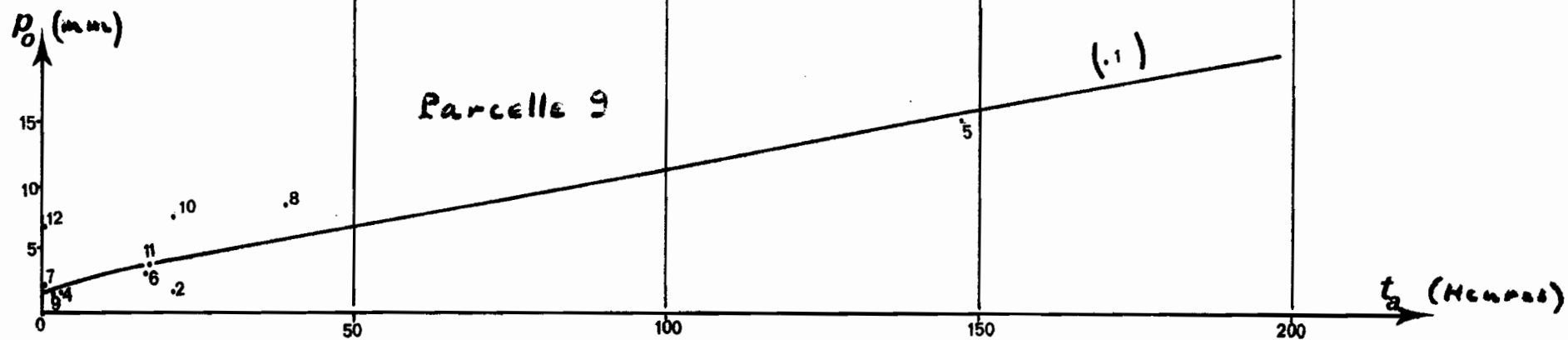
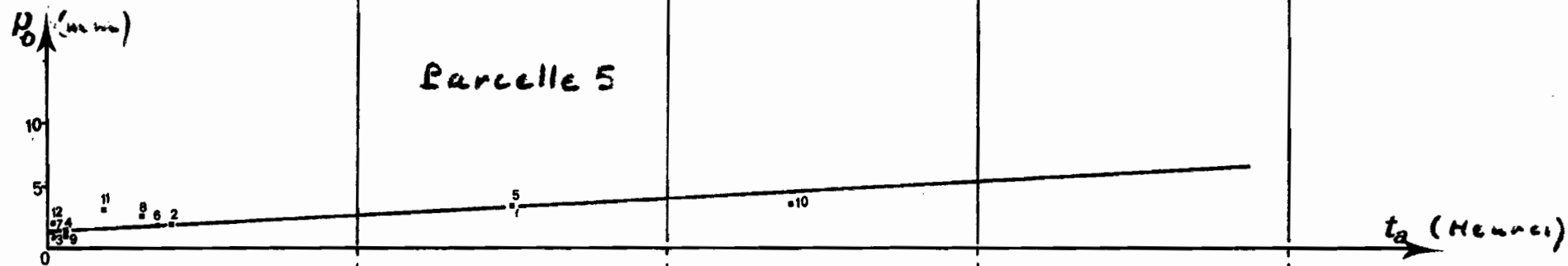
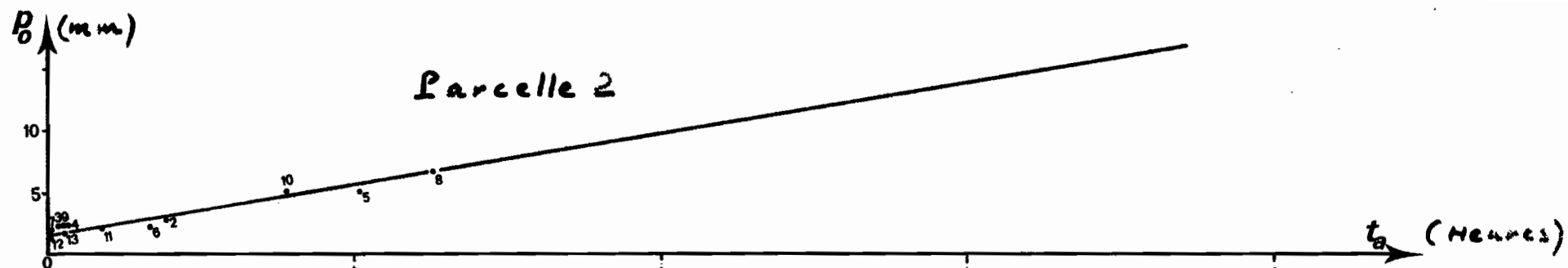
L_{rA} (mm)

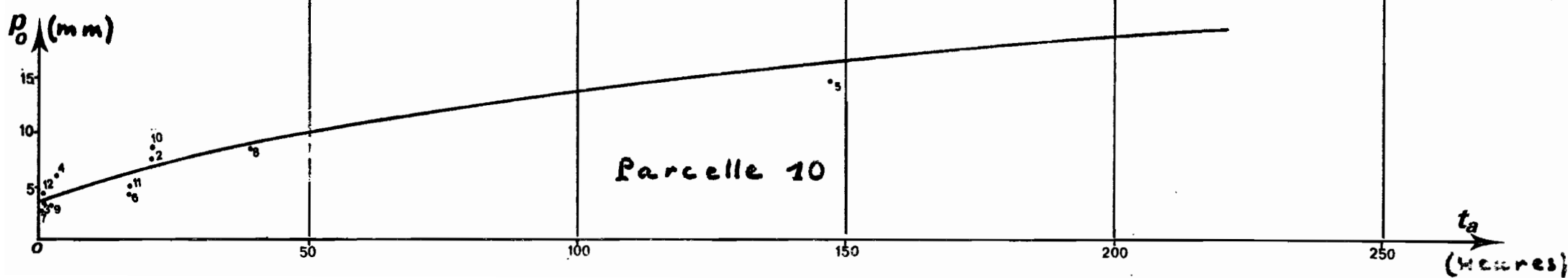
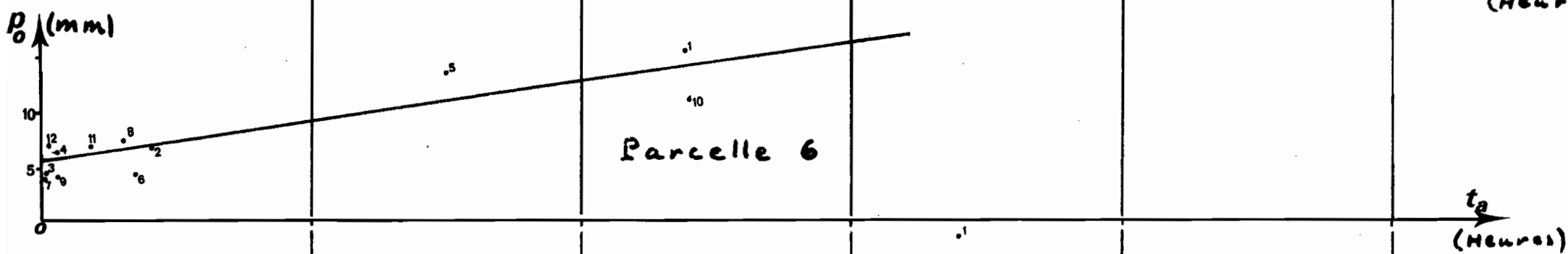
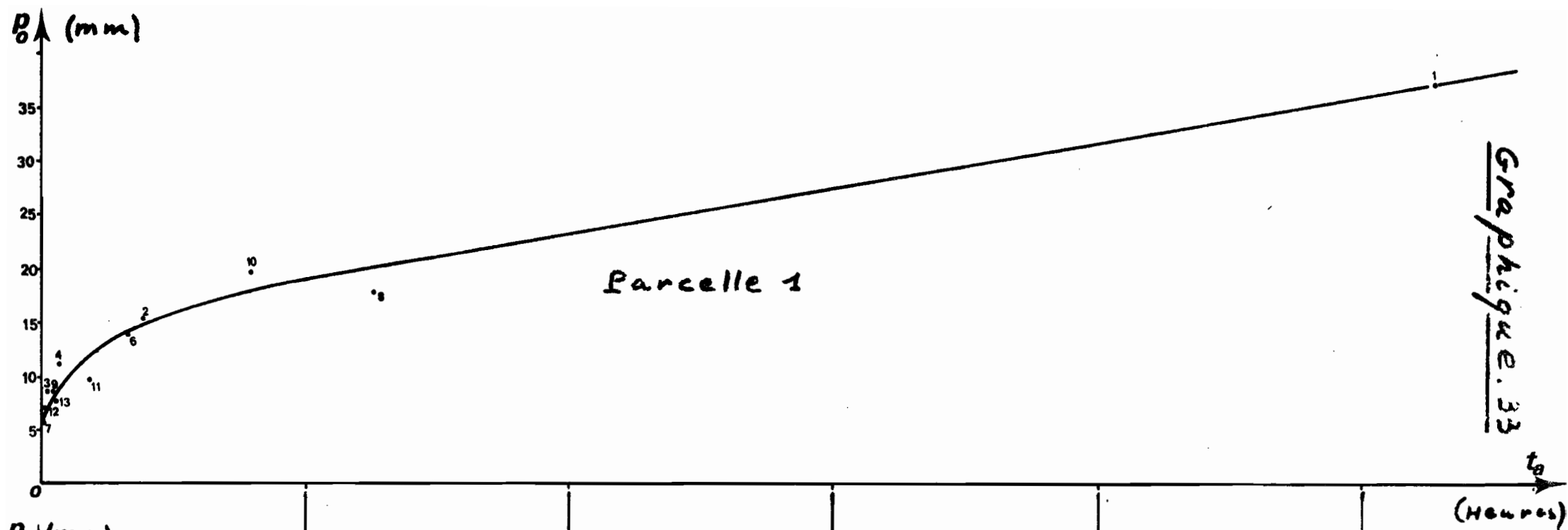
LAMES RUISSELEES OBSERVEES SUR RESIDUS ENFOUIS (4 %)

Les courbes sont indicées selon
la numérotation chronologique
des tableaux II et VIII

Graphique. 37







- Sur résidus de culture enfouis (graphique 34), bien que l'on ne dispose que d'un petit nombre de résultats, on constate que P_0 est apparemment indépendant de la pente ce qui nous a conduit à tracer une droite de régression moyenne valable pour les trois parcelles. Si l'on excepte le cas des résidus brûlés sur pente de 4 %, cette droite moyenne se situe toute entière au-dessus des courbes précédentes.

- Enfin, pour le mulch (graphique 34) nous ne disposons que de cinq résultats relatifs à la pente de 20 % mais on peut voir que la distribution des points semble correspondre aux plus fortes valeurs observées pour P_0 .

L'ensemble des observations concernant P_0 est synthétisé par le graphique N° 35 qui regroupe les courbes de régression obtenues sur les 10 parcelles.

5.3. CONCLUSIONS SUR L'ETUDE DE LA LAME RUISSELEE

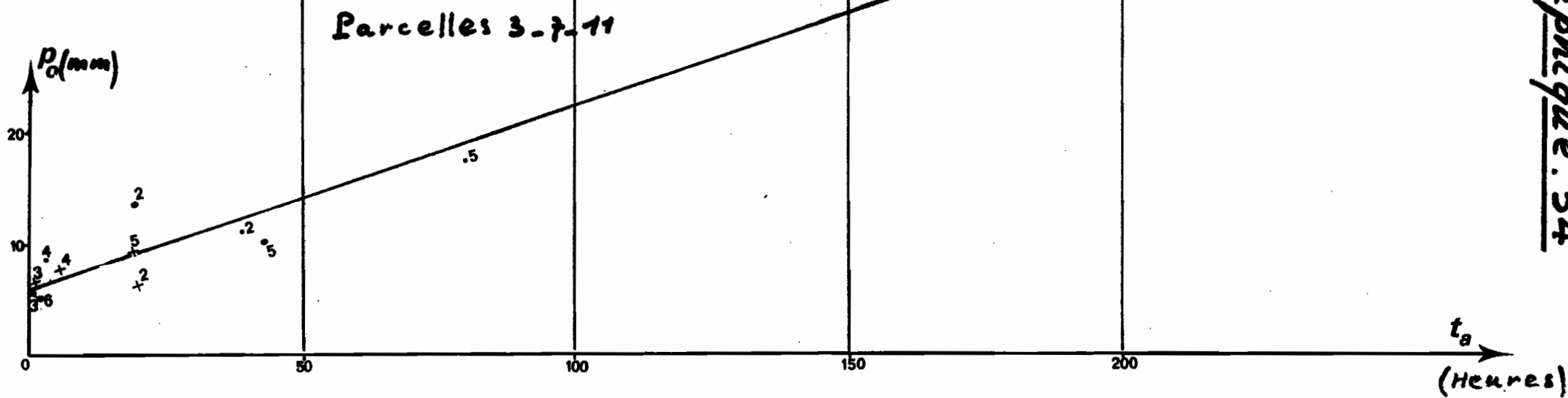
Disposant, grâce aux analyses qui précèdent, de tous les éléments permettant un calcul approché de la hauteur de lame ruisselée par le biais de la relation (4), nous pouvons construire pour l'ensemble des parcelles autant d'abaques que nous le désirons pour mettre en évidence les influences conditionnelles respectives des différents facteurs de ruissellement entre les limites des domaines explorés. Nous nous bornons à reproduire ci-après trois d'entre-eux à titre d'exemples (graphiques 36, 37, et 38), mais l'examen de l'ensemble permet de dégager les conclusions générales suivantes:

- La hauteur de la lame ruisselée croît linéairement avec la pluie utile au-delà d'une valeur P_t de cette dernière correspondant au début du régime permanent. Mais pratiquement, en-deçà de cette valeur, et dans la plupart des cas pour les types de sol et de couverture étudiés ici, on obtient une bonne approximation de la lame ruisselée en adoptant la même croissance linéaire entre les limites P_0 et P_t . Ce dernier point sera examiné plus en détail dans la troisième partie du rapport général.

- La hauteur de la lame ruisselée, croît également avec l'intensité de la pluie lorsque celle-ci est supérieure à une intensité limite de ruissellement I_1 . Pour une hauteur de pluie utile donnée P_u la relation $L_r(I_1)$ est homographique et la lame ruisselée tend vers une limite supérieure égale à $K(P_u - P_0)$, K étant un coefficient caractéristique de la parcelle et indépendant de son état d'humectation.

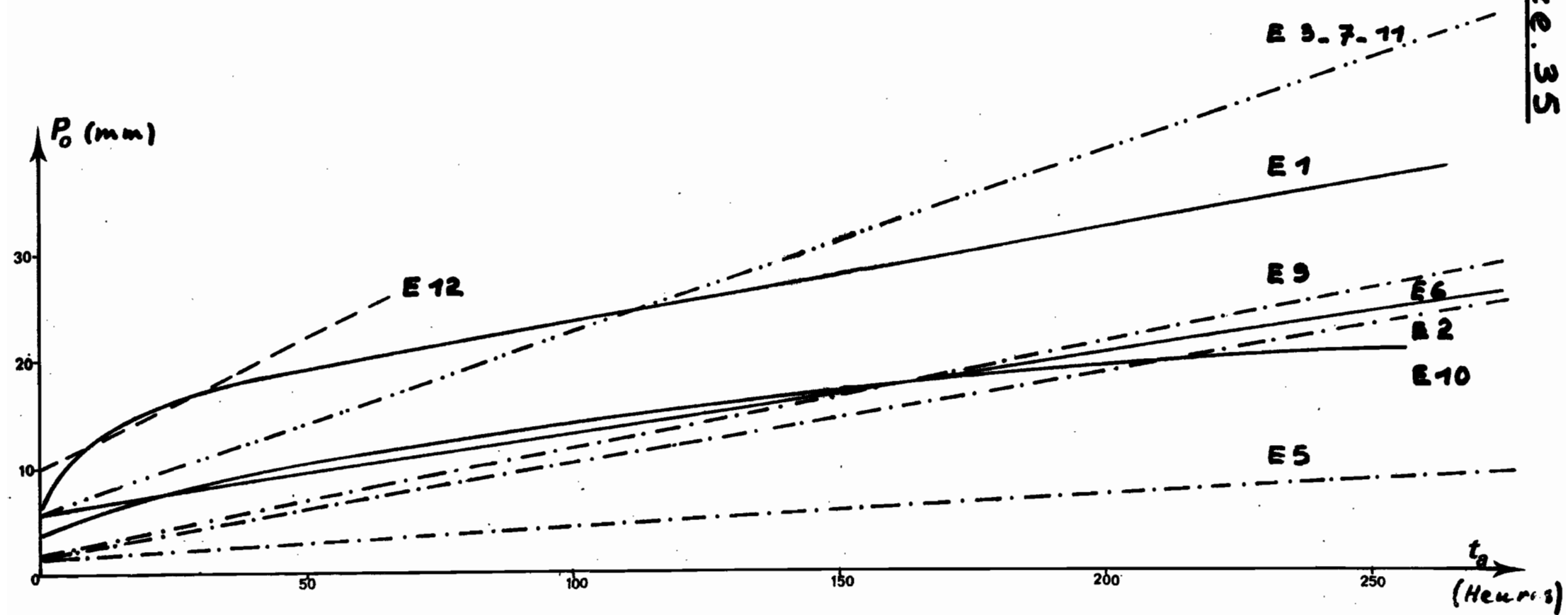
- La lame d'eau ruisselée croît d'autre part avec les réserves hydriques initiales du sol. Cette influence est d'autant plus marquée que les parcelles sont intrinsèquement plus perméables et elle se manifeste à deux niveaux : diminution de la précipitation limite ainsi que de l'intensité limite de ruissellement.

- Le travail du sol et le pourcentage de couverture ont une influence prépondérante, toutes autres conditions identiques par ailleurs, sur la hauteur de la lame d'eau ruisselée. Pour des valeurs croissantes de cette dernière, les traitements étudiés apparaissent dans l'ordre suivant : mulch, résidus de culture enfouis, résidus de culture brûlés laissés en surface, sol nu. Comme on peut le constater sur



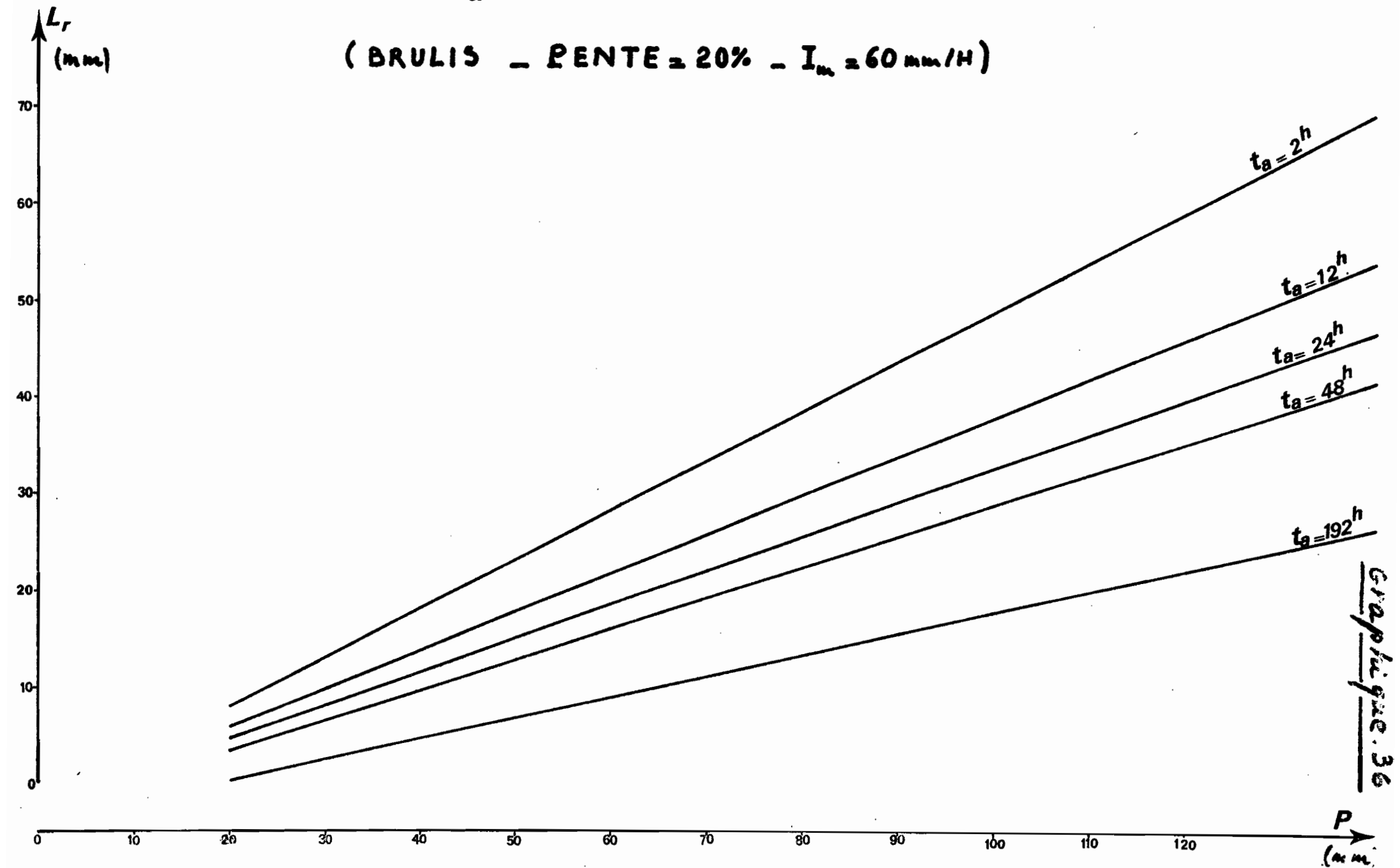
INFLUENCE DES DUREES DE RESSUYAGE DES PARCELLES SUR L'ABSCISSE A L'ORIGINE DES DROITES DE RUISSELLEMENT EN REGIME PERMANENT

Graphique. 35



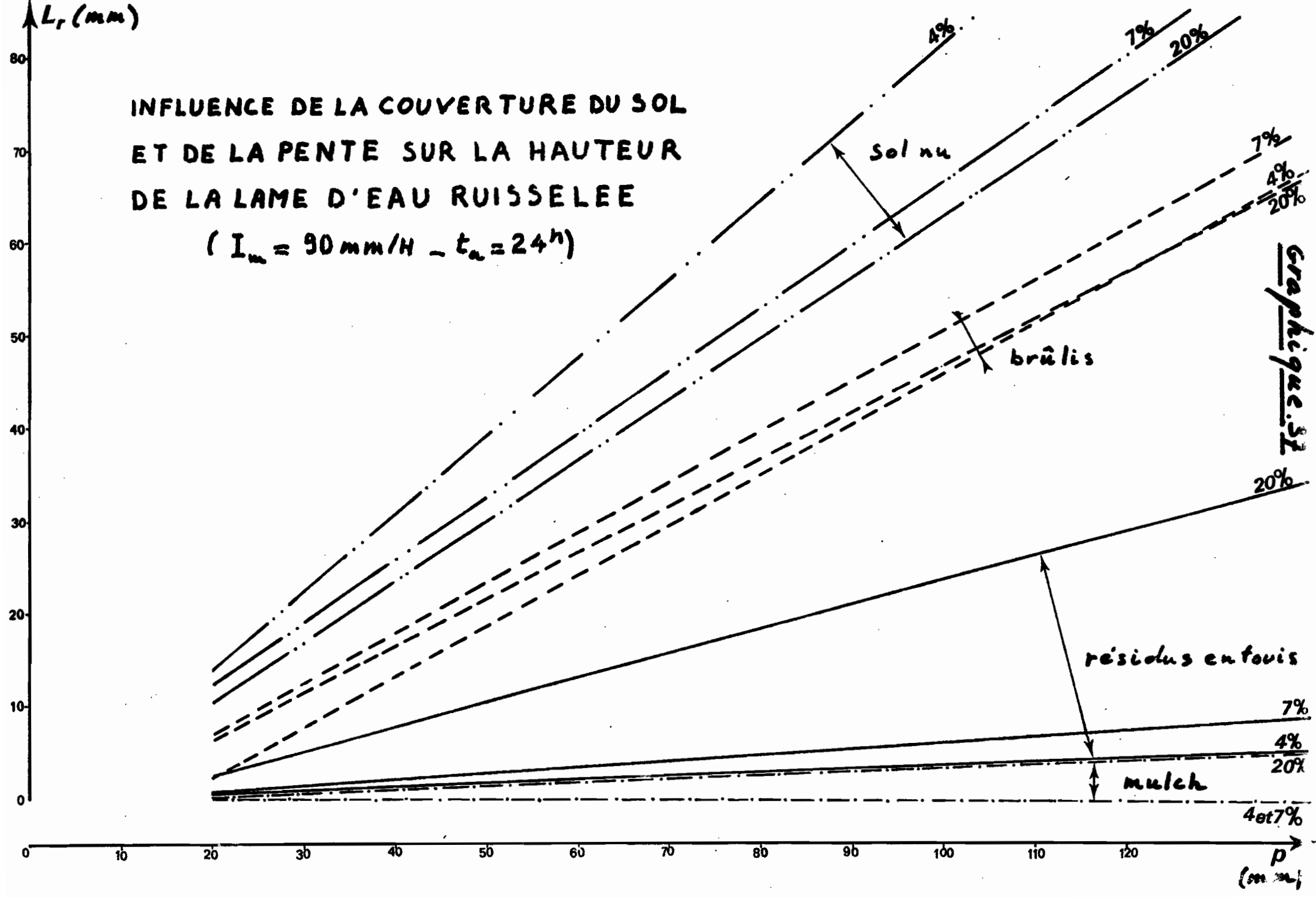
INFLUENCE DE t_a SUR LA HAUTEUR DE LA LAME RUISSELEE

(BRULIS - PENTE $\pm 20\%$ - $I_m = 60 \text{ mm/H}$)



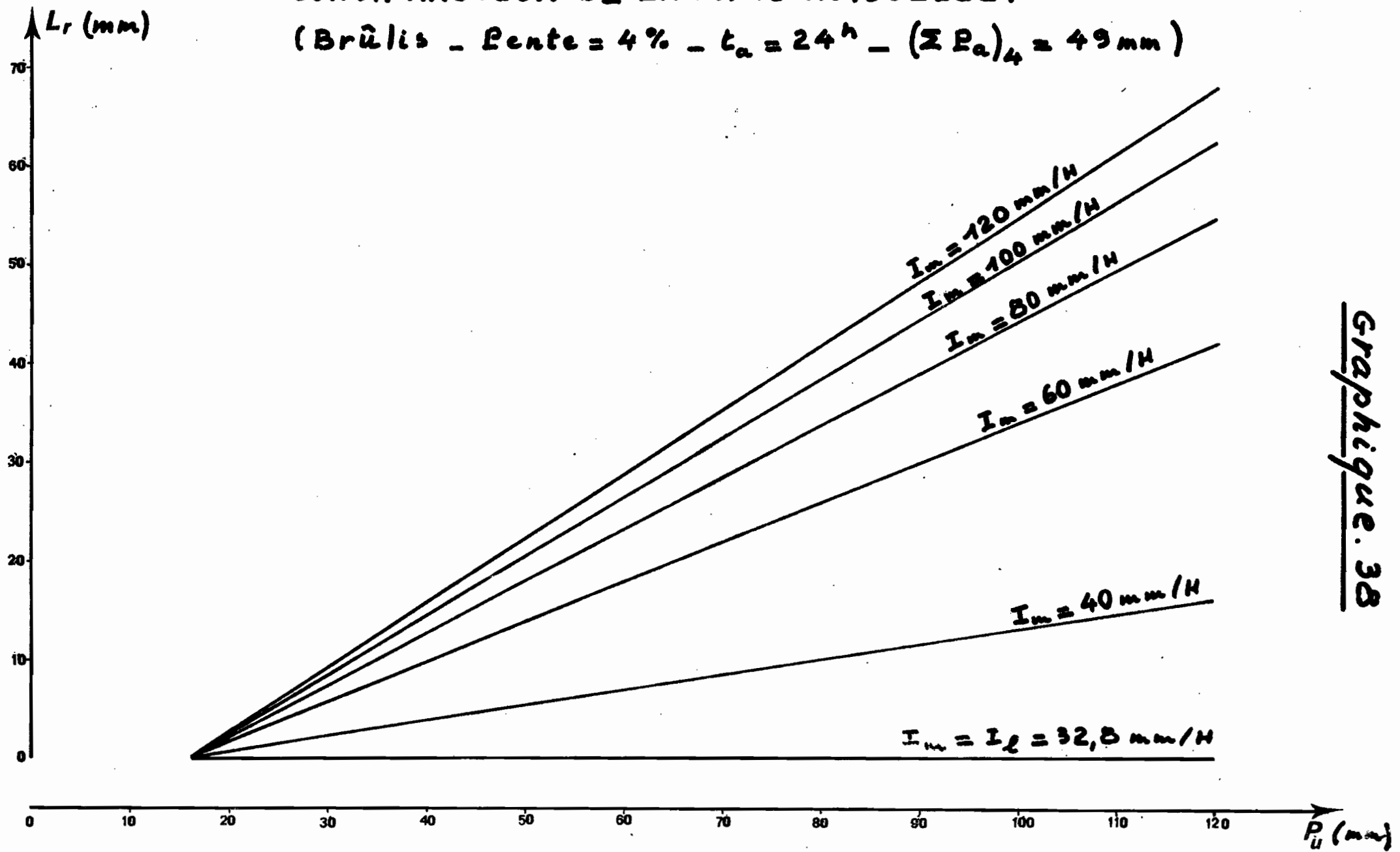
Graphique. 36

INFLUENCE DE LA COUVERTURE DU SOL
ET DE LA PENTE SUR LA HAUTEUR
DE LA LAME D'EAU RUISSELEE
($I_m = 90 \text{ mm/H} - t_a = 24^h$)



INFLUENCE DE L'INTENSITE DE PRECIPITATION SUR LA HAUTEUR DE LA LAME RUISSELEE.

(Brûlis - Pente = 4% - $t_a = 24^h$ - $(\sum P_a)_4 = 49 \text{ mm}$)



le tableau de la page 5, cet ordre correspond à des valeurs décroissantes du pourcentage de couverture du sol, depuis 100 % jusqu'à 0 %.

- Quant à l'influence de la pente topographique, elle est complexe car elle diffère apparemment selon le traitement subi par le sol et son degré de couverture :

Dans le cas particulier du sol nu la lame d'eau ruisselée semble décroître avec la pente, ce qui est d'ailleurs la confirmation attendue des résultats obtenus en régime de précipitations naturelles sur des parcelles de plus grandes dimensions. D'un point de vue strictement hydrodynamique, ce résultat est paradoxal mais il peut s'expliquer en termes de stabilité structurale du sol par le fait que l'érosion étant très intense sur forte pente, une pellicule de battance n'a pas la possibilité de s'y former, du moins au niveau du chevelu hydrographique, où les vitesses ponctuelles sont élevées, dans des conditions aussi favorables que sur faible pente.

Sur mulch et résidus de culture enfouis, l'augmentation de pente favorise le ruissellement car les sols sont bien protégés contre l'effet splash par le couvert. Quant aux résidus de culture brûlés, ils constituent un cas de figure intermédiaire.

Les études pédologiques sur lame mince sont entreprises pour vérifier ces hypothèses.

5.4. REMARQUES CONCERNANT LES COEFFICIENTS DE RUISELLEMENT

Il n'est pas nécessaire d'entreprendre leur étude détaillée car elle se déduit immédiatement de celle de la lame d'eau ruisselée. En effet, d'après la relation (4) nous avons :

$$K_{ru} = K \left(1 - \frac{I_1}{I_m}\right) \frac{P_u - P_o}{P_u} \quad \text{et} \quad K_{re} = K \left(1 - \frac{I_1}{I_m}\right) \frac{P_u - P_o}{P_u - P_i}$$

Ces relations définissent des faisceaux d'hyperboles $K_r (P_u)$ qui se déduisent simplement des faisceaux de droites $L_r (P_u)$.

A titre d'exemple nous avons reproduit en figure 39 la courbe théorique $K_{ru} (P_u)$ de la parcelle E1 correspondant à $I_m = 60 \text{ mm/H}$, $t_a = 24H$ et $(P_a)_4 = 49 \text{ mm}$.

Ces courbes admettent une asymptote horizontale d'équation :

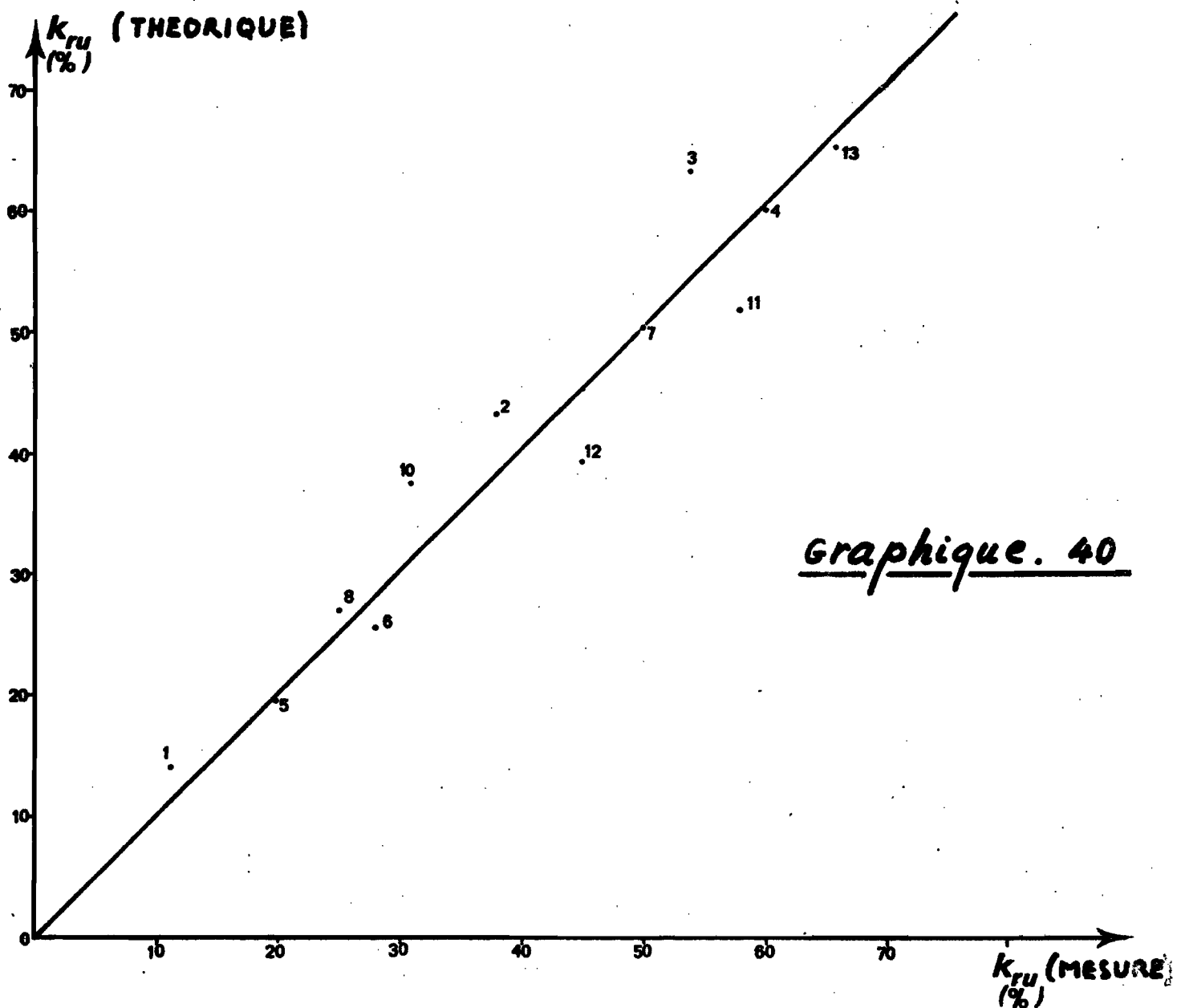
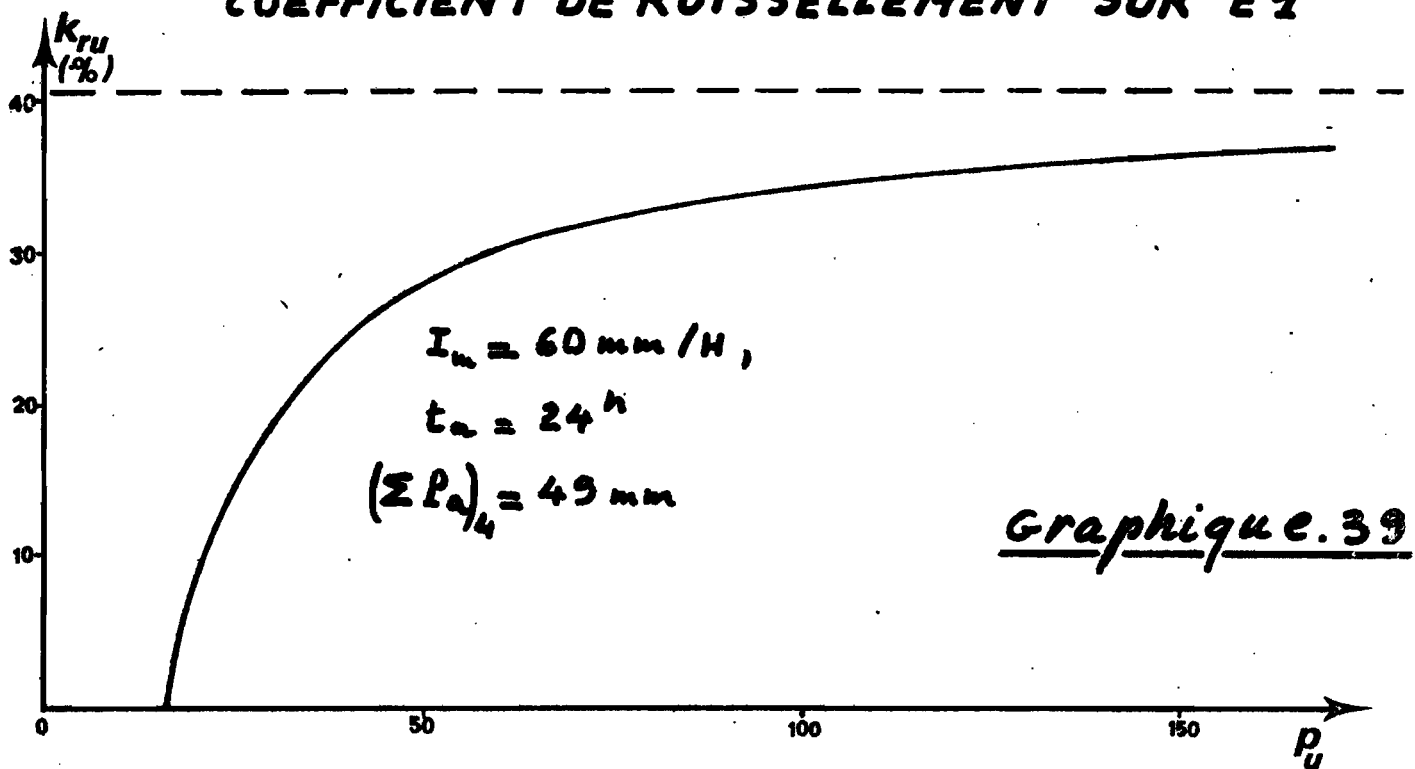
$$(K_{ru})_x = K \left(1 - \frac{I_1}{I_m}\right)$$

et une asymptote verticale d'équation :

$$P_u = 0 \quad \text{pour} \quad K_{ru}, \quad \text{et} \quad P_u = P_i \quad \text{pour} \quad K_{re}$$

Le graphique N° 40 montre dans le cas de la parcelle E1 que la corrélation entre coefficients théoriques et coefficients expérimentaux est assez serrée.

COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT SUR E1



C O N C L U S I O N S

Bien que la présente étude ne soit qu'une première approche relativement grossière des phénomènes de ruissellement observables sur parcelles et sous averses simulées, les résultats ainsi obtenus sont tout à fait conformes aux buts initiaux poursuivis.

Sur le plan agronomique, le rôle des différents modes d'utilisation des résidus de culture d'ananas apparaît de façon très nette et l'on doit surtout noter les effets protecteurs particulièrement efficaces du mulch et des résidus enfouis sur les sols sableux étudiés. Ces effets sont parfaitement illustrés par le tableau de la page 31 dans lequel ont été consignées les valeurs globales des lames ruisselées et des coefficients de ruissellement rapportés à des hauteurs cumulées de précipitation voisines, de l'ordre de 600 mm. On peut ainsi constater, en comparant les valeurs moyennes par traitement, que les coefficients de ruissellement s'évaluent entre 60 % et 1 % en passant par 25 % et 6 % selon le traitement subi par les parcelles.

Sur le plan pédo-hydrologique on retiendra l'importance du rôle joué par l'effet "splash" et la formation des pellicules de battance qui en résulte. Cet effet est particulièrement important sur les sols initialement labourés mais non protégés qui apparaissent comme étant, de loin, les plus vulnérables. On retiendra également dans ce cas l'influence apparemment modératrice de la pente sur le ruissellement, résultat paradoxal mais qui semble bien acquis puisqu'il résulte aussi bien des observations de très longue durée effectuées sous pluies naturelles que des observations faites sous pluies simulées.

D'autre part, d'un point de vue purement hydrologique, des liaisons très significatives ont pu être établies entre caractéristiques du ruissellement et paramètres conditionnels du milieu physique. Il n'est pas permis dans l'état actuel de nos recherches de généraliser ces résultats mais au cours des travaux en cours ou à venir qui s'étendront à des types de sols divers nous nous efforcerons bien entendu de rechercher des liaisons similaires.

Pour ce faire, la méthodologie utilisée jusqu'ici devra être améliorée, en particulier afin de mieux appréhender les phénomènes transitoires mais on a pu voir que l'outil dont on dispose dès à présent est adapté à la résolution de très nombreux problèmes.

LAMES RUISSELEES (L_T) ET COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT GLOBAUX (K_T)

OBSERVES AU COURS DE LA CAMPAGNE

TRAITEMENT		SOL NU	RESIDUS BRULES	RESIDUS ENFOUIS	MULCHING
PENTE					
4 %	P (mm)	606	606	628	628
	Lr (mm)	339	154	14	1,2
	Kr (%)	56	25	2,2	0,2
7 %	P (mm)	589	589	609	609
	Lr (mm)	408	136	20	0,1
	Kr (%)	69	23	3,3	0,0
20 %	P (mm)	604	604	579	579
	Lr (mm)	302	164	73	11,1
	Kr (%)	50	27	12,6	1,9

B I B L I O G R A P H I E

- 1) ROOSE (E.J.) - 1973 - Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical. ORSTOM, Abidjan, 125 p. multigr. Thèse Doct. Ing., Fac. Sci. Abidjan, 1973, n° 20.
- 2) ROOSE (E.J.), LACOEUILHE (J.J.) - 1975 - Etude du ruissellement, de l'érosion et de la lixiviation en fonction du mode d'utilisation des résidus de la culture d'ananas. Protocole expérimental. ORSTOM, Adiopodoumé 1975.
- 3) ROOSE (E.J.), CHEROUX (M) - 1966 - Les sols du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., Vol. IV, n° 2, pp. 51-92.
- 4) LACOEUILHE (J.J.) - 1974 - "Résidus de culture de l'ananas". Fruits, 29, 7 - 8, pp. 501-504.
- 5) COLOMBANI (J), LAMAGAT (J.P.), THIEBAUX (J) - 1972 - Mesure de la perméabilité des sols en place : un nouvel appareil pour la méthode MUNTZ. Une extension de la méthode PORCHET aux sols hétérogènes. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., Vol. IX, n° 3, 1972.
- 6) COLLINET (J), ASSELINE (J), LAFFORGUE (A) - 1975 - Compte-rendu d'une mission en Haute-Volta (3 mars - 3 juin 1975). ORSTOM, Centres d'Adiopodoumé et de Ouagadougou, 1975.