

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
CENTRE D'ADIOPODOUME
B.P. V51 ABIDJAN (Côte d'Ivoire)

Laboratoire de Pédologie

RAPPORT DE STAGE

INFLUENCE DES GRAVILLONS SUR L'HYDRODYNAMIQUE SUPERFICIELLE
(ETUDE EXPERIMENTALE SOUS PLUIES SIMULEES)

par

POHE Jean

sous la responsabilité de *Christian VALENTIN*

Stage effectué au laboratoire de Pédologie Expérimentale
du 15 juillet au 15 septembre 1981

PLAN

I. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

- INTRODUCTION
- CADRE NATUREL

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

- INFILTROMETRE
- PROTOCOLE

III. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

- RUISSELLEMENT
- DETACHABILITE

CONCLUSION GÉNÉRALE

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

I. PRESENTATION DE L'ETUDE

I.1. Introduction

Nul n'ignore dans l'agriculture l'importance primordiale de l'eau. Elle est indispensable aux cultures mais représente également l'agent majeur de dégradation des sols.

Dans le cycle de l'eau l'infiltration est capitale. Celle-ci dépend non seulement des caractéristiques des pluies mais également des sols. Parmi les paramètres pédologiques la morphologie et la composition de la surface des sols apparaissent de plus en plus comme déterminants (COLLINET et VALENTIN, 1979). Des études effectuées d'une part sur des sols gravillonnaires et d'autre part sur des sols dépourvus d'éléments grossiers ont montré que les gravillons jouent un rôle important sur l'infiltration et sur la détachabilité (ROOSE, 1980). Mais jusqu'ici le seul facteur "présence de gravillons en surface" n'a jamais pu être isolé des autres facteurs de différenciation des sols.

C'est pourquoi nous avons entrepris une étude expérimentale qui permet de mettre en évidence l'influence de ce seul facteur, en opérant sur un milieu modélisé : pluies simulées et parcelles de sols labourés de manière standard (l'une restant nue, l'autre recevant une certaine charge en gravillons).

I.2. Cadre naturel du lieu d'expérimentation

I.2.1. Situation

Le milieu d'expérimentation se trouve dans la Ferme de l'ORSTOM à Adiopodoumé, le long de la piste menant à l'Institut Pasteur. Il est à une centaine de mètres d'une forêt dense et à une vingtaine de mètres d'une grande étendue couverte de *Pueraria phasilloides*.

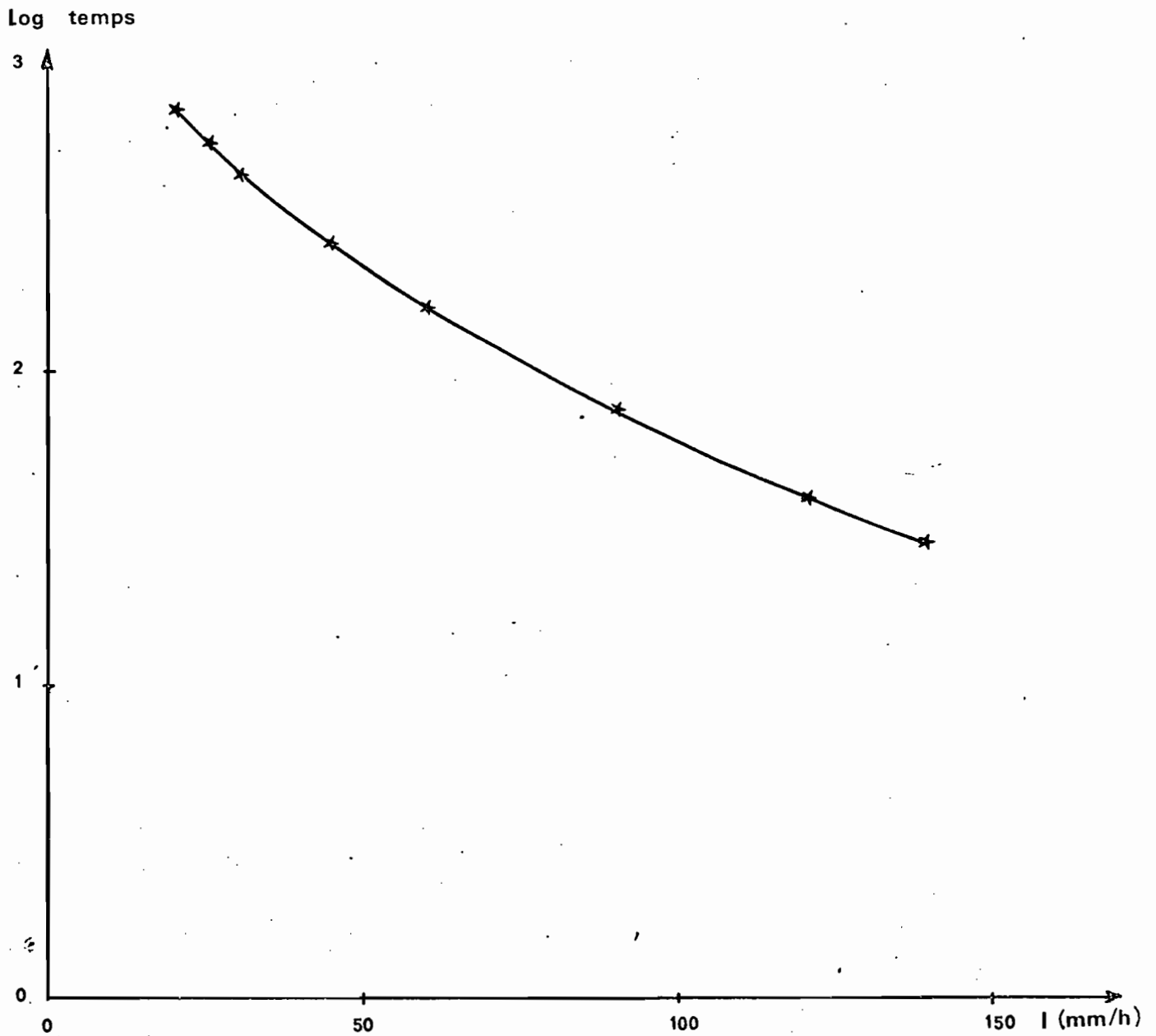
I.2.2. Végétation

La végétation du milieu est composée uniquement d'herbes telles que *Imperata cylindrica* et *Panicum maximum*.

I.2.3. Climat : le climat est sub-équatorial

La pluviométrie : la pluviométrie moyenne annuelle est de 2150 mm. Elle est répartie en deux saisons des pluies dont la principale s'étend du 15 mai au 15 juillet. Les essais ont eu lieu fin juillet, c'est à dire après cette saison pluvieuse. Les pluies naturelles n'ont pas perturbé les essais puisqu'il n'est tombé que 0,3mm pendant la période correspondante. La Direction Centrale d'Aviation (D.C.A.) d'Abidjan a établi en 1980 les courbes intensités-durées à partir des données recueillies au poste météorologique de l'aéroport (Tableau 1 et Figure 1). Ces graphes permettent de connaître la

FIG. 1 : COURBE INTENSITE - DUREE DECENNALE DES PLUIES AU SUD DE LA
CÔTE - D'IVOIRE SELON DES DONNEES DE LA D.C.A.
ABIDJAN 1980



durée maximale d'une pluie d'intensité donnée et de fréquence décennale. Ils nous ont permis d'élaborer un protocole qui tient compte de ces caractéristiques climatiques naturelles.

Intensité (mm/h)	20	25	30	45	60	90	120	140
Temps (minutes)	691,83	524,8	416,87	251,19	170	77,6	38,9	28,18
Log 10 (temps)	2,84	2,72	2,62	2,4	2,2	1,89	1,59	1,45

Tableau 1 : Intensités et durées des pluies décennales au Sud de Côte d'Ivoire.
(Direction Centrale d'Aviation, Abidjan, 1980)

I.2.4. Le sol

Les essais ont été menés sur un sol ferrallitique désaturé de prairie permanente. La texture de ses horizons superficiels est sablo-argileuse. L'ouverture des fosses lors de l'installation des cuves limnigraphiques a permis de constater que l'épaisseur de l'horizon humifère est inférieure à 5 cm.

Le système racinaire est très superficiel.

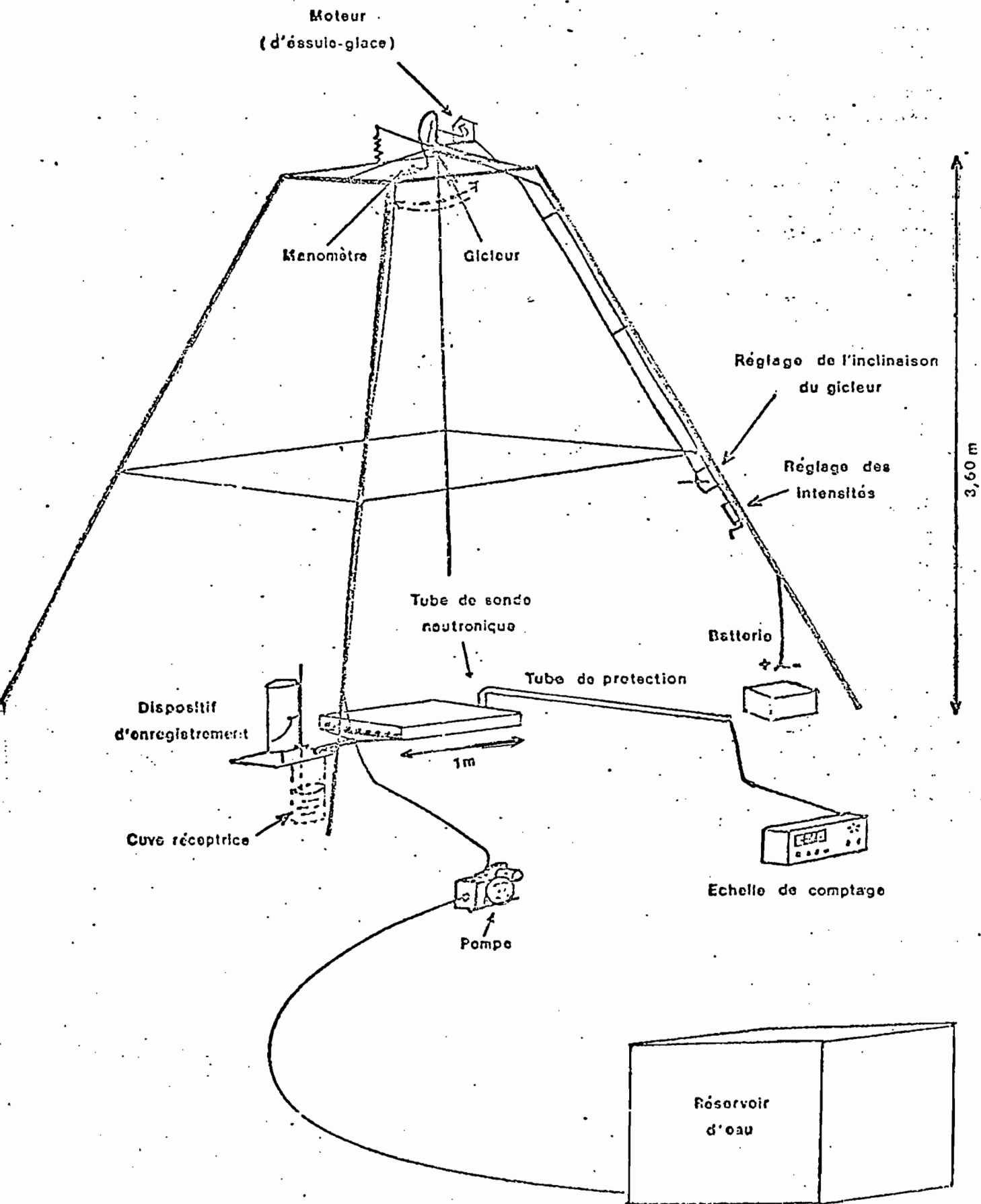
II. MATERIELS ET METHODES

II.1. Infiltrromètre

La pluie est un phénomène aléatoire qui rend longue et difficile toute expérimentation menée en condition naturelle. Pour étudier les phénomènes provoqués par les pluies il est nécessaire de maîtriser le plus grand nombre de paramètres, ce qui est possible grâce à l'emploi de simulateurs de pluies. Ceux-ci permettent en effet de reconstituer des pluies dont les caractéristiques (intensité, taille de gouttes, énergie cinétique) sont proches de celles des pluies naturelles. L'appareil utilisé au cours de ces essais est l'infiltrromètre à aspersion mis au point au Centre ORSTOM d'Adiopodoumé (ASSELINE et VALENTIN, 1978).

Celui-ci comprend un gicleur animé d'un mouvement de balancier grâce à un moteur électrique; ce mouvement, réglable à volonté détermine l'intensité de la simulation. Un cadre en tôle dont la goulotte permet la collecte des eaux de ruissellement qui s'écoule ensuite vers le dispositif d'enregistrement (le limnigraphe) permet d'isoler la surface expérimentale d'un mètre carré. L'alimentation est assurée par une motopompe qui fournit au gicleur de l'eau sous pression à partir d'un réservoir ou d'un camion citerne. Deux manomètres, l'un à la sortie de la motopompe et l'autre à l'entrée du gicleur permettent de contrôler cette pression. Une deuxième motopompe permet de vidanger la cuve réceptrice du limnigraphe.

FIGURE: 2 : SCHEMA DE L'INFILTROMETRE



L'infiltromètre est monté sur une pyramide de fer couverte d'une bâche qui élimine l'influence du vent (Figure 2). Il peut être utilisé dans de nombreux domaines liés aux relations eau-plante-sol (hydrologie : ruissellement de bassin versant ; agronomie : évolution des surfaces cultivées ; pédologie : hydrodynamique superficielle).

II.2 . Protocole expérimental

II.2.1. Préparation du terrain

On aménage deux parcelles d'un mètre carré chacune, labourée à une profondeur de 15 cm avec la daba traditionnelle. On apporte sur chacune d'elles des gravillons qu'on homogénéise avec la terre labourée en place. Avant de remuer, toute la surface de la parcelle est couverte de ces gravillons. Ceux-ci représentent 52% du poids de la terre travaillée.

Les graviers utilisés proviennent d'échantillons prélevés dans la région de Sikensi à 25 km de l'autoroute vers Agboville et soumis au tamisage à 2 mm. Ces éléments grossiers sont lavés et séchés à l'étuve. Seule la fraction de graviers (2-20 mm) a été retenue.

Ces graviers sont constitués (LEVEQUE, 1970) de :

- pseudo-concrétions : ce sont des fragments de roche qui gardent leur forme primitive (20,8%)
- concrétions semi-pisolitiques : de forme sphérique (25,2%)
- masses indurées : de forme nodulaire (47,8%)
- un peu de quartz (6%).

Le poids de ces gravillons est 91,5 kg avec une densité de 1,70. Les deux parcelles sont aplanies. Elles présentent les mêmes pentes soit 7% et sont proches l'une de l'autre pour que les variations pédologiques soient limitées. On peut considérer ainsi que la présence des gravillons est la différence majeure entre les deux parcelles. De même tout travail effectué sur chaque parcelle porte également sur un anneau de garde de 10 m².

II.2.2. Densité

La détermination des densités est effectuée à côté de chaque parcelle dans la zone qui reçoit le même arrosage. Avant chaque averse de la même séquence (une séquence pluvieuse est une série de pluies survenant le même jour) on prélève trois échantillons à l'aide d'un cylindre de volume connu. Ces échantillons contenus dans des boîtes tarées au laboratoire sont mis à l'étuve à 105°C d'où on les retire après 24 heures. Cette durée permet d'obtenir le poids sec de chaque échantillon.

P_0 poids de la boîte vide

P_1 poids de la boîte + poids de l'échantillon sec.

$P_1 - P_0$ poids de la terre sèche.

Ce poids sec divisé par le volume du cylindre de prélèvement donne la densité apparente (DA)

$$DA = \frac{P_1 - P_0}{\text{Volume}}$$

La densité réelle des deux parcelles est la même ; elle a été déterminée au laboratoire d'analyses de l'ORSTOM.

II.2.3. Porosité

La différence entre la densité réelle et la densité apparente rapportée à la densité réelle donne la porosité (θ_{\max}) :

$$\frac{D. \text{réelle} - DA}{D. \text{réelle}} = \theta_{\max}$$

II.2.4. Humidité

Avant chaque averse on prélève également des échantillons de terre pour déterminer l'humidité. Ces échantillons d'humidité, contenus dans des boîtes tarées, sont traités comme ceux de la densité.

P poids de la boîte vide

P_1 poids de la terre humide + poids de la boîte tarée

P_2 poids de la terre sèche + poids de la boîte tarée

$$\frac{P_1 - P_2}{P_2 - P} = \theta_p, \text{ humidité pondérale.}$$

Le produit de cette humidité pondérale par la densité apparente donne l'humidité volumique (θ_i) mesurée sur une profondeur donnée. Le déficit de saturation ($\theta_{\max} - \Delta\theta = \theta_i$) correspond à la quantité d'eau susceptible d'être absorbée dans la tranche correspondante.

Chaque parcelle a reçu au total neuf averses avec des temps de ressuyage différents t_a (temps écoulé entre deux averses consécutives). Chaque averse est suivie d'une pluie de contrôle pour en vérifier l'intensité. Ces intensités sont choisies en fonction des courbes intensités-durées établies comme nous l'avons vu pour des pluies naturelles (D.C.A., 1980).

II.2.5. Turbidité

Des prélèvements d'eau de ruissellement sont réalisés au cours de chaque averse grâce à une dérivation du canal d'écoulement.

Références	Porosité θ_{max}	I (inten- sité mm/h	Humidité pondérale θ_{ip}	Humidité volumi- que θ_i	Déficit de saturation $\Delta\theta$	
Parcelle 1 sans gravil- lons labourée	Densité réelle = 2,25	64	12	15,6	26,4	
		65	18,15	23,5	18,5	
	Densité appa- rente = 1,3	42%	132	26,65	33,34	8,66
		60	16,68	21,68	20,32	
		124	23,99	31,18	10,82	
		64,5	24,07	31,29	10,71	
		64	18,43	23,95	18,8	
		124,5	26,31	34,2	7,8	
		60	25,9	23,67	8,33	
Parcelle 2 labourée avec gravil- lons	Densité réelle = 2,25	64	11,3	15,8	22,2	
		60	16,85	23,59	14,41	
	Densité appa- rente = 1,4	38%	132	20,95	29,33	8,67
		59,4	16,10	22,54	15,46	
		124	22,24	31,13	6,87	
		60,7	18,64	26,09	11,91	
		59,5	15,16	21,22	16,8	
		125	22,64	31,6	6,4	
		58,2	16,71	23,4	14,6	

Tableau 2 - Densité, porosité, humidité et déficit de saturation avant chaque averse.

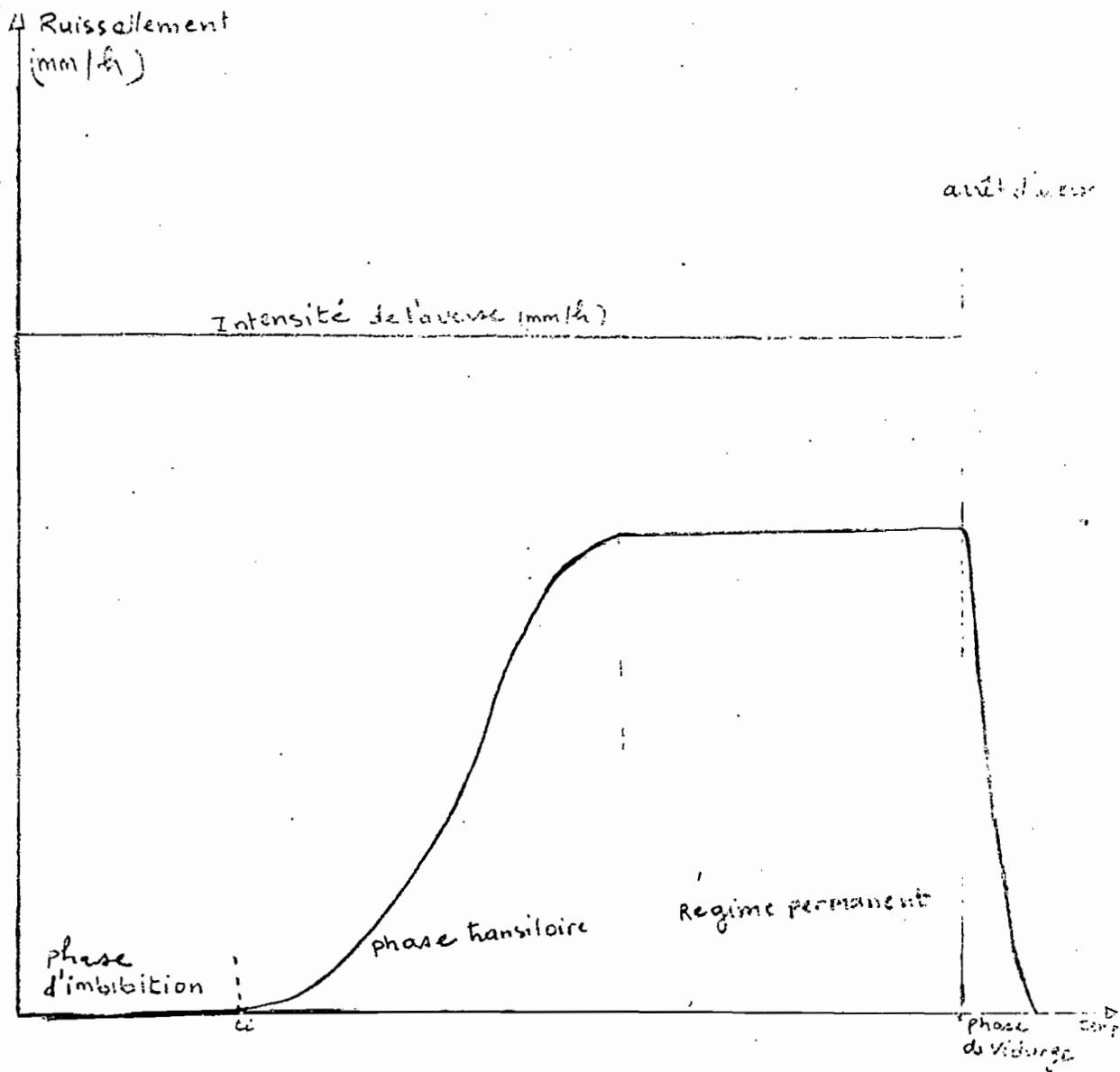


Figure: 3

Schema des différentes phases du ruissellement:

I (mm/h)		45	55	60	65	70	80	90	100	110
64	Temps (mn)									
	Ruissellement (mm/h)	9,6	18,3	18,7	25	29,3	32	36,5	36,5	36,5
	Turbidité (g/l)	0,75	1,64	2,88	66,3	6,7	13,10	9,6	8,3	7,13
65	Temps	5	10		15		20	25		30
	Ruissellement	20	34,2		34,3		37,5	39,9		39,9
	Turbidité				9,2		7,7	7,26		7,08
132	Temps	4		5'		8'		12'		15
	Ruissellement			96		98,1		97		99
	Turbidité	12,09				24,21		23,10		
60	Temps	5	10	12	15	20	25	28	30	
	Ruissellement	15,9	25,9	27,9	30,8	31,9	34,2	36,9	36,8	
	Turbidité		3,12		5,48	6,67	5,8		4,7	
124	Temps	4	5		8	10	12	15		
	Ruissellement		105		105	105	105	105	105	
	Turbidité	14,03			18,03		10,96			
4,5	Temps	5	10	15	20	25	30			
	Ruissellement	41,7	43,6	41,3	42,8	42,8	43,3			
	Turbidité		5,27	9,8	9,24	8,17	8,98			
64	Temps	5	10	15	20	25	30			
	Ruissellement	39,9	41,5	43,6	45	45	45			
	Turbidité		9,31	13,58	9,13	12,55	6,63			
24,5	Temps	5	10	15	20	25	30			
	Ruissellement	98	111	111,9	111,9	111,9	111,9			
	Turbidité	19,7	24,33	20,10	19,9	17,05	19,6			
60	Temps	5	10	15	20	25	30			
	Ruissellement	31,9	36	38,4	43,6	44,4	44,4			
	Turbidité	4,9	5,72	6,32	5,39	5,03	4,5			

Tableau 3A - Ruissellement et érosion, en fonction du temps, sur la parcelle labourée sans grayillons.

I
mm/h)

64	Temps	45	50	55	60	65	70	80	90	100	110
	Ruissellement	10	18		20	28,5	29,2	31,5	30,2	35,2	35,2
	Turbidité	0,9	1	1,7	0,4		1,1	0,7	0,3	1,3	1,9
60	Temps			10		15		20		25	30
	Ruissellement			13,5		24		30		29,7	30,3
	Turbidité					0,63		1,4		5,5	2,5
132	Temps	4		5		8		10		12	15
	Ruissellement			103,9		105,6		104,3		109,1	109,3
	Turbidité	8,8		7,01						8,04	
59,4	Temps	5		10		15		20		25	30
	Ruissellement	17,1		31,5		33,3		39,9		39	39,9
	Turbidité			1,47		1,97		2,44		1,74	2,6
124	Temps	4		5		8		10		12	15
	Ruissellement			105		105		102		104	105
	Turbidité	8,24				5,76				6,9	
60,7	Temps	5		10		15		20		25	30
	Ruissellement	35,5		36,9		41,3				41,3	41,3
	Turbidité			3,53		3,35		2,22		4,42	2,54
59,5	Temps	5		10		15		20		25	30
	Ruissellement	34,2		39		39,9		39		39,9	39,9
	Turbidité			2,68		3,38		5,31		3,11	3,33
125	Temps	5		10		15		20		25	30
	Ruissellement	92		109,1		109		109		109	109
	Turbidité	7,26		8,58		9,54		10,33		8,39	7,89
58,2	Temps	5		10		15		20		25	30
	Ruissellement	37,5		41,3		43		42,8		43	43,1
	Turbidité	0,97		2,65		1,95		1,7		1,8	1,76

Tableau 3B - Ruissellement et érosion en fonction du temps sur la parcelle labourée gravillonnaire.

Les échantillons de turbidité sont traités au sulfate d'alumine à 5% à raison d'1 ml par litre. Le sulfate d'alumine a pour rôle de provoquer la floculation de la matière organique et de l'argile. Lorsque l'eau à la surface des bouteilles devient limpide elle est siphonnée. Le contenu solide est déposé à l'étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Ce poids sec divisé par le volume d'eau de ruissellement correspondant exprimé en litre, donne la charge solide ou turbidité. On désigne par Cs la charge solide maximale qui s'obtient en début de pluie et Cx la turbidité moyenne qui correspond au régime permanent du ruissellement.

II.2.6. Ruissellement

Le limnigraphe enregistre la montée de l'eau dans la cuve en fonction du temps. La mesure des dérivées de ces limnigrammes (déterminées par les valeurs des pentes des tangentes en chaque point) donne la variation des intensités de ruissellement en fonction du temps. On calcule également la lame d'eau ruisselée (Lr) et la lame d'eau écoulée après l'arrêt de l'averse (Dr). L'hydrogramme (Figure 3) permet de déterminer l'infiltration minimale qui est l'intensité d'infiltration au moment où le ruissellement atteint son palier. Elle s'obtient par la différence entre l'intensité de la pluie et le ruissellement maximal (Rx) : $FN = I - Rx$.

Connaissant l'intensité (I) d'une averse et sa durée (t) on peut calculer la quantité d'eau reçue (PU) par parcelle :

$$PU = I \times t$$

(mm) (mm/h) x (h)

De même connaissant le temps d'imbibition (ti) (temps compris entre le début d'averse et le début de ruissellement) on peut calculer la hauteur de la pluie d'imbibition (Pi) qui correspond à la lame d'eau absorbée pendant la durée correspondante (ti) : $Pi = i \times ti$
(mm) (mm/h) h

La différence entre la lame d'eau ruisselée (Lr x dr) et la quantité d'eau reçue sur la parcelle (PU) donne la lame d'eau infiltrée (W).

$$W = PU - Lr - Dr$$

Les différents résultats permettent la comparaison du comportement des parcelles vis-à-vis de l'infiltration (tableaux 1, 2, 3A, 3B, 4).

III. RESULTATS EXPERIMENTAUX

III.1. Ruissellement

L'eau de pluie sur le sol commence à ruisseler après un temps d'imbibition (ti) à la suite duquel le ruissellement croit pour atteindre un palier qui s'interrompt à l'arrêt de l'averse. On a ainsi les quatre phases du ruissellement (Figure 2) qui sont :

pluie

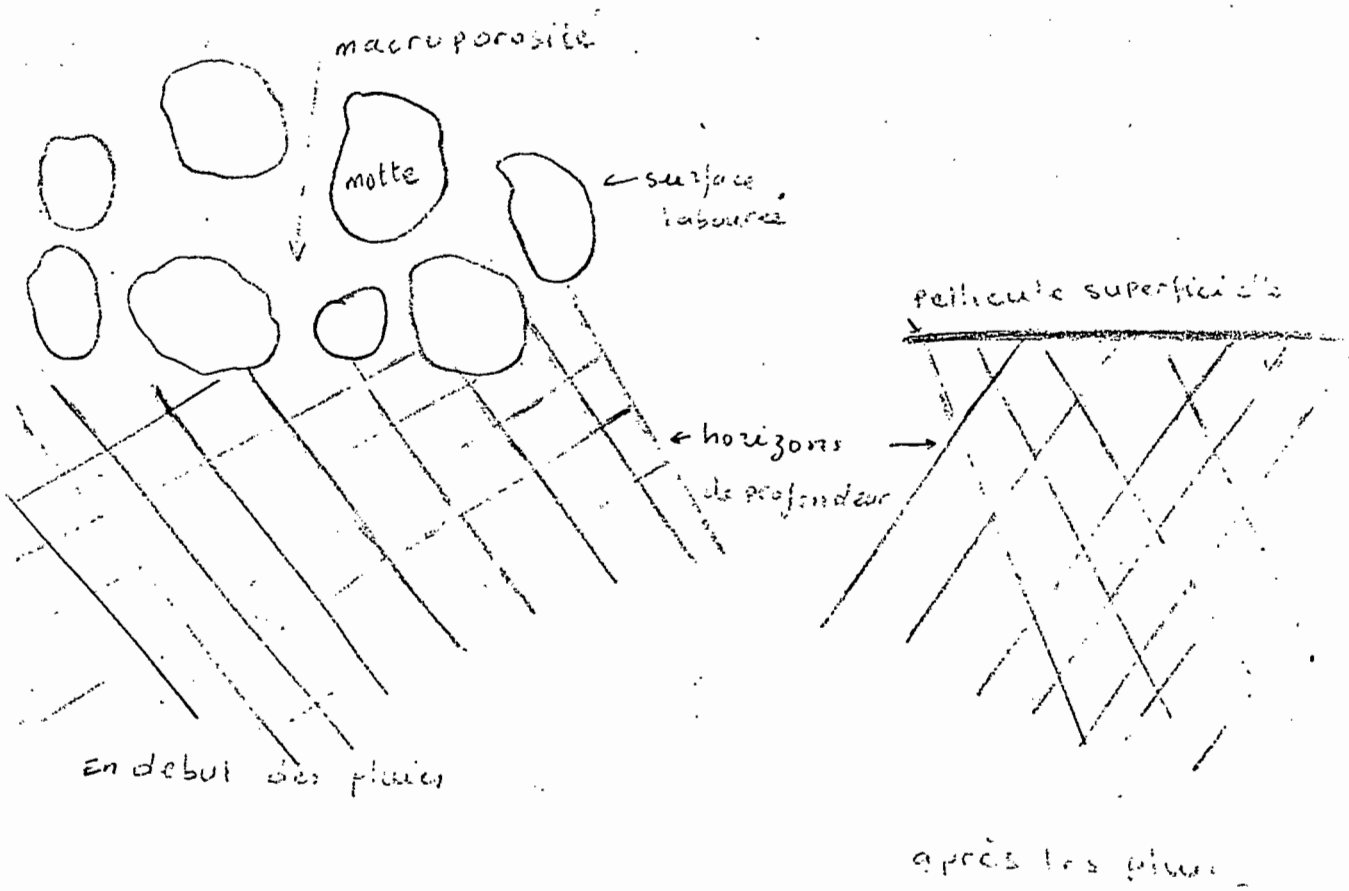


Figure 4

schema de la formation de la pellicule superficielle.

- La phase d'imbibition : c'est la phase pendant laquelle l'infiltration est supérieure à l'intensité. Des flaques apparaissent lorsque l'intensité d'infiltration diminue par rapport à celle de l'averse.
- La phase transitoire : le ruissellement apparaît au temps t_i puis croît plus ou moins rapidement du fait de la diminution de l'infiltration, de l'augmentation de la hauteur d'eau en mouvement à la surface et du débordement progressif des flaques.
- le régime permanent : le ruissellement atteint une valeur maximale (R_x) qui correspond à l'infiltration minimale (F_n).
- la phase de vidange : elle se situe après l'arrêt de la pluie et correspond à l'écoulement de la lame d'eau mobilisable en surface.

Le ruissellement apparaît moins rapidement au cours des premières pluies et devient par la suite de plus en plus important. On le remarque par exemple pour des pluies de même intensité sur la parcelle labourée sans gravillons entre les quatrième et neuvième pluies et pour la parcelle gravillonnaire entre les deuxième et sixième pluies (Tableaux 3A, 3B, 4). Cette augmentation du ruissellement est due à la formation d'une pellicule superficielle à faible conductivité hydraulique (COLLINET et VALENTIN, 1979). Les gouttes de pluies exercent une force sur les mottes dont elles dispersent les particules qui colmatent ainsi les pores (Figure 4). Le labour suivi d'un aplanissement diminue la cohésion des particules et accentue ainsi l'effet des gouttes. La pluie d'imbibition, l'infiltration minimale, la lame d'eau ruisselée et la détention superficielle sont les caractéristiques majeures du ruissellement.

III.1.1. Pluie d'imbibition (P_i)

La quantité d'eau infiltrée avant l'apparition du ruissellement sert à combler le déficit de saturation superficielle. Une partie de l'eau qui pénètre dans le sol est retenue dans les fins capillaires et une partie est drainée vers les horizons de profondeur. Cette infiltration s'effectue avec une vitesse qui est fonction du diamètre et du nombre de pores existant dans le sol. L'imbibition est fonction du déficit de saturation qui dépend lui du temps de ressuyage (temps écoulé entre deux averses consécutives). Plus ce temps est long, plus une quantité importante d'eau s'infiltré dans les horizons de surface. Par conséquent plus le sol est sec plus la durée d'imbibition est longue.

On vérifie expérimentalement que cette pluie d'imbibition s'ajuste sur une fonction linéaire du temps de ressuyage (t_a) :

$$\text{Parcelle nue : } \begin{matrix} P_i & = & 0,03 & t_a & + & 1,07, & n = 8, & r^2 = 0,99 \\ (\text{mm}) & & & (\text{heures}) & & & & \end{matrix}$$

(significatif à 0,1%)

$$\text{Parcelle gravillonnaire : } \begin{matrix} P_i & = & 0,03 & t_a & + & 1,01 & n = 8 & r^2 = 0,96 \\ (\text{mm}) & & & (\text{heures}) & & & & \end{matrix}$$

(significatif à 0,1%).

Les deux droites présentent des pentes identiques ($a = 0,03$) et des ordonnées à l'origine très voisines. Les gravillons n'ont donc pas d'influence sur la pluie d'imbibition.

III.1.2. Infiltration minimale F_n

L'infiltration du sol diminue au cours de l'averse pour atteindre une valeur minimale (F_n). Cette infiltration minimale correspond au régime permanent du ruissellement (R_x). Elle varie pour les premières pluies avec l'intensité et finit par devenir constante. Au cours des premières pluies, la surface du sol conserve une certaine hétérogénéité qui s'efface lors de la formation de la pellicule superficielle. Cette variation de l'hétérogénéité de surface explique le type de fonction $F_n = f(I)$ qui est une droite croissante lorsque la parcelle est hétérogène et qui est une droite constante lorsque la parcelle est homogène (LAFFORGUE, 1977 ; COLLINET et VALENTIN, 1980).

On constate que cette infiltration diminue avec le nombre de pluies reçues par les parcelles (Tableau 4). La désagrégation des mottes est progressive sur les deux parcelles. Les gravillons, lors de ces essais, n'ont pas empêché la formation de la pellicule superficielle. Contrairement aux pluies d'imbibition la valeur de l'infiltration minimale (F_n) ne dépend pas ici du déficit de saturation mais semble bien déterminée par les caractéristiques de surface (pellicule). La vitesse de percolation qui devient constante lorsque tous les pores superficiels sont remplis commande l'infiltration minimale. Elle n'est plus dépendante de l'intensité des averses. Aux différentes intensités correspondent ainsi des valeurs d'infiltration sensiblement identiques.

III.1.3. La lame d'eau ruisselée

La formation des pellicules superficielles au cours des averses favorisent le ruissellement. La comparaison des courbes de lames ruisselées cumulées - pluies cumulées (Figure 5) montre également la similitude du comportement hydrodynamique des deux parcelles.

Les rapports $\frac{\Sigma L_r}{\Sigma P_u}$ sont très voisins

$$\text{Parcelle nue } \frac{229,1}{408,8} = 56,0\%$$

$$\text{Parcelle gravillonnaire } \frac{223,3}{397} = 56,2\%$$

III.1.4. Détention récupérable (D_r)

La détention superficielle est la hauteur de la lame d'eau en mouvement sur la parcelle au cours du ruissellement. Sa valeur est exprimée à partir de la détermination de la détention récupérable qui est la hauteur d'eau qui s'écoule après l'arrêt de la pluie. Celle-ci s'ajuste sur une fonction puissance du ruissellement maximal (R_x) :

FIG. 5A: PARCELLE 1 (SL) LAME D'EAU RUISSELEE CUMULEE EN FONCTION DES PLUIES CUMULEES (SP)
SUR LA PARCELLE

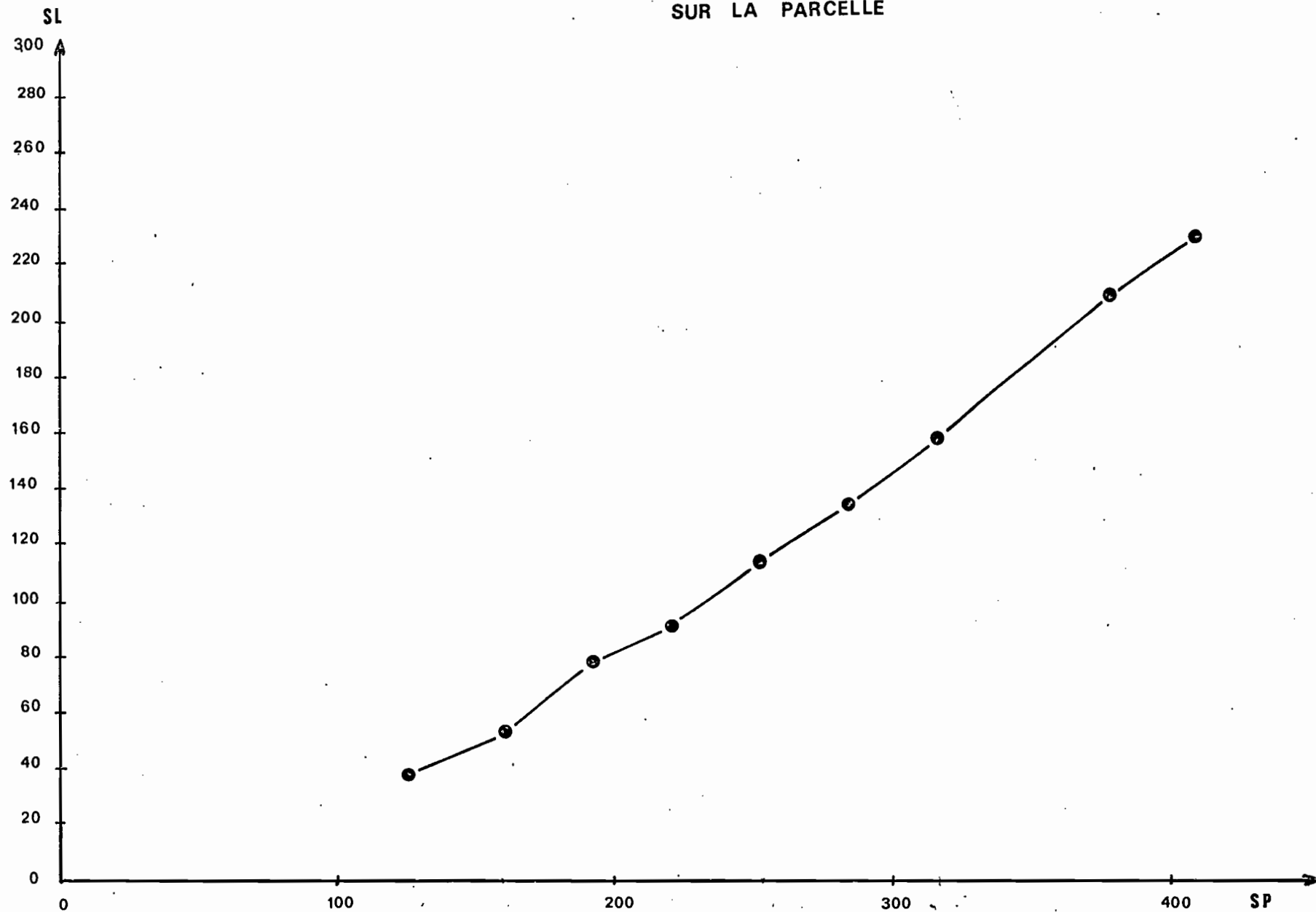
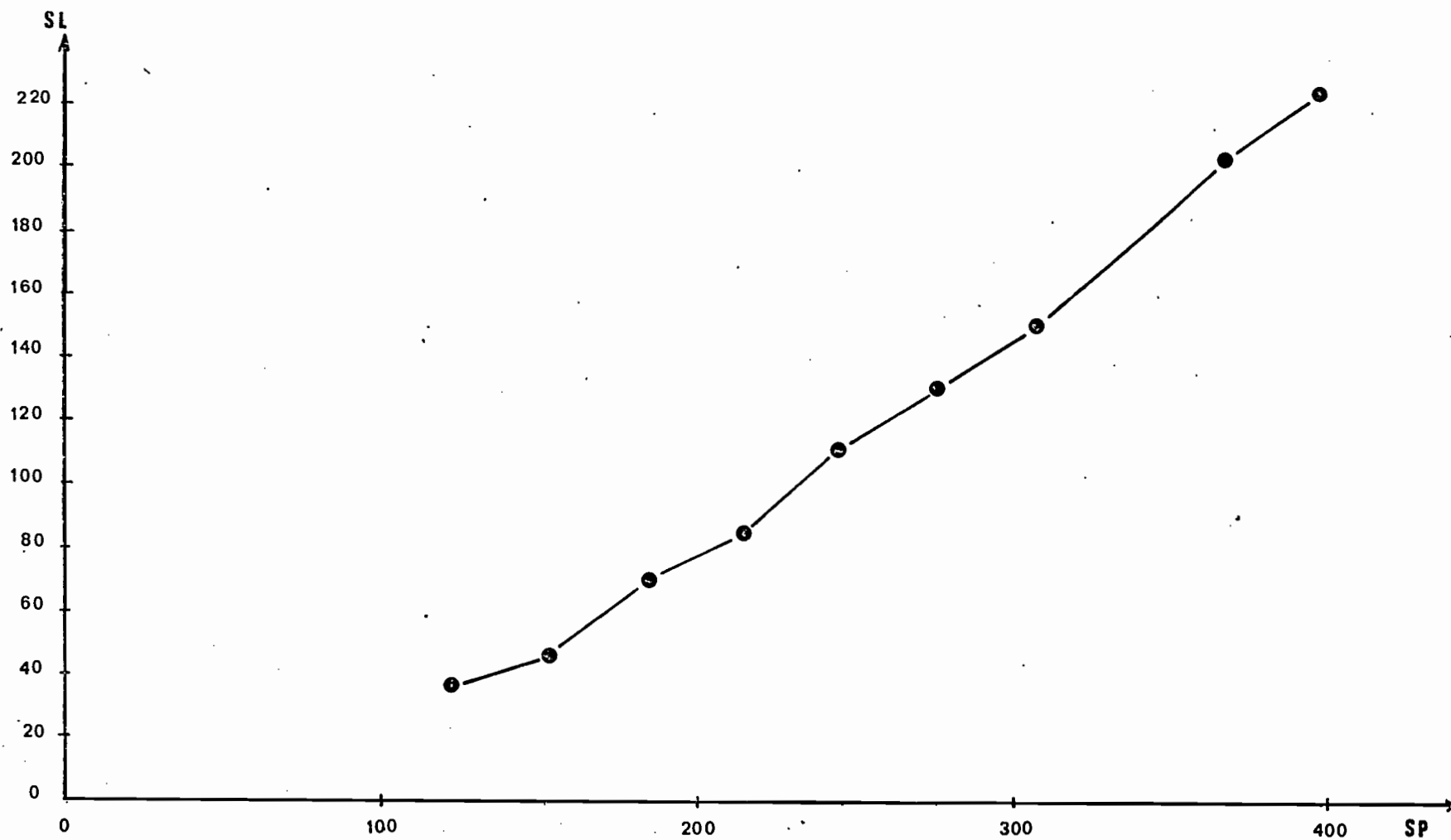


FIG. 5B : PARCELLE 2 (CL) LAME D'EAU RUISSELEE CUMULEE EN FONCTION DES PLUIES CUMULEES (SP) SUR LA PARCELLE



Références	N°	ta heure	I mm/h	PU (mm)	SPU (mm)	Pi (mm)	Lr (mm)	sL (mm)	Dr (mm)	W (mm)	Rx mm/h	Fn mm/h	cs g/l	cx g/l
Parcelle 1 labourée sans gra- villons	1	-	64	125,8	125,8	35,2	38,2	38,2	0,41	87,2	36,5	27,5	13,1	7,13
	2	43h28'	65	32,5	158,3	2,16	15,2	53,4	0,36	17	39,9	25,1	7,7	7,3
	3	1h	132	33	191,3	1,05	24,3	77,7	0,64	8	99,9	32,1	24,21	23,65
	4	73h35'	60	30	221,3	3,19	13	90,7	0,4	16,6	36,9	23,1	6,67	5,6
	5	0h30'	124	31	252,3	1,03	24	114,7	0,5	6,5	105	19	20,9	23,65
	6	0h30'	64,5	32,25	284,5	1,07	21,1	135,8	0,4	10,7	42,8	21,7	9,8	8,8
	7	18h25'	64	32	316,5	1,6	21,3	157,1	0,5	10,2	45	19	12,55	9,97
	8	0h30'	124,5	62,25	378,75	1,037	52,7	209,8	0,64	9	111,9	12,6	24,33	19,16
	9	0h15'	60	30	408,75	1,1	19,3	229,1	0,4	10,7	44,4	15,6	6,36	5,32
										175,9				
Parcelle 2 labourée avec gravillons	1	-	64	121,6	121,6	32	35,6	35,6	0,5	85,5	35,2	28,8	1,73	1,07
	2	23h56'	60	30	151,6	1,9	10,16	45,76	0,4	19,4	30,3	29,7	5,55	3,15
	3	1h00'	132	33	184,6	1,32	24,8	70,56	0,6	7,6	109,2	22,8	8,8	7,5
	4	68h03'	59,4	29,7	214,3	3,46	13,9	84,46	0,4	15,4	39,9	19,5	2,6	2
	5	0h30'	124	31	245,3	1,01	26,1	110,56	0,4	4,5	105	19	8,24	6,3
	6	0h30'	60,7	30,35	275,65	1,01	20,1	130,66	0,4	9,75	41,3	19,4	4,42	3,2
	7	24h40'	59,5	29,75	305,4	1,5	19,1	149,76	0,4	10,3	39,9	19,6	5,31	3,22
	8	0h30'	125	62,5	367,9	1,04	52,6	202,36	0,64	9,2	109	16	10,30	6
	9	0h15'	58,2	29,1	397	0,96	20,9	223,26	0,45	7,8	13,1	15	2,65	1,75
										169,4				

Tableau 4 : Ruissellement et détachabilité sur les deux parcelles.

Parcelle nue. $Dr = 0,39 R_x^{0,10}$, $n = 9$, $r^2 = 0,75$
(mm) (mm/h)
(significatif à 1%)

Parcelle gravillonnaire : $Dr = 0,33 R_x^{0,13}$, $n = 9$, $r^2 = 0,83$
(mm) (mm/h)
(significatif à 0,1%)

III.1.5. Conclusion partielle

Les deux parcelles ne diffèrent pas l'une de l'autre vis-à-vis de l'infiltration et du ruissellement. Les gravillons n'apportent pas de modification sensible au comportement hydrodynamique de ce sol labouré.

Les pellicules superficielles se forment sur les deux parcelles mais davantage sur la parcelle nue. Sur la parcelle gravillonnaire la pellicule superficielle se forme entre les gravillons et colmate ainsi les pores. Mais les éléments grossiers présentent eux-mêmes une infiltrabilité nulle. Ils constituent, localement, des surfaces plus imperméables. Ainsi le comportement de la surface à pellicule discontinue et pavage gravillonnaire est sensiblement identique à celui de la surface à pellicule continue.

III.2. Détachabilité

L'agressivité de la pluie provoque le détachement de particules, suivi de leur transport par le ruissellement. En général on remarque sur les différents turbidigrammes que l'érosion atteint une valeur maximale (C_s) à la fin de la phase transitoire. Elle tend ensuite à se stabiliser vers une valeur moyenne (C_x). Ces différentes valeurs dépendent de l'intensité des averses dont elles sont des fonctions linéaires.

La superposition des turbidigrammes de pluie de même intensité, et de même numéro de succession dans les séquences pluvieuses permet de montrer que la détachabilité est nettement plus marquée sur parcelle nue que sur la parcelle gravillonnaire (Figures 6 et 7). Ces différences sont bien visibles pour les valeurs maximales (C_s) et moyennes (C_x) représentées en fonction des intensités.

III.2.1. Charge maximale (C_s)

La charge maximale s'ajuste sur une fonction linéaire de l'intensité (I) d'équation $C_s = aI + b$

pour la parcelle nue $C_s = 0,22I + 4,36$, $n = 9$, $r^2 = 0,90$
(g/l) (mm/h)
(significatif à 0,1%)

FIG. 6 :

PARCELLE 1 SANS CAILLOUX, LABOUREE

$l = 64 \text{ mm/h}$

PARCELLE 2 AVEC CAILLOUX, LABOUREE

$l = 64 \text{ mm/h}$

1 = HYDROGRAMME

2 = TURBIDIGRAMME

1 ————— } P1
2 - - - - - } P1

1 — · — · — } P2
2 ········· } P2

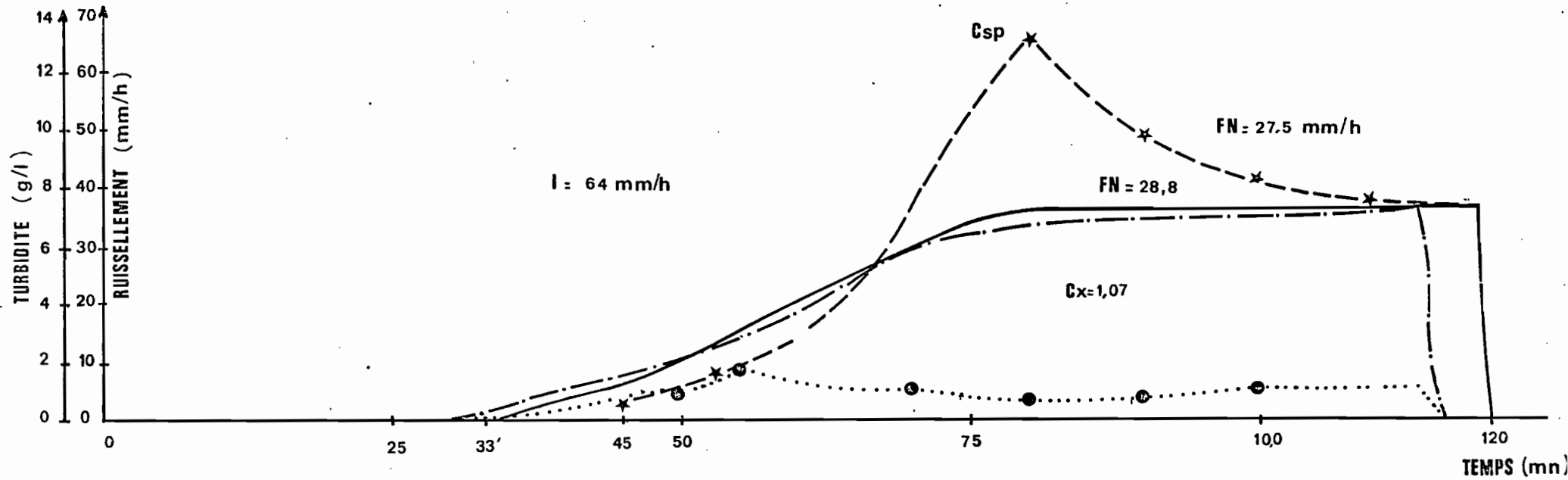


FIG. 7 :

PARCELLE 1 SANS CAILLOUX, LABOUREE

$I = 132 \text{ mm/h}$

PARCELLE 2 AVEC CAILLOUX, LABOUREE

$I = 132 \text{ mm/h}$

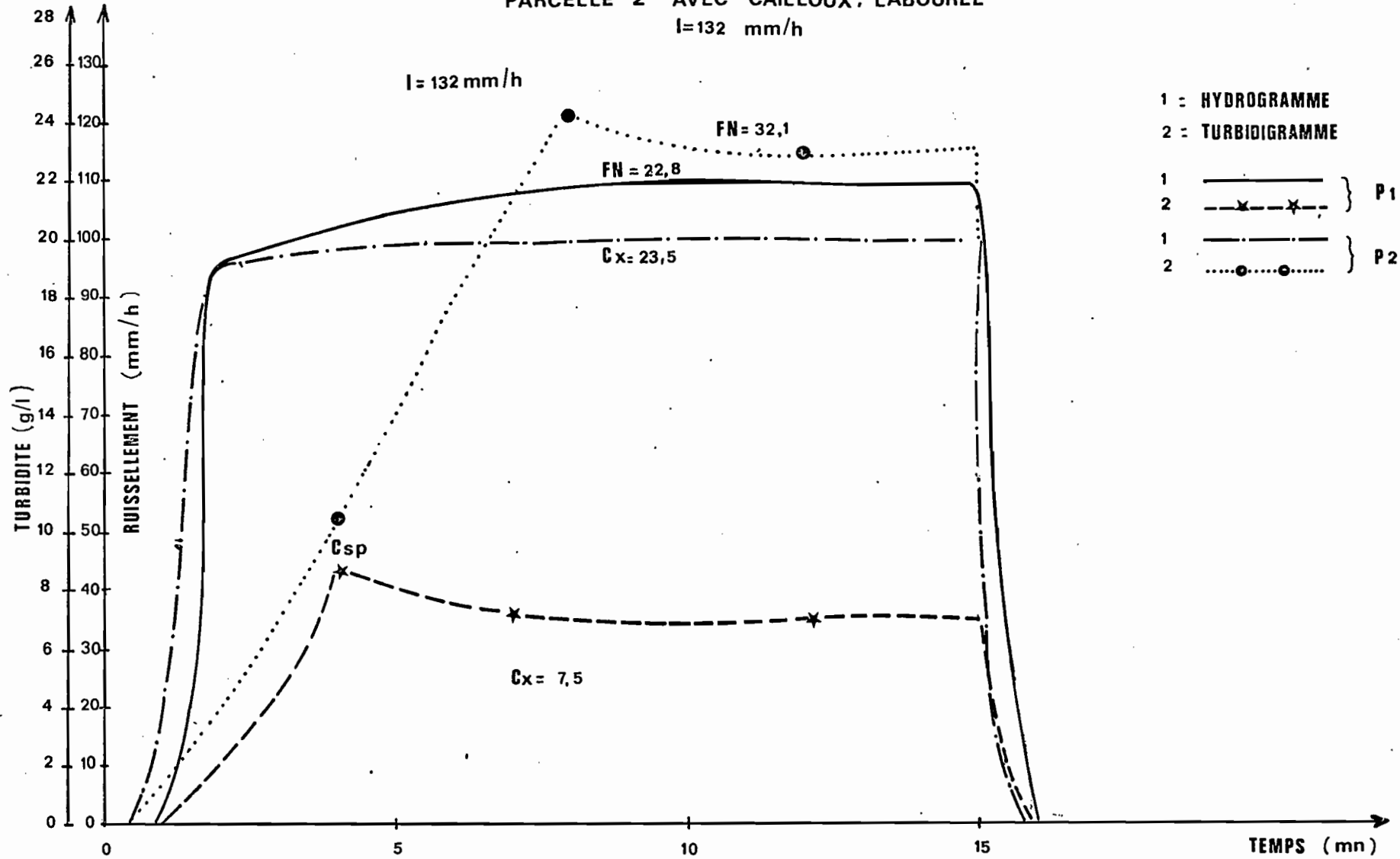


FIG. 8

PARCELLE 1 SANS CAILLOUX, LABOUREE

$l = 60$ $ta = 15'$

PARCELLE 2 AVEC CAILLOUX, LABOUREE

$l = 58,2$ $ta = 15'$

1 = HYDROGRAMME
2 = TURBIDIGRAMME

1 ———— } P1
2 - - - * - - - }
1 ———— } P2
2 • }

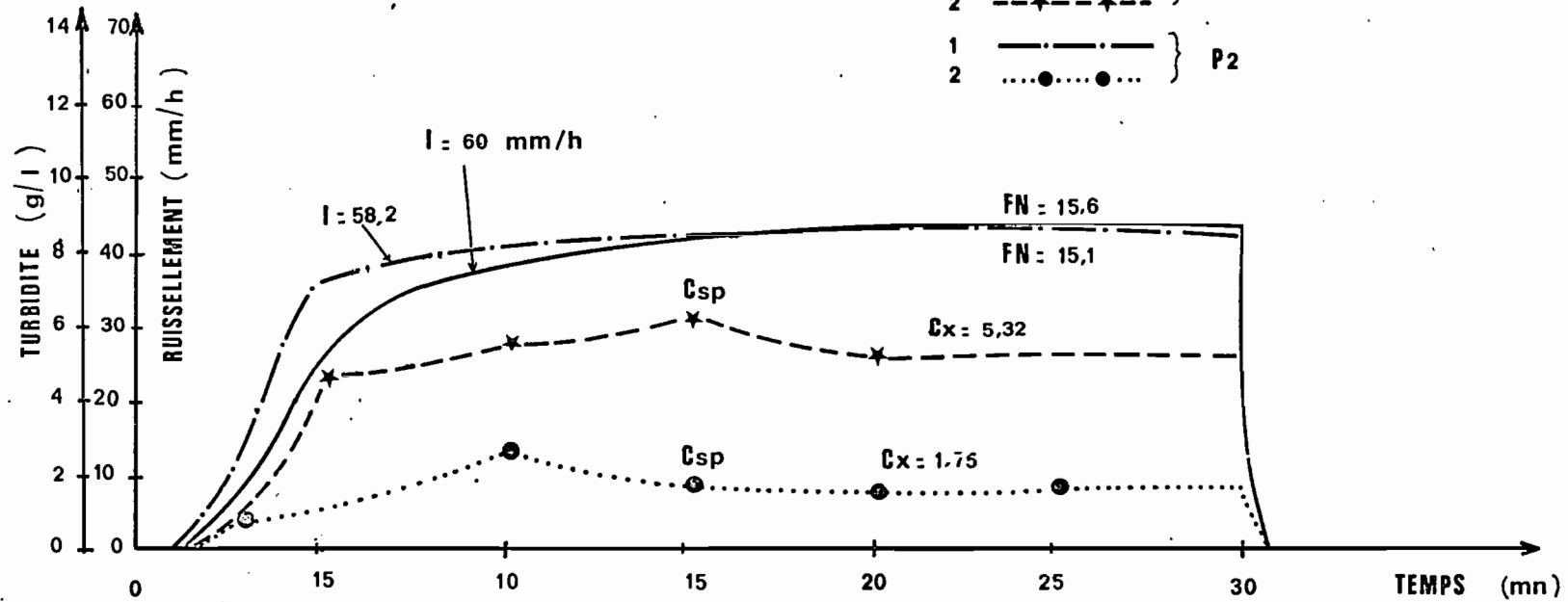


FIG. 9 A : PARCELLE 1 (C_s) CHARGE SOLIDE MAXIMALE EN FONCTION DE L'INTENSITE (I) DES PLUIES

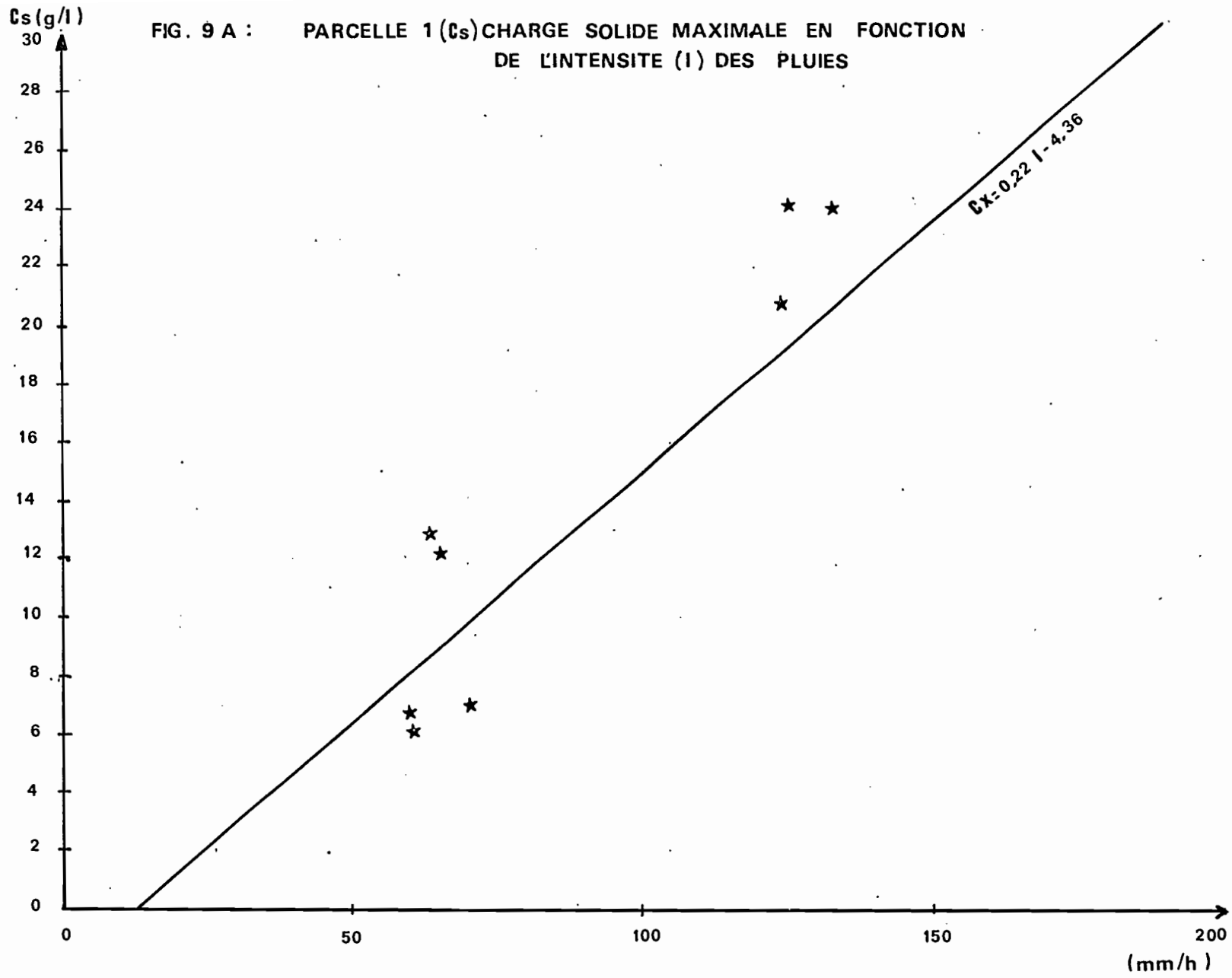


FIG. 9 B : PARCELLE 2 (C_s) CHARGE SOLIDE MAXIMALE EN FONCTION DE L'INTENSITE (I) DES PLUIES

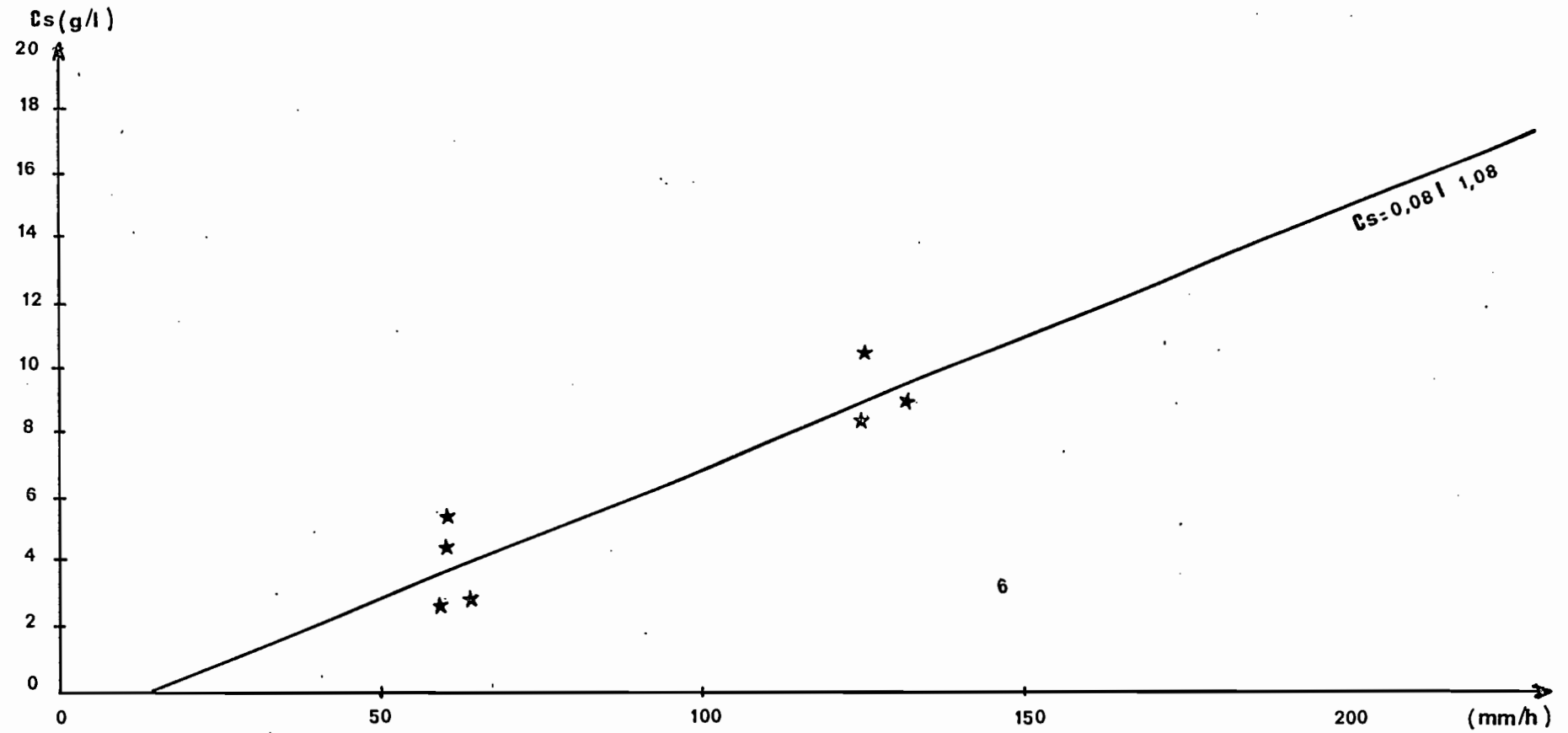


FIG. 10A : PARCELLE 1 (C_x) CHARGE SOLIDE MOYENNE

$$C_x = f(I)$$

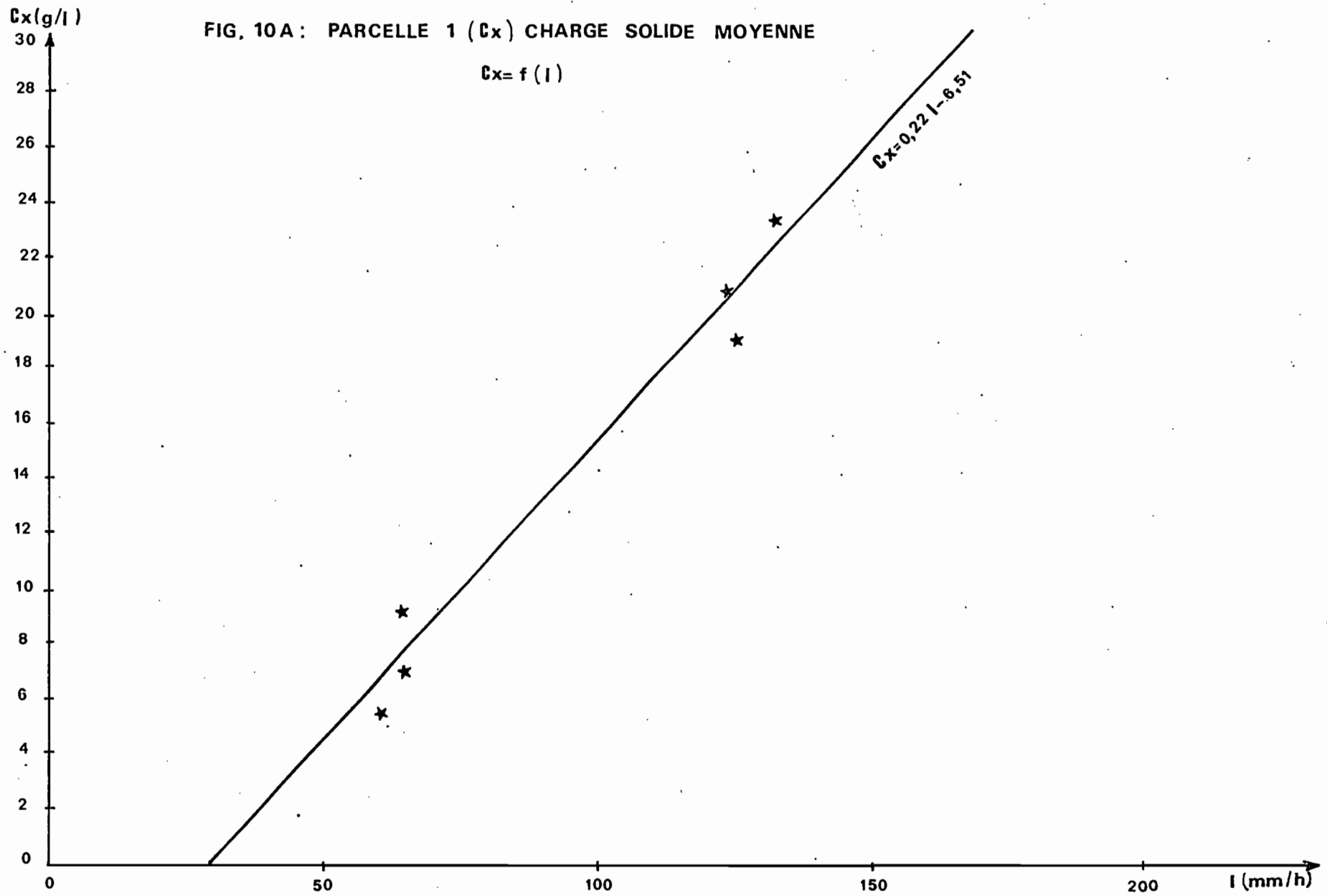
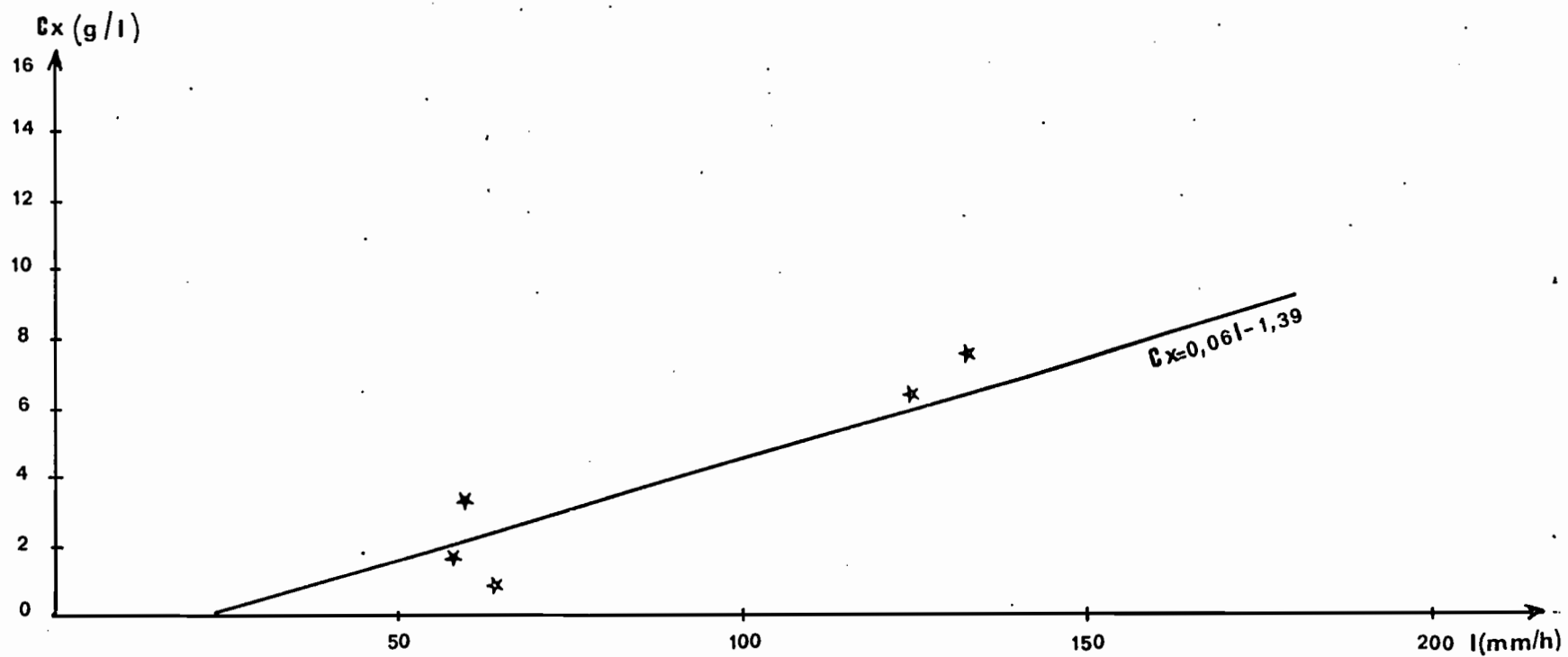


FIG. 10 B :

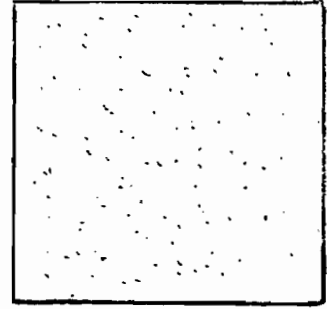
PARCELLE 2 (C_x) CHARGE SOLIDE MOYENNE

$$C_x = f(l)$$



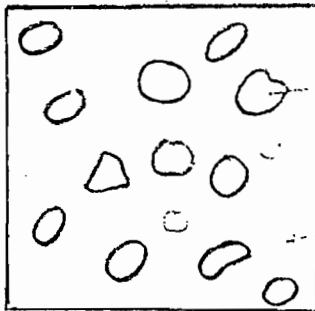


parcelle graveleuse
labourée aplaniée



parcelle sans gravillon
labourée et aplaniée

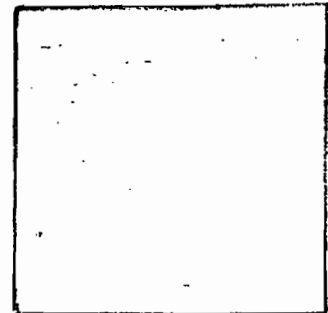
avant les averses



gravillons

pellicule
superficielle

parcelle graveleuse



parcelle sans
gravillon

après les neuf averses

Figure 11 schéma de l'évolution de la surface de chaque parcelle au cours des averses.

pour la parcelle gravillonnaire $C_s = 0,08I - 1,08$, $n = 9$, $r^2 = 0,78$
(g/l) (mm/h)
(significatif à 0,1%)

Les paramètres des équations sont très différents. Ainsi pour les averses N°3 de même intensité (132 mm/h) la détachabilité maximale est trois fois supérieure sur la parcelle nue que sur la parcelle gravillonnaire (Tableau 4).

III.2.2. Charge moyenne (Cx)

La charge moyenne (Cx), ou charge stationnaire, est également une fonction linéaire de l'intensité (I).

parcelle nue : $C_x = 0,22I - 6,51$, $n = 9$, $r^2 = 0,96$
(g/l) (mm/h)
(significatif à 0,1%) (Figure 10 A)

parcelle gravillonnaire
 $C_x = 0,06I - 1,39$, $n = 9$, $r^2 = 87$
(g/l) (mm/h)
(significatif à 0,1%) (Figure 10 B)

Les valeurs moyennes pour les mêmes pluies sont cinq à sept fois supérieures sur la parcelle nue que sur la parcelle gravillonnaire (Tableau 4).

III.2.3. Conclusion partielle

Bien que les gravillons n'interviennent pas sur le ruissellement, ils réduisent fortement la détachabilité des sols labourés. Ils protègent la terre fine (qui se trouve directement dessous) de l'impact des gouttes de pluies. L'effet de rejaillissement ("splash") qui détruit les mottes ne s'exerce que sur une petite partie de la parcelle gravillonnaire. La compétence du ruissellement n'est pas susceptible d'entraîner ces gravillons. L'eau exporte la terre située autour des gravillons. Ces derniers donnent ainsi l'impression de "pousser" à la surface de la parcelle (Figure 11).

CONCLUSION GENERALE

La présence de gravillons dans un horizon labouré est considérée comme défavorable pour l'agriculture : ils limitent généralement les réserves en eau et en éléments fertilisants ; ils présentent en outre un obstacle et une source d'usure aux pièces travaillantes. Nous avons montré en conditions expérimentales qu'ils ne

favorisent pas toujours l'infiltration. Cependant ils limitent considérablement la sensibilité à l'érosion hydrique des sols. Ce caractère intéressant devrait susciter de nouvelles études en vue de déterminer les effets de la forme et de la taille de ces gravillons sur les propriétés hydrodynamiques des sols et sur leur détachabilité.

BIBLIOGRAPHIE

1. Ouvrages cités

- ASSELIN (J.) et VALENTIN (C.), 1978. Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion.
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., Vol XV, n° 4, 1978, pp 321-349.
- COLLINET (J.) et VALENTIN (C.), 1979. Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., Vol XVII, n° 4, 1979, pp. 283-328.
- COLLINET (J.) et VALENTIN (C.), 1980. Effects of rainfall intensity and soil surface heterogeneity on steady infiltration rate. Laboratory of Experimental Soil Science, O.R.S.T.O.M., ABIDJAN. Ivory Coast, 1980. 8 p. Communication au Congrès International des Sols. New Delhi, 1982.
- LAFFORGUE (A.), 1977. Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées.
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., Vol XIV, n° 4, 1977, pp. 299-344.
- LEVEQUE (A.), 1970. L'origine de concrétions ferrugineuses dans les sols du socle granitogneissique au Togo.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., Vol VIII, n° 3, 1970, pp. 321-348.
- ROOSE (J.), 1980. Dynamique actuelle d'un sol ferrallitique sablo-argileux très désaturé sous cultures et sous forêt dense humide subéquatoriale du sud de la Côte d'Ivoire.
O.R.S.T.O.M. Paris, multigr., 204 p.

2. Ouvrages consultés

- COLLINET (J.), VALENTIN (C.), ASSELINE (J.), CHEVALLIER (P.), SICOT (M.), 1980. ETUDE LAT/03. Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes. Opération "MARE d'OURSI" DGRST (Paris). O.R.S.T.O.M. Adiopodoumé, multigr., 14 p.
- COLLINET (J.), VALENTIN (C.), ASSELINE (J.), HOEPPFNER (M.), HARANG (P.), PEPIN (Y.), 1980. ETUDE LAT/03. Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et sub-désertiques. Rapport de terrain sur la seconde opération "NIGER". DGRST (Paris). O.R.S.T.O.M. Adiopodoumé, multigr., 36 p.
- VALENTIN (C.), 1978. Divers aspects des dynamiques actuelles de quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire. Recherches méthodologiques. Résultats et interprétations agronomiques. O.R.S.T.O.M., 141 p., multigr. + annexes.

ANNEXE

PRESENTATION DU CENTRE O.R.S.T.O.M. D'ADIOPODOUME

L'O.R.S.T.O.M. (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer) s'est implanté à Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) en 1946, avec l'installation de la section de Botanique. C'est le plus ancien et le plus grand Centre ORSTOM en Afrique. Il comprend 260 personnes (53 chercheurs dont 6 ivoiriens).

Le Centre d'Adiopodoumé ne s'occupe que des Sciences de la Terre et de la Biologie des plantes. Il est en relation avec d'autres Centres tels que :

- le C.R.O. (Centre de Recherches Océanographiques)
- le Centre des Sciences Humaines
- le Centre ORSTOM de Bouaké.

Il existe des Missions ORSTOM à l'intérieur du pays (à Man : la Mission de la Génétique du Café *Arabica*).

Le Centre ORSTOM d'Adiopodoumé regroupe actuellement 10 sections réparties en laboratoires.

1. La section de Pédologie

La Pédologie (Science du sol) a plusieurs programmes d'études :

- la cartographie des sols du Nord et leur inventaire
- l'évolution des caractères des sols sous l'effet du défrichement
- le comportement physique des sols
- l'hydrodynamique des sols (réaction du sol à l'eau de pluie), programme qui est confié au laboratoire de Pédologie expérimentale.

2. La section d'Hydrologie

Elle s'occupe de l'eau de surface. Il s'agit d'une recherche appliquée à la construction des barrages, à l'alimentation en eau des villes, à la détermination des hauteurs des ponts, etc...

3. La section d'Agronomie

Elle s'intéresse aux racines des plantes cultivées et détermine les techniques culturales les mieux adaptées aux conditions du milieu.

4. La section de Bioclimatologie

Elle étudie le comportement des animaux et des plantes dans leur milieu, vis-à-vis des conditions climatiques.

5. La section de Phytopathologie

La Phytopathologie est l'étude des maladies des plantes causées par les virus, insectes, bactéries et champignons. A l'ORSTOM Adiopodoumé, seules sont étudiées les maladies causées par les champignons. Il y a deux programmes :

- Les champignons parasites des plantes maraîchères (laitue, etc..)
- Les maladies racinaires de l'*Hevea brasiliensis*.

6. La section de Génétique

Elle a pour but l'amélioration des plantes en milieu tropical. Elle comporte quatre grands programmes qui concernent : le *Panicum maximum*, le café, le riz et le mil.

7. La section de Physiologie végétale

Elle travaille sur *Hevea brasiliensis* en vue de satisfaire aux besoins des planteurs (optimisation de l'exploitation, stimulation de la production).

8. La section de Nématologie

Elle étudie le mode d'action des nématodes des plantes cultivées (riz, canne à sucre, arachide, etc...) et essaie de trouver des méthodes de luttés.

9. La section de Botanique

Elle a pour but d'établir la collection des espèces végétales de Côte d'Ivoire et la reconstitution de la végétation après jachère.

10. Le laboratoire Central d'Analyses

C'est un ensemble de plusieurs laboratoires. Il a pour but de traiter les échantillons qui proviennent des différentes sections de l'ORSTOM et ceux de certains clients particuliers. Il n'effectue que des analyses de chimie minérale.

LE LABORATOIRE D'ACCUEIL

Le laboratoire de Pédologie Expérimentale a été fondé en 1964 par E. ROOSE. Pendant 12 ans, celui-ci a travaillé sur :

- l'érosion mesurée en parcelle expérimentale sous pluies naturelles,
- la lixiviation (entraînement des éléments fertilisants par le drainage) à l'aide de lysimètres.

De 1976 à 1980 J. COLLINET, qui lui a succédé, a étudié principalement l'érosion au moyen du grand simulateur de pluies.

Depuis mars 1980, la responsabilité du laboratoire de Pédologie Expérimentale est assurée par C. VALENTIN dont le programme est l'étude de l'influence des différents états de surface sur l'infiltration, le ruissellement et l'érosion. Il utilise pour cela le petit simulateur de pluies (infiltromètre à aspersion) couplé à une sonde neutronique ou à chocs thermiques. Les études portent sur plusieurs pays de l'Afrique de l'Ouest (Côte d'Ivoire, Haute Volta, Niger et Sénégal). Une étude expérimentale est prévue en appui à la cartographie des sols du Nord de la Côte d'Ivoire qui doit débiter en janvier 1982.

Les résultats d'expérimentation de Pédologie Expérimentale comme pour tous les autres laboratoires de recherches de l'ORSTOM sont mis à la disposition des Instituts d'application. Ceux-ci sont en relation avec des Sociétés de développement dont le but est d'encadrer les paysans en vue d'accroître la production agricole. Par exemple au nord de la Côte d'Ivoire sur les champs de coton les essais intéressent l'I.R.C.T. et la C.I.D.T.