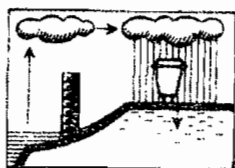


SEPTEMBRE 1982

RAPPORT D'ELEVE - ANNEE DE SPECIALISATION

UN NOUVEL OUTIL POUR ESTIMER LE
RUISSELLEMENT SUR UN PETIT BASSIN VERSANT:
LE MINI-SIMULATEUR DE PLUIES.
EXPERIMENTATION SUR LE BASSIN DE BINNDE

Jean Hassane
ALBERGEL - TOURI



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER
SECTION HYDROLOGIE
CENTRE DE OUAGADOUGOU



RESUME.

L'étude des caractères hydrodynamiques des sols sous pluies simulées a permis d'élaborer une nouvelle méthode pour estimer le ruissellement. Un protocole de pluie établi à partir de la pluviométrie régionale, est appliqué à une série de parcelles représentatives des différentes unités morpho-structurales. Un modèle permet de passer des relations "pluies simulées-ruissellement sur parcelles" aux relations "pluies naturelles-lames ruisselées sur le bassin". Ce modèle donne une prévision assez fine de la lame ruisselée correspondante à la crue décennale.

ملخص

أجل السبب الرئيسي في تعذر دراسة مائية دقيقة لحوض ما، عند دخول المطر الطبيعي، راجع بالدرجة الأولى إلى تعدد العوامل المؤثرة في المنداخلات بينها (المطر، نوعية التربة، الغطاء النباتي، ...)، ومن أجل ضبط معالمة هاتئ العوامل كلالى حدة وتقييم تأثيرها على النتائج المستنتجة، كان بدو بها تحديد قيمتها اختياريا، ومن ثمة فإن فكرة "المطر الاصطناعي المبسوط" لم تكن إلا لتساهل مساهمة من الأهمية بما كان في هذا الاتجاه، إذ أن الجهاز المعد لهذا الغرض يمكن من تحديد وفيل قيمة رقوة ومدة المطر بتمثله العليل رقم واحد في الظواهر المائية، ومجلية كمهذه لا تتطلب سوى مدة وجيزة من الزمن، أي زهاء ثلاثة أشهر، وذلك خلاف الطريقة التي سمىها تجاريا "تقليدية"، والتي شلت في دراسة مائية لحوض ما، خلال أربع إلى ست سنوات متتالية بغية ضبط ميزاته، سيما وأن الظواهر المائية متقلبة ومتغيرة في المكان والزمان.

وكتشاهذا يتم محور حول دراسة مائية بالمطر الاصطناعي لحوض سبق وأن درس من قبل بالطريقة التقليدية مساهمة المقارنة بين الطريقتين، ويتعلق الأمر بظقة الساحل - سفانم، حوض يندي، ناحية مائكا، بالولاية الوسطى بفولجا العليا، وذلك في إطار أنشطة مركز واتادوكو لملتب البحث العلمي والتقني لمساراد البحار الفرنسي.

ودارسة كهاتم تبقى دون جدوى مادامت النتائج المستنتجة مقهورة على القهعة الأرضية التي شلتها التجربة، والتي لا نعدى المتر المربع الواحد، وبالسالى وجهت تعميم هذه النتائج إلى الحوض بكامله مع الأخذ بعين الاعتبار كل اسميات التربة والشكلية والنباتية...

والكلاصة المتوخاة تكمن في ضبط ميزات الحوض بكامله من خلال هذه الدراسة وكذا قيمة "المطر العشري" أي ذلك المظهر الذي أحتمل أن السقوط مرة واحدة كل عشر سنوات، فظهر القيمة المتألفة والتي صان مسرور أعداد وتجهيز المتوخى لإرجع كلبه أخوها بالحساب.

ومن خلال ما بلغناه من نتائج يمكننا الانتقاد بنجاح التجربة وفعاليتها.

ABSTRACT

In this study we present and explain the results obtained on a savana watershed (Binnde in Upper-Volta), where a framework of surface runoff measurement under simulated rainfalls was attempted.

In a first part we describe the apparatus and experimental methods used as runoff characteristics resulting on experiment plots under simulated rainfalls.

In a second part we try to find the way that allow to compare experiment results to naturel runoff measurement ; and to establish relationship between measurement on simulator plot and on the whole of the watershed.

Very significative\$ liaisons are found between the both. We shall be able to estimate the decennial flood from study of simulated rainfalls.

S O M M A I R E

INTRODUCTION

CHAPITRE I - Description du bassin

- 1) Situation
- 2) Caractères Morphométriques
- 3) Couverture végétale
- 4) Caractères géologiques
- 5) Caractères pédologiques

CHAPITRE II - Le Simulateur de pluies

- 1) Principe
- 2) La Parcelle
- 3) L'Asperseur

CHAPITRE III - Elaboration d'un protocole de pluies et déroulement de la campagne de pluies simulées.

- 1) Choix de parcelles
- 2) Protocole de pluies simulées
 - a) Ajustement à une loi gaussique de la pluviométrie annuelle
 - b) Application de la loi Pearson III aux précipitations journalières à MANGA
 - c) Forme de l'averse
 - d) Nombre et formes des averses simulées

CHAPITRE IV - Les mesures effectuées sur le terrain et paramètres accessibles par ces mesures

- 1) Mesures de la pluie et du ruissellement
 - a) La pluie
 - b) Le ruissellement
- 2) Mesures d'humidité des sols

- a) Humidité mesurée par la méthode gravimétrique
- b) Mesures d'humidité par "les chocs thermiques"
- c) Mesures d'humidité avec la sonde à neutrons

CHAPITRE V - Interprétation des données

A) Ruissellement et infiltration

- 1) Calcul de l'indice d'humectation IK
- 2) La pluie d'imbibition
- 3) Coefficient de ruissellement
 - a) Parcelles avec végétation naturelle
 - b) Parcelles nues et parcelles ayant reçu le traitement standard
 - c) Parcelles cultivées
 - d) Coefficients de ruissellement
- 4) Lames ruisselées en fonction de la pluie utile
- 5) Phase de vidange
- 6) Intensités de ruissellement (R_x) et intensités d'infiltration (F_n)

B - Le Sol

- 1) Profils hydriques
 - a) avant la pluie a et après la pluie f
 - b) avant chaque pluie
 - c) avant une pluie et après la même pluie
- 2) cinétique de ressuyage
 - a) site I
 - b) site II
 - c) site III
- 3) Comparaison de l'indice d'humectation IK au déficit hydrique à saturation (en surface)

CHAPITRE VI - Applications des résultats "simulateur"

à l'étude hydrologique du bassin

- 1) Détermination des aires représentatives de chaque parcelle
- 2) 1er modèle : estimation des lames ruisselées à partir de la pluie utile
 - a) en utilisant les pluies moyennes observées entre 1963 1965 et les IK correspondants comme variables d'entrées
 - b) Variables d'entrées de la pluie décennale estimée, et un IK moyen = 20
 - c) Calage du modèle
- 3) Second modèle : estimation des lames ruisselées à partir du hyetogramme et de l'indice IK
 - a) En utilisant les hyetogrammes de la pluie décennale
 - b) Lame ruisselée reconstituée à partir d'une averse réellement observée

CONCLUSION

REMERCIEMENTS

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

- ANNEXE n° 1 Limites et effectifs des classes de la serie pluviométrique journalière à MANGA.
- ANNEXE n° 2 Dépouillement des hydrogrammes de ruissellement
- ANNEXE n° 3 Mesures gravimétriques de l'humidité et densités
- ANNEXE n° 4 Mesures neutroniques de l'humidité
- ANNEXE n° 5 Mesures thermiques de l'humidité
- ANNEXE n° 6 Etalonnage des sondes : chocs thermiques
sonde à neutrons
- ANNEXE n° 7 Calcul de crue decennale par la méthode Rodier -
Auvray.
- ANNEXE n° 8 Moyens mis en oeuvre pour la réalisation d'une campagne simulateur.

INTRODUCTION

L'étude hydrologique de petits bassins versants, dont les exutoires ne sont pas contrôlés par des stations du réseau, monopolise classiquement de gros moyens et réclame une durée d'observation généralement longue pour obtenir un nombre de données statistiquement valables. D'où l'idée de mesurer les différents paramètres hydrologiques sous pluies simulées sur des parcelles installées sur des sites considérés comme représentatifs du bassin, et de les extrapoler à l'ensemble du bassin grâce à un calage sur des observations au cours d'une seule saison des pluies. Cette méthode, qui en est encore au stade expérimental a été utilisée avec succès en milieu tropical humide (Côte-d'Ivoire) par CAZENAVE et en zone sahélienne (Nord de la Haute-Volta) par CHEVALLIER.

Nous essayons de la tester en milieu de savane, et nous présentons dans ce rapport, les premiers résultats et les premières interprétations d'une campagne réalisée sur le bassin de BINNDE dans le département Centre de la Haute-Volta.

Nous avons choisi ce site, parce qu'il a déjà fait l'objet d'une étude classique de bassin versant menée par KLEIN entre 1963 et 1965, pour sa taille (9,7 km²), sa proximité de Cuagadougou (où se trouve le Centre CRSTCM) et pour la nature du sol, assez homogène, qui peut facilement être divisée en trois grandes unités pédologiques. On notera cependant une complexité des états de surface supérieure à celle observée d'une part (à COURSI) où les zones cultivées sont peu nombreuses et d'autres part en zone tropicale humide où ils n'interviennent pas dans l'écoulement.

Cette expérimentation comporte deux parties, une campagne pluies simulées qui s'est déroulée en Février et Mars, des observations d'hydrologie classique qui ont débuté avec la saison des pluies et s'achèveront au mois d'octobre. Elle sera complétée par un même travail sur le bassin emboitant de Kazanga (54,3 km²) qui nous permettra d'apprécier l'influence du facteur d'échelle, et par un autre qui se déroulera sur des bassins plus pluvieux dans la plaine de NIENA DIONKELE (Sud Ouest de la Haute-Volta), l'année prochaine. Dans ce mémoire d'élève notre ambition est de montrer que l'étude fine de l'infiltration et du ruissellement sous pluies simulées pour des parcelles bien choisies sur les différentes unités pédologiques et morphologiques d'un bassin, permet d'appréhender la hauteur de la lame d'eau ruisselée après n'importe quelle averse naturelle et plus particulièrement celle qui engendre la crue décennale.

Nous présentons donc en premier lieu, le cadre de cette étude : le bassin de BINNDE ; décrivons notre expérimentation, les protocoles que nous avons utilisés, les mesures que nous avons effectuées, définissons les paramètres accessibles par nos mesures. A l'échelle de la parcelle, nous dressons le bilan hydrologique et cherchons toutes les relations entre la pluie et le ruissellement. Nous transposons ces relations à l'échelle du bassin en donnant à chaque parcelle un poids équivalent à l'aire qu'elle représente et confrontons les résultats à des résultats réellement observés.

CHAPITRE I

DESCRIPTION DU BASSIN

1) Situation

Situé dans le département centre de la Haute-Volta ce petit bassin dont l'exutoire a pour coordonnées :

11° 47' 13" de latitude Nord

1° 09' 38" de longitude Ouest

est drainé par le marigot de l'AKALA, qui alimente la GUILLA, elle même affluent de la VOLTA BLANCHE.

2) Caractères morphométriques

Sa surface est de 9,7 km² et son périmètre de 13,8 km d'où un indice de compacité de 1,24. Il s'agit donc d'un bassin assez "ramassé".

Longueur du rectangle équivalent = 4,93 km.

Largeur du rectangle équivalent = 1,97 km.

La répartition hypsométrique de ce petit bassin ne peut être précisée avec la seule carte au 1/200 000ème car la dénivellée totale est de l'ordre d'une trentaine de mètres, et l'équidistance des courbes de niveau de 40m; Vers le sommet du bassin les pentes dépassent légèrement 2 % et tombent à 0,8 % à l'exutoire. Le relief est assez ondulé et plus accusé que dans l'ensemble du plateau Mossi.

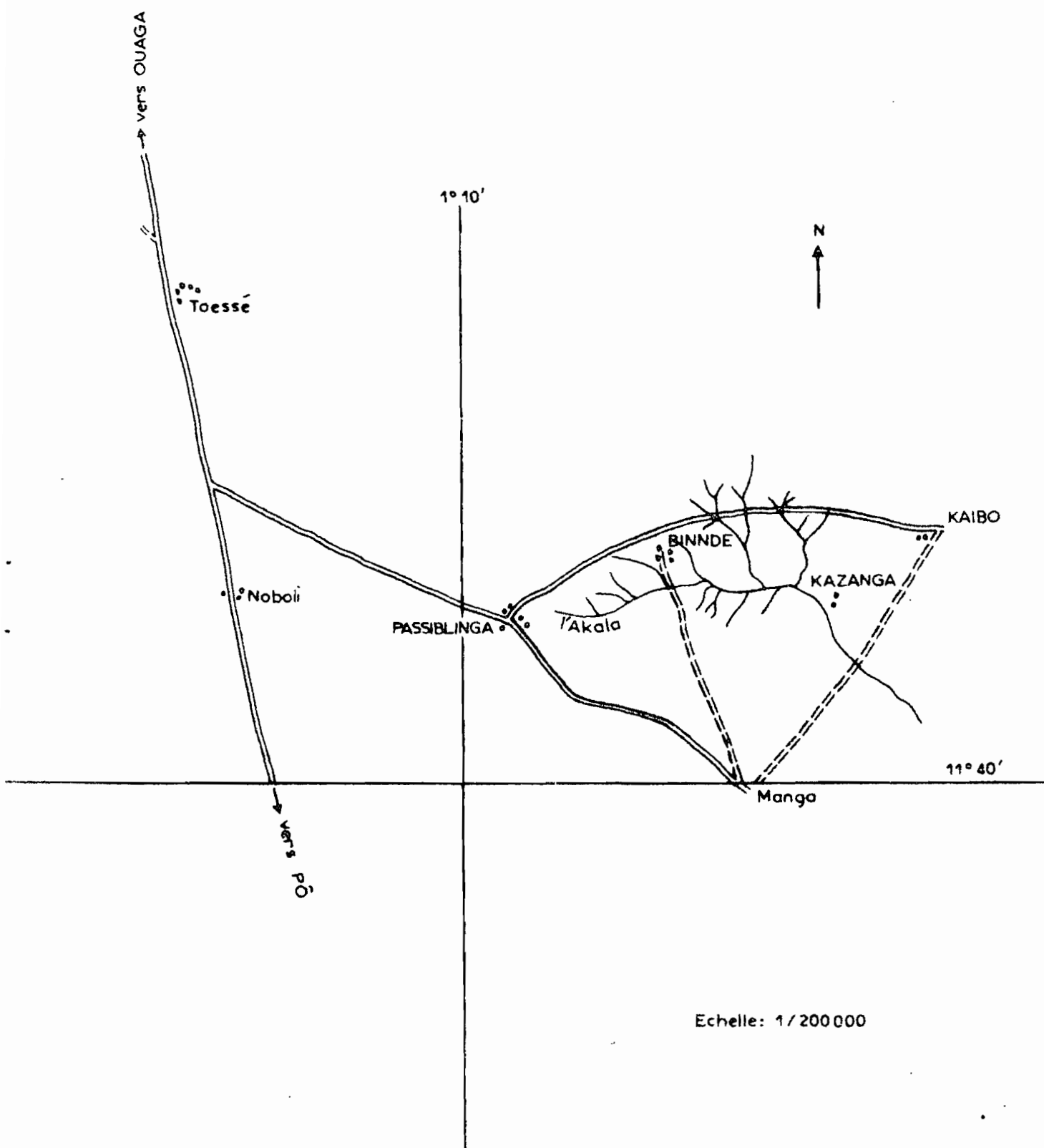


Fig : 1 SITUATION DU BASSIN VERSANT DE BINNDE

Le réseau hydrographique est très bien individualisé, le collecteur principal apparaît comme une saignée rectangulaire à fond. ~~sabloux~~. En de nombreux points, le substratum granitique affleure dans le lit, et forme des seuils. Les cours d'eau secondaires sont nombreux et également bien marqués.

3) Couverture végétale

Le haut du bassin est recouvert d'un faible tapis herbacé et d'arbustes rabougris, la partie aval comprend une savane classique à karités et à nérés, notons la présence de baobabs surtout près des habitations. L'ensemble du bassin est très cultivé, mil, arachide, et pois, on y pratique la culture par rotation avec jachère.

4) Caractères géologiques

Le substratum est formé de granites syntectoniques, en majeure partie des granites calco-alcalins à phénaux-cristaux de muscovite et de feldspath orthose. Ils affleurent à plusieurs endroits sous forme de grosses boules.

Le long des berges il est possible d'observer de beaux profils d'altération.

Près du village de BINNDE le Birrimien est faiblement représenté par des schistes et des migmatites.

5) Caractères pédologiques.

Des travaux récents (VALENTIN 1981) ont montré que les organisations superficielles des sols conditionnent le comportement de ceux-ci vis-à-vis de l'eau (infiltration et ruissellement) davantage que leur nature pédologique. VALENTIN (Pédologue au Centre ORSTOM d'ADICPODOUME) a dressé une esquisse de ces organisations superficielles pour le bassin de BINNDE.

L'étude des surfaces le long des routes qui traversent le bassin, sensiblement à angle droit, selon sa longueur et sa largeur, ainsi que deux cheminements d'environ trois kilomètres chacun ont permis de distinguer 9 grands types.

L'un d'entre eux, (affleurement de granite) n'a pas pu être cartographié, les huit autres ont été regroupés suivant 3 unités cartographiques :

. 1 : les surfaces à éléments grossiers :

Indépendamment des variations qu'entraînent les différentes densités d'éléments grossiers, il est possible de distinguer trois grandes familles :

- . Les surfaces contenant des éléments grossiers constitués essentiellement de nodules ferrugineux arrondis de 5 à 10 mm (cuirasse démantelée ?).
- . Celles qui correspondent vraisemblablement à des filons de quartz (fréquents dans ces pegmatites) et où le sol contient une part importante de cailloux de quartz (5-10 cm) anguleux.
- . Les surfaces contenant des gravillons ferrugineux et des cailloux de quartz. Ce sont les plus nombreuses.

. 2 : les surfaces sans éléments grossiers :

Deux grandes familles :

- . Les surfaces à pellicules assez bien individualisées, souvent noirâtres (présence d'algues ?).
- . Les surfaces à pellicules moins bien individualisées (pellicule d'induration-dessiccation)

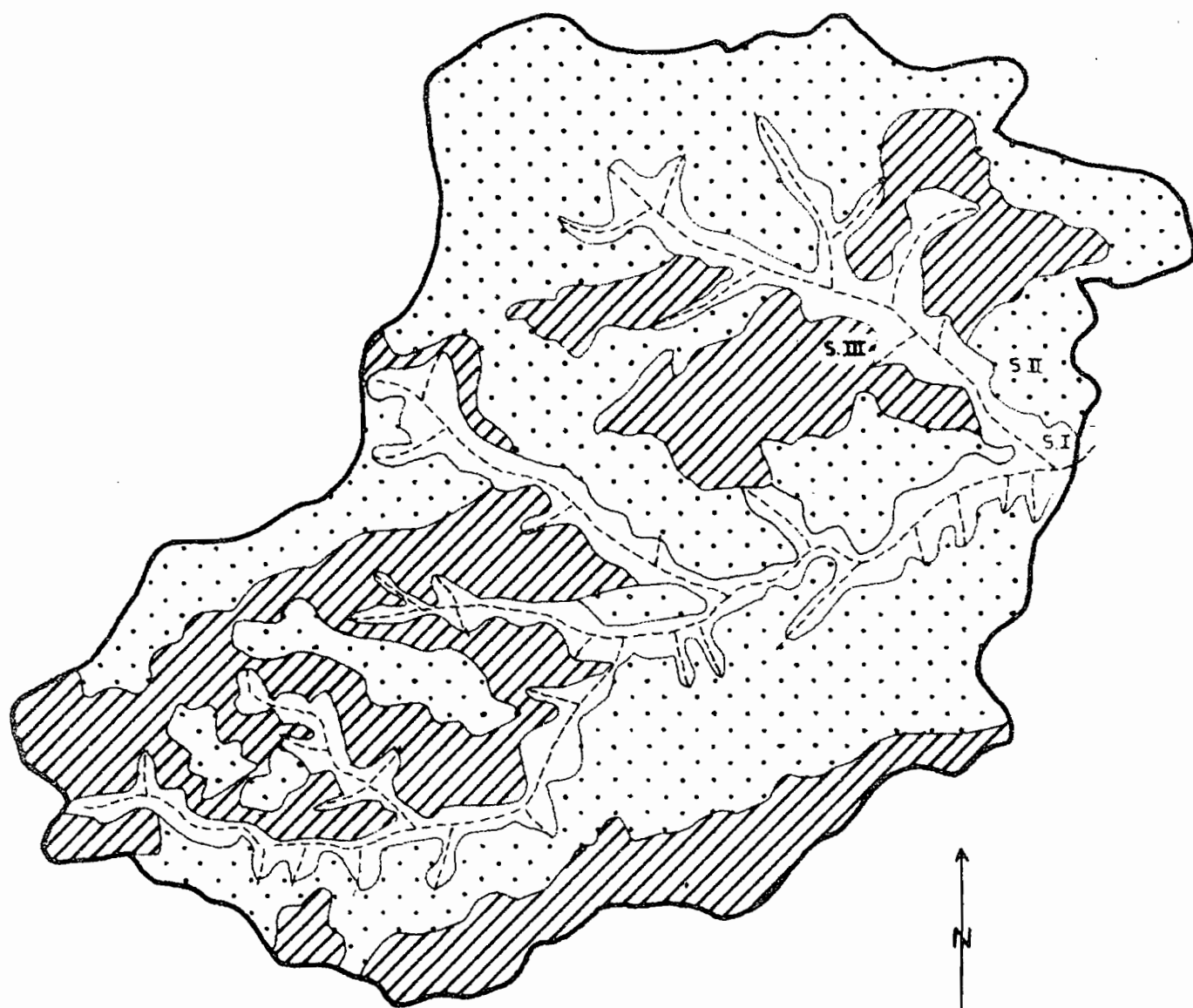
. 3 : Les surfaces de bas-fond :

C'est dans cette unité que les variations entre familles sont les plus fortes :

- . Surface présentant des traces d'hydromorphie dans un matériau clair et sableux (alluvial). Peu représentée sur le bassin .
- . Matériau plus argileux, constitué presque exclusivement de turricules des vers de terre, à taches d'oxydo-réduction proches de la surface.
- . Surface identique à la précédente mais sans taches d'hydromorphie (bien représentée sur le bassin).

BASSIN VERSANT DE BINNDE

ESQUISSE DES DIFFERENCIATIONS
MORPHO-STRUCTURALES



-  surfaces de bas-fond
-  surfaces sans éléments grossiers
-  surfaces à éléments grossiers

0 250m 1km

CHAPITRE II

LE SIMULATEUR DE PLUIES

1) Principe

Il s'agit d'arroser une parcelle de 1 m² et son anneau de garde avec une pluie artificielle dont on peut changer de façon continue, l'intensité. Cette pluie doit avoir les caractéristiques les plus proches possible des pluies naturelles : taille des gouttes, énergie cinétique... A ce sujet on peut se reporter à l'étude faite par VALENTIN : cahier CRSTOM sér. Hydrologie vol XV n° 4, 1978.

2) La parcelle

Elle est constituée d'un cadre métallique que l'on enfonce dans le sol. Le côté perpendiculaire à la ligne de plus grande pente est percé d'une rangée de trous qui permettent de recueillir le ruissellement dans une goulotte. Ce ruissellement est recueilli dans une cuve carrée de côté $\sqrt{1000}$ mm; afin qu'un centimètre d'élévation du niveau d'eau représente un millimètre de ruissellement. Cette cuve est surmontée d'un limnigraphe à déroulement horaire et est munie d'une pompe de vidange. A l'amont de la parcelle nous avons installé un tube de sonde à neutrons pour mesurer les humidités en profondeur et un faisceau de sondes à chocs thermiques pour les humidités de surface. Sur le cadre de la parcelle peut se fixer un cadre métallique dont le

fond est constitué d'une tôle lisse, ce qui nous permet de vérifier les intensités.

3) L'aperseur

L'appareil que nous avons utilisé a été construit à Ouagadougou sur le même principe que celui décrit par J. ASSELINE et C. VALENTIN (1978) et a déjà servi pour les campagnes de P. CHEVALLIER à OURSI.

Il s'agit d'une tour en forme de tronc pyramidal en tubes carrés démontable, et suffisamment légère pour être transportée par quatre hommes (100 kg environ), protégée du vent par des baches plastiques.

La surface au sommet est un rectangle de 2,0 m sur 1,4 m, la base occupe une surface au sol de 4,0 m sur 2,8 m. La hauteur est de 4,1 m. Ce bâti possède pour sa fixation un système de haubans. Au sommet de la tour est fixé le système d'aspersion composé d'un moteur d'essuie glaces actionnant un bras oscillant sur lequel est monté un gicleur qui arrose la parcelle et son voisinage suivant un faisceau plan parallèle à la ligne de plus grande pente

En modifiant l'angle de balayage du gicleur on fait varier la surface de sol arrosée et donc la quantité d'eau reçue par la parcelle de 1 m². On règle ainsi de manière continue l'intensité de la pluie simulée. Les pignons d'entraînement du bras oscillant sont dans un rapport tel que l'on peut obtenir une gamme d'intensités de 35 à 150 mm/h. Ce système est alimenté en eau par une pompe électrique. Toutes les commandes électriques sont regroupées dans une armoire qui permet le démarrage ou l'arrêt à distance des pompes ou du mécanisme du gicleur. L'alimentation électrique est fournie par un groupe électrogène. Le graphique n° 2 schématise l'installation du simulateur de pluie sur une parcelle.

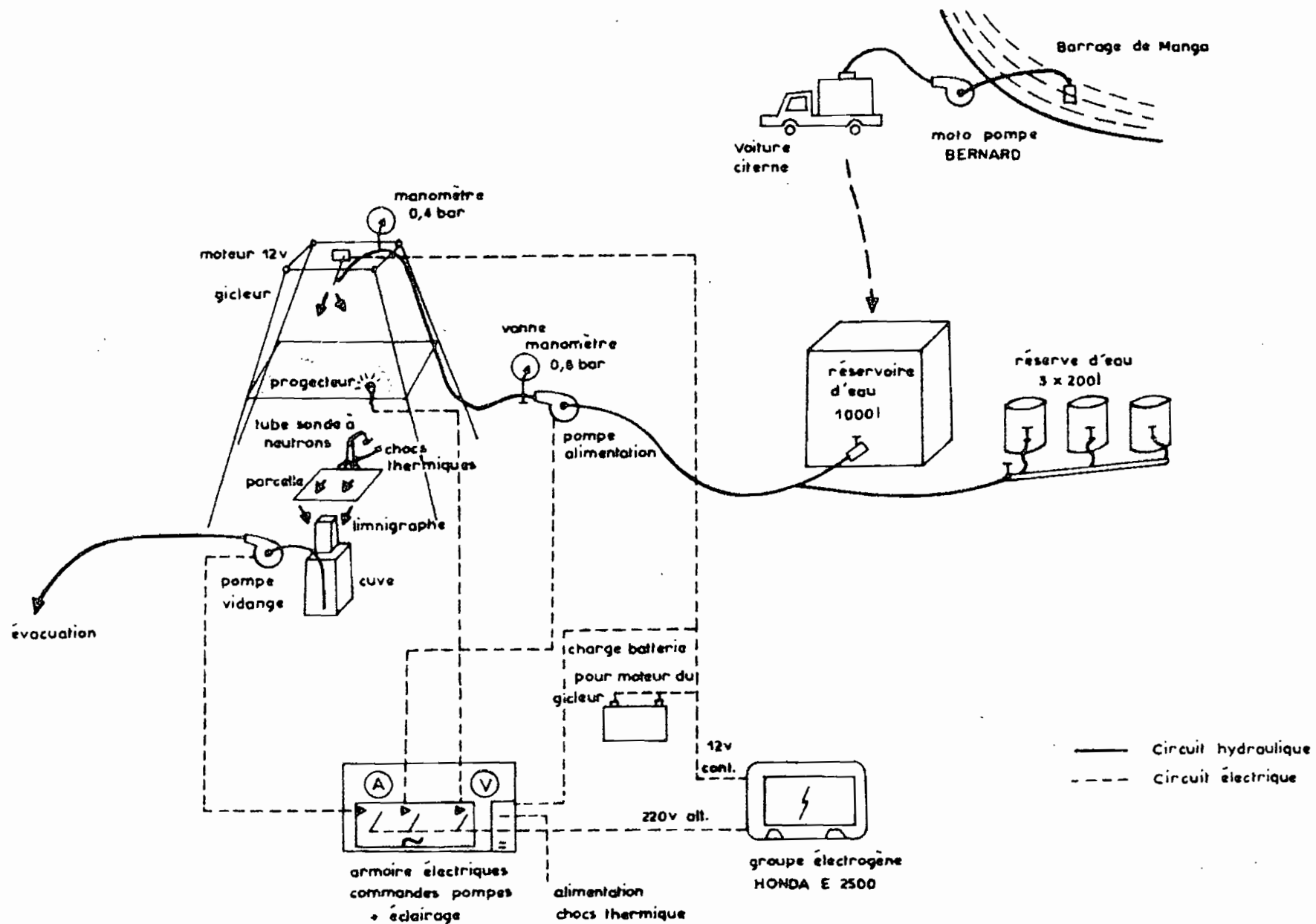


Fig: 3

SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DU SIMULATEUR
DE PLUIES (VERSION OUAGADOUGOU)

CHAPITRE III

III. ELABORATION DU PROTOCCLE ET DERCOULEMENT DE LA CAMPAGNE DE PLUIES SIMULEES.

1) Choix de parcelles

Pour des raisons d'emploi du temps, le pédologue n'a pas pu venir avant la campagne, la prospection du bassin et le choix des sites ont été faits en décembre au cours d'une mission de CAZENAVE en Haute-Volta. Par la suite le pédologue a jugé de la représentativité de chaque site. Trois sites ont été choisis et numérotés en chiffres romains.

Sur le site I ont été installées deux parcelles :

parcelle 1 : sur sol nu

parcelle 2 : sur sol couvert de végétation naturelle.

La parcelle 2 est équipée d'un tube de sonde à neutrons descendant à 1m20 et de quatre sondes à chocs thermiques étagées entre deux et dix centimètres.

Sur le site II ont été installées quatre parcelles

parcelle 3 : sur sol couvert de végétation naturelle

parcelle 4 : sur sol nu

parcelle 5 : sur sol cultivé en billons

parcelle 6 : sur sol ayant reçu un traitement standard consistant en un labour sur 15 cm et un ratissage avec désagrégation des mottes.

Les parcelles 3 et 5 sont équipées d'un tube de sonde à neutrons profond de 60 cm et de quatre sondes chocs thermiques étagées entre deux et dix centimètres.

Sur le site III ont été installées quatre parcelles

Parcelle 7 : sur sol couvert de végétation naturelle

parcelle 8 : sur sol nu

parcelle 9 : sur sol cultivé en buttes mossi

parcelle 10: sur sol ayant reçu le même traitement que
la parcelle 6

les parcelles 7 et 9 sont équipées d'un tube de sonde à neutrons
profond de 1m10 et de quatre sondes chocs thermiques étagées
entre deux et dix centimètres.

La pente des parcelles est faible sur tous nos sites.

			Pentes %
Site I	parcelle	1	0,9
		2	0,8
Site II	parcelle	3	2,6
		4	3,8
		5	2,4
		6	2,1
Site III	parcelle	7	2,5
		8	1,2
		9	3,0
		10	0,5

VALENTIN a fait la description des profils pédologiques
à l'aval de chaque parcelle et des états de surface.

(Notons que la description des surfaces à l'intérieur des parcelles
a été faite après les pluies simulées.

SITE N° I

Description du Profil Pédologique à l'aval de la
parcelle n° 2).

0-7 cm : sec, 10 YR 7/3 en sec (brun très pâle), 10 YR 4/2 en
humide, (brun grisâtre foncé), à débris organiques,
texture sableuse à sable fin, contenant quelques limons
sans éléments grossiers, structure massive à tendance
lamellaire (induite par la superposition d'organisations
pelliculaires distribuées horizontalement ou parfois
incurvées vers le bas-ancien billons-), meuble, très

fragile, poreux à porosité intersticielle et d'origine biologique, les chenaux de 1 cm de $\varnothing$ sont orientés pour la plupart verticalement, racines assez nombreuses, fines à tendance horizontale, activité biologique marquée, transition nette et régulière.

7-33 cm : sec, 10 YR 6/3 en sec (brun pâle), 10 YR 3/3 en humide (brun foncé) à matière organique non directement décelable, 30 % de taches ocres, 2 mm de $\varnothing$, allongées sur 5 mm, sableux à sable fin, contenant quelques limons, présence de muscovite, structure massive à éclats subanguleux de 4 cm, assez poreux à porosité intersticielle et d'origine biologique, meuble, très fragile, racines rares et horizontales, transition très nette et régulière.

33-90 cm : sec, 10 YR 6/3 en sec, (brun pâle), 10 YR 4/2 en humide (brun grisâtre foncé), apparemment non organique, 15 % de taches blanchies de 10 mm et 5 % de taches ocres circulaires de 5 mm de $\varnothing$, indurées, texture limono-argileuse à sables grossiers, structure polyédrique grossière peu nette, porosité marquée intersticielle, vésicules de 2 mm, assez cohérent, fragile racines rares et verticales, transition graduelle et régulière.

90-110 cm et + : frais, 7,5 YR 5/4 en frais (brun), 7,5 YR 4/4 en humide (brun foncé), apparemment non organique, 15 % de gravillons ferrugineux et quartzeux, texture sableuse à sables grossiers, structure massive, peu poreux à porosité intersticielle, peu cohérent, fragile, très rares racines fines et verticales.

Variations pour le profil de la parcelle n° 1 :

0 - 7 cm : identique

7 - 20 cm : les taches ocres sont plus rares, moins meuble, plus de racines.

20 - 30 cm : horizon de transition (la limite est moins brutale que pour le profil précédent)

30 - 75 cm : peu différent de l'horizon 33-99 cm du profil précédent

75 - 110 cm et + : 7 % de cailloux anguleux de quartz (taille

supérieure à 5 cm), 30 % de graviers de quarts (5 mm), très meuble à boullant.

Remarques

Ce sol# présente une discontinuité d'origine alluviale (à 33 cm pour le premier profil) qui induit une légère hydromorphie dans l'horizon sus-jacent où certains chenaux peuvent être en charge au cours des pluies. Une circulation latérale de l'eau à ce niveau est possible.

Le site correspond très vraisemblablement à un ancien lit du marigot situé à proximité.

Après saturation des deux premiers horizons, la pénétration de l'eau doit se voir ralentie. Le ruissellement doit alors être d'autant plus important, que lorsque la surface reste nue, une pellicule d'induration se forme et limite l'infiltration.

Description sommaire des organisations superficielles

Parcelle N° 1 :

Surface nue, présentant un micro-relief assez marqué, le sable délié tapisse les micro-dépressions. La pellicule, très peu épaisse, peu individualisée par rapport à l'horizon supérieur dont elle est très solidaire, présente de nombreuses traces d'impact de gouttes. Il s'agit d'une pellicule d'induration et de dessiccation. Indices d'érosion importante.

Parcelle N° 2 :

Couvert végétal : 60 % de graminées mortes et couchées. 20 % de jeunes pousses de graminées et de quelques dicotylédones. Un micro-relief assez marqué témoigne de la présence d'anciens

billons inclinés de 30° par rapport au canal collecteur. La surface est couverte (15 %) de placages de récoltes (fourmis, termites ?). Les surfaces nues présentent une pellicule peu individualisée par rapport à l'horizon supérieur du profil, (pellicule d'induration et de dessiccation), légèrement consolidée par des micro-organismes filamenteux noirs (algues de type cyanophycées ?) ; cette pellicule inclue quelques gravillons de quartz et quelques débris végétaux.

Remarques :

Le couvert végétal, ainsi que les placages de récoltes de la deuxième parcelle induisent une porosité superficielle supérieure à celle de la première parcelle, ce qui devrait se traduire par des différences assez marquées quant à l'infiltration. La pellicule d'induration-dessiccation ne doit pas provoquer cependant un ralentissement très marqué de l'infiltration. Celle-ci est vraisemblablement déterminée par l'état hydrique des différents horizons et par la profondeur du front d'humectation.

SITE N° II

Description du profil pédologique

La fosse a été ouverte à proximité de la parcelle n° 3, (approfondissement de la fosse contenant la cuve réceptrice).

C - 5 cm : sec, 10 YR 6/3 en sec (brun pale), 10 YR 4/3 en humide (brun), à matière organique non directement décelable, 15 % de nodules ferrugineux et de graviers de quartz, texture sableuse à sables fins et grossiers, structure polyédrique grossière et peu nette, meuble, très fragile, assez poreux à porosité intersticielle

marquée, racines très fines assez nombreuses, obliques. On note une concentration de résidus végétaux dans les deux premiers cm. Limite nette et légèrement ondulée.

5 - 40 cm : sec, 10 YR 6/3 en sec (brun pâle), 10 YR 4/4 en humide, (brun), apparemment non organique, texture sableuse à sables fins, contenant quelques limons et un peu d'argile. 80 % de concrétions ferrugineuses de 5 mm de Ø, et de quartz (ancienne cuirasse ferrugineuse démantelée ?), structure polyédrique très fine et nette, assez cohérent, peu fragile, porosité assez marquée, intersticielle, quelques racines verticales et obliques, limite distincte et régulière.

40 - 100 cm et + : sec, 7,5 YR 5/6 en sec (brun foncé). 7,5 YR 5/6 en humide (brun foncé), apparemment non organique, 85 % de concrétions arrondies ferro-manganiques, texture argilo-limoneuse, massif, peu poreux, cohérent, très rares racines fines jusqu'à 70 cm.

Variations pour les autres fosses

Parcelles N° 4 :

0 - 7 cm : semblable à l'horizon 0-5 précédemment décrit

7 - 40 cm : les gravillons peuvent atteindre la taille de cailloux. Plus meuble, plus poreux, racines fines plus nombreuses.

40 - 45 cm : macro-porosité importante entre les éléments grossiers couverts d'une patine de sables fins blanchis.

45 - 80 cm : plus de limons et d'argile, horizon ferrugineux à taches et concrétions, associé à une phase altéritique présentant quelques taches d'hydromorphie.

Parcelle N° 6 :

0 - 5 cm : identique

5 - 30 cm : 7,5 YR 5/4 en sec (brun), 7,5 YR 4/4 en humide (brun foncé), davantage de cailloux de quartz que pour la parcelle N° 3.

30 - 80 cm : horizon B_{fe} très induré (proche de l'horizon 40-100 cm de la parcelle N° 3).

80 - 100 cm : horizon B/C passant à C (altérite de granite à drainage réduit).

Parcelle N° 5 :

L'épaisseur de l'horizon superficiel est celle du billon (de 2 à 10 cm).

2/10 - 30 cm : horizon B_{fe} , riche en oxydes de manganèse ; cohérent

30 - 70 cm : horizon B_{fe} C

70 - 100 cm : horizon altérique (C), riche en muscovite, présentant des indices de réduction.

Remarques

La succession des horizons est classique pour un sol de ce type : A_1 (A_{11} et A_{12}), A_2 (ou E), B_{fe} , B C, C_g .

La présence d'un horizon éluvié (probablement par migration latérale) - parcelle N° 4 - laisse supposer le fonctionnement suivant : l'eau est bloquée (ou pour le moins ralentie)

par l'horizon induré à concrétions, elle s'accumule à la base de l'horizon sus-jacent et migre (?) latéralement

à ce niveau donnant alors lieu à un écoulement hypodermique.

La morphologie de ce sol laisse prévoir un drainage lent, et un ruissellement vraisemblablement important (auquel s'ajoute un écoulement latéral).

Description sommaire des organisations superficiellesParcelle N° 3 :

couvert végétal : 70 % de graminées mortes couchées, 10 % de jeunes pousses à prédominance graminéenne (peu de dicotylédones)
20 % de la surface couverte de graviers ferrugineux et quartzeux, quelques turricules de vers. La plupart des éléments grossiers sont inclus dans une pellicule d'induration et de dessiccation.

Parcelle N° 6 :

traitement standard (Wischmeier). Une pellicule très solidaire de l'horizon supérieur s'est constituée sous la pluie, épaisseur 1 mm. Il s'agit surtout d'une pellicule d'induration. La macroporosité induite par le labour manuel a disparu.

Parcelle N° 4 :

sensiblement identique à la parcelle N° 3 sans végétation.

Parcelle N° 5 :

microrelief très marqué, dû à la présence d'un billon et demi dans la parcelle, isohypse. Le billon complet a cédé à l'une de ses extrémités sur une largeur de 5 cm. Dépôts de sables grossiers dans la zone inter-billons.

Remarques

La faible perméabilité du sol, sous-jacent à ces quatre parcelles, devrait entraîner des ruissellements assez forts. Mais le comportement hydrodynamique est pour une grande part déterminé par les "états de surface", fort différents pour les différentes situations. Si la reconstruction rapide d'une pellicule (et du tassement sous l'impact des pluies de l'horizon travaillé) doit entraîner un affaiblissement de l'infiltration pour la parcelle standard, proche de la parcelle naturelle nue, la présence de billons isohypses, ou d'un couvert végétal important doivent apporter des modifications considérables dans le comportement du sol, et favoriser ainsi l'infiltration de manière assez nette.

SITE N° III

Description du profil pédologique :

La fosse a été ouverte à proximité des quatre parcelles infiltrométriques.

0- 20 cm : sec, 10 YR 6/2 en sec, (gris brunâtre clair), 10 YR 4/3 en humide, (brun foncé) à matière organique non directement décelable, sableux à sables fins et grossiers, légèrement argileux, massif à éclats subanguleux grossiers, très poreux, meuble, très fragile, activité biologique assez marquée, racines fines, nombreuses, verticales, limite distincte légèrement ondulée.

20 - 40 cm : sec, 7,5 YR 5/4 en sec (brun), 7,5 YR 4/6 en humide (brun vif), apparemment non organique, sableux à sables fins, très pauvre en argile (teneur inférieure à celle de l'horizon précédent), massif à éclats anguleux moyens, peu net, très poreux à porosité intersticielle, quelques fentes fines de 2 mm, espacées de 40 cm, 20 % de concrétions ferro-manganiques, de 5 mm à 1 cm, arrondies

(plombs de chasse) et de taches ocres indurées, situées à la base de l'horizon peu de racines ligneuses moyennes horizontales, transition graduelle et régulière.

40 - 70 cm : sec, 7;5 YR 7/2 en sec, (gris rosâtre), 7,5 YR 6/2, (gris rosâtre), apparamment non organique, argilo-limoneux, peu cohérent, très peu fragile, structure polyédrique grossière à très grossière à tendance prismatique, réseau de fentes de 5 mm, traversant l'ensemble de l'horizon, très rares racines. Cet horizon semble avoir subi une défériorification (blanchiment), 20 % de taches ocres Ø 5-10 mm, transition distincte en biseau (il s'agit probablement d'une lentille).

70 - 100 cm et + : sec, YR 7/1 en sec, (gris claire), 5 YR 5/1, en humide (gris) 5 % de graviers de quartz (5 mm) anguleux, texture argilolimoneuse, les agrégats sont très peu poreux, rares fentes fines dans le prolongement des fentes précédentes, très cohérent, très peu fragile, pas de racine.

Pour des raisons techniques (nécessité de remise en place du limnigraphe) les variations par parcelle n'ont pas pu être étudiées, pour ce site.

Remarques :

En dépit de sa position topographique, ce sol présente plusieurs caractères hydromorphes. La présence d'un horizon appauvri non superficiel, et d'un horizon blanchi peut être interprétée comme indice de mouvements d'eau (battement d'une petite nappe perchée très temporaire ou écoulement latéral). La superposition d'horizons sableux et d'horizons argilo-limoneux en discontinuité pose un intéressant problème pédogénétique qui n'a pas lieu d'être développé ici.

Notons que la couleur claire, ainsi que l'absence de face de glissement et de contrainte sur les agrégats prismatiques ne militent pas en faveur d'une nature vertique de ce sol. De plus amples renseignements concernant l'origine de ces sols sont fournis dans la notice de la carte à 1/200 000 ème : carte Pédologique de reconnaissance de la Haute-Volta - Centre Sud (B. KALCGA - 1968). ORSTOM.

La discontinuité pédologique de ce sol entraîne probablement le comportement suivant :

- 1) l'eau pénètre jusqu'au troisième horizon
- 2) l'infiltration de l'eau par l'intermédiaire des fentes du troisième horizon provoque le gonflement des argiles et la fermeture des fentes.
- 3) l'infiltration étant ralentie dans le troisième horizon, une hydromorphie remontante doit apparaître (temporaire et associée à des mouvements latéraux -?- dans les horizons directement sus-jacents (plombs de chasse à la base du deuxième horizon, appauvrissement, blanchiment,...).

L'ensemble de ces indices ne témoignent pas en faveur d'un drainage rapide et laissent supposer des capacités d'infiltration faibles.

Descriptions des organisations superficielles

Parcelle N° 7 :

couverture du sol : 70 % de la surface est couverte de graminées mortes et couchées, 10 % de jeunes pousses, très peu de dicotylédones. Pas d'éléments grossiers. Les surfaces nues présentent une pellicule peu individualisée (et solidaire de l'horizon superficiel) d'induration et de dessiccation.

Parcelle N° 8 :

La surface est nue ; une pellicule peu épaisse (1 mm) bien individualisée est légèrement fragmentée sous forme de squames. La couleur noire de cette pellicule laisse supposer la présence d'algues. Le micro-relief est très peu marqué.

Parcelle N° 9 :

Traitement traditionnel (buttes mossi). Les quatres coins de la parcelle sont occupées par des buttes mossi qui présentent des traces d'érosion marquée. Des chaumes de mil ont par exemple, protégé du rejaillissement la surface d'érosion. Les traces d'impacts de gouttes sont très nettes. La cuvette entre les buttes est tapissée de sables. Pellicule d'induration-dessication peu individualisée couvre les buttes.

Parcelle N° 10 :

Traitement standard.

Le micro-relief, très peu marqué, permet de distinguer différentes zones :

- . Les zones les plus hautes : elles ne sont couvertes que d'une pellicule peu épaisse et peu différenciée (induration-dessication)
- . Les zones de pentes. La pellicule est couverte d'un épandage de sables fins cimentés.
- . Les points bas, axes d'écoulement. Au dessus des deux micro-horizons déjà décrits (pellicule et sables fins) apparaissent des sables grossiers déliés. Au contact de la pellicule et des sables fins s'est développée dans ces micro-dépressions une porosité vésiculaire assez nette - vésicules d'1 mm de Ø. Cette pellicule

est plus individualisée que celle des points hauts.

Cette organisation générale témoigne d'une ségrégation sous l'effet des pluies, entre les particules les plus fines qui s'indurent sous forme de pellicule (ou migre dans les eaux de ruissellement) et les sables qui subissent une translocation sur de très courtes distances et se déposent dans les points bas.

On remarque également que la pellicule s'est reconstituée très vite sous la pluie, et que la macro-porosité induite par le labour s'est effacée.

Remarques :

Comme pour le site précédent, les états de surface, fort variés, doivent entraîner des comportements différents selon les parcelles. Si l'on excepte la surface enherbée où le couvert graminéen doit favoriser l'infiltration, le ruissellement doit être, pour les autres, très important (il existe en effet deux obstacles à l'infiltration : la pellicule plus ou moins bien individualisée, et l'horizon 40-70 cm). Le travail du sol en buttes, s'il augmente la rugosité (et probablement l'infiltration) ne semble pas limiter l'érosion.

Conclusions

A l'issue de cette courte étude, il est possible de tirer certaines conclusions concernant le comportement hydrodynamique des sols de BINNDE. En effet, ils semblent présenter quelques caractéristiques communes en dépit des différences d'organisations pédologiques : dans les trois cas étudiés, il existe un obstacle à la pénétration de l'eau à une profondeur d'environ 30 - 40 cm, cet obstacle pouvant être constitué par un horizon ferrugineux induré à concrétions et horizon à argile gonflante. Ces discontinuités pédologiques occasionnent un ralentissement marqué de l'infiltration et un engorgement au moins temporaire de l'horizon

sus-jacent au sein duquel un écoulement latéral peut apparaître.

L'occupation de 40 % des sols par des champs cultivés (en buttes ou en billons) apporte une source de variations considérables pour les états de surface qui sont, avec les discontinuités pédologiques, les facteurs les plus déterminants pour le ruissellement de cette zone. De ce fait, les différences de comportement seront plus à mettre au compte des variations de surface du sol (végétation naturelle, surfaces nues, billonnée, buttée) qu'à celui des variations pédologiques qui, comme nous l'avons vu, ne devraient pas se traduire par une forte hétérogénéité de comportement.

2) Protocole des pluies simulées.

Pour décider d'un protocole des pluies qui serait le plus proche des réalités climatiques de la région, nous avons commencé par faire l'étude statistique d'un poste pluviométrique représentatif du bassin étudié. Dans son étude "Modèles hydrologiques pour l'évaluation de la lame écoulée en zone sahélienne et leur contrainte" cah. CRSTCM série Hydro Vol XI n° 3 1975, Girard élimine les postes de FADA N'GOURMA et de TENKODOGO qui ont l'avantage d'une longue série d'observations mais présentent de nombreuses hétérogénéités et préconise de prendre comme poste de référence pluviométrique des bassins de Manga soit Manga soit Garango. Manga étant plus proche du bassin de Binndé il est normal de le préférer à Garango, en lui appliquant les corrections notées dans l'établissement du fichier opérationnel pluviométrique (Monographie du bassin fleuve Volta CRSTCM 1977), multiplier par 0/4 les valeurs de l'année 1957, et compléter les années 1949, 1972.

a) Ajustement à une loi gaussique de la pluviométrie annuelle.
Période d'observation 1949 - 1980.

année	hauteur mm	année	hauteur mm	année	hauteur mm	année	hauteur mm
1949	(900)	1957	(1000)	1965	853	1973	777
1950	923	1958	856	1966	873	1974	1033
1951	1117	1959	805	1967	981	1975	710
1952	1018	1960	946	1968	889	1976	869
1953	850	1961	845	1969	1060	1977	770
1954	766	1962	882	1970	879	1978	757
1955	936	1963	921	1971	1011	1979	897
1956	1107	1964	936	1972	(900)	1980	1032

() valeurs corrigées

moyenne = 909 mm

écart type = 102

CV = 0,112

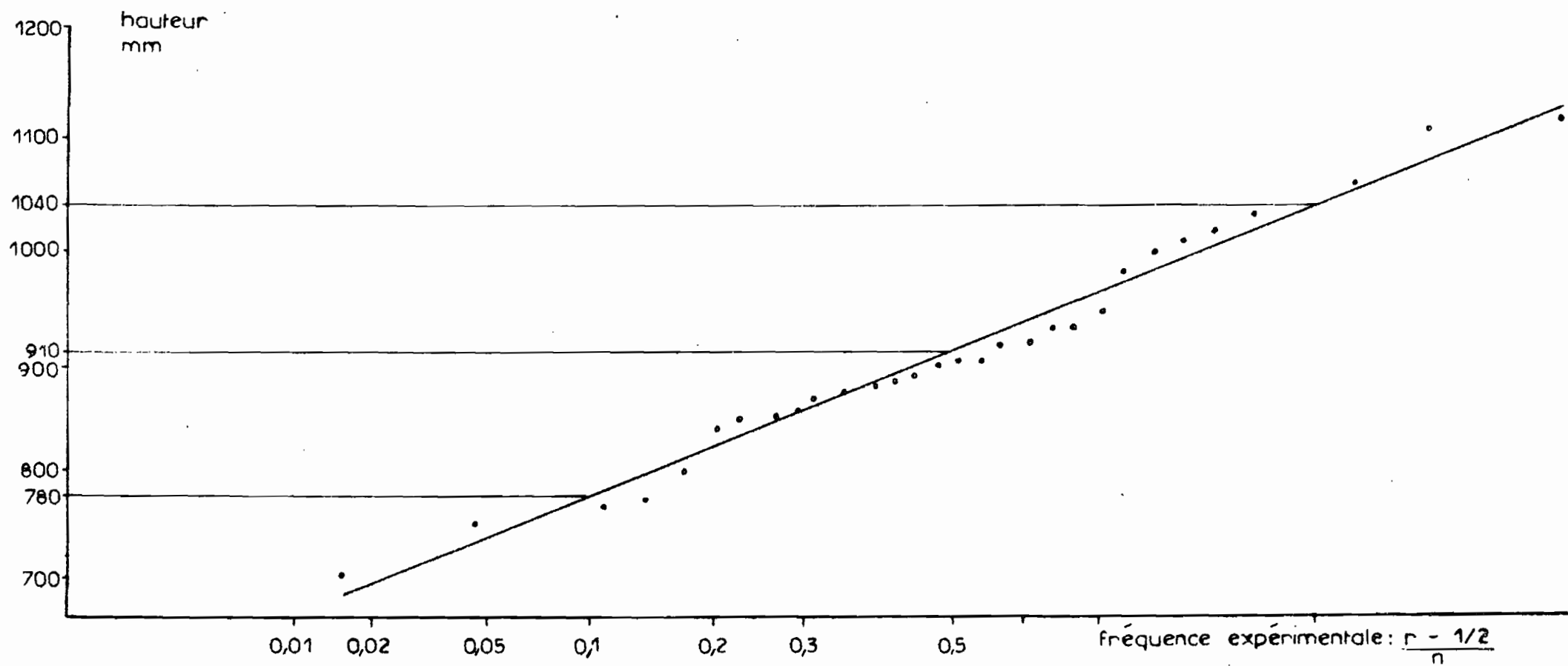


Fig: 4 PLUVIOMETRIE ANNUELLE A MANGA

Pluviométrie en année médiane = 910 mm

Pluviométrie en année décennale humide = 1040 mm

Pluviométrie en année décennale sèche = 780 mm

$K_3 = 1,33$.

b) Ajustement d'une loi Pearson III aux précipitations journalières de MANGA.

- 32 années d'observations
- total des 32 années = 29 088 mm
- nombre total de jours de pluies = 2 225 j
- nombre moyen de jours de pluie par an = 69,5 j
- nombre total de jours de pluie > 5 mm = 1377 j
- nombre moyen de jours de pluie par an > 5 mm = 43 j.
- l'annexe n° 1 donne les limites et les effectifs de

chaque classe.

fréquence	hauteur journalière calculée en mm.	nombre de dépassements de cette hauteur en 32 ans.	hauteur observée.
annuelle	59,6 mm	40	60 mm
1 fois en deux ans	69,8 mm	20	70 mm
1 fois en cinq ans	83,6 mm	12	84,5 mm
1 fois en 10 ans	94,1 mm	4	98,6 mm

Remarques : la loi de Pearson III semble, ici sous-estimer les averses exceptionnelles, (Averse décennale observée 4 fois en 32 ans)

c) Forme de l'averse.

Nous utilisons l'étude de BRUNET-MORET pour avoir la forme de l'averse.

Durée Recurrence	10 mm	20 mm	30 mm	1 h
annuelle	110mm/h	78mm/h	63mm/h	44mm/h
decennale	152mm/h	107mm/h	88mm/h	62mm/h

d) Nombre et formes des averses simulées.

Nous avons estimé que les pluies simulées du protocole de mesures devaient satisfaire aux critères suivants :

- Le total pluviométrique reçu par la parcelle doit être inférieur au total annuel médian
- Le nombre d'averses doit être suffisant pour avoir des temps de ressuyage des sols différents.
- Les hauteurs d'eau reçues par chaque parcelle au cours d'une averse sont de récurrence annuelle ou décennale.
- La forme de la pluie tient compte des intensités reconstituées au paragraphe c, de la gamme d'intensités offertes par le simulateur et ressemble aux précipitations les plus courantes dans la zone située au Nord de l'isohyète 1200 mm c'est à dire aux tornades simples : une ondée préliminaire, un corps prédominant et une traînée d'intensité plus faible et de courte durée. La pluie de récurrence annuelle se décompose de la façon suivante :

Durée	Intensité	Hauteur
15 min	60 mm/h	15 mm
10 min	120 mm/h	20 mm
10 min	90 mm/h	15 mm
10 min	60 mm/h	10 mm
45 min		60 mm

La pluie de récurrence décennale se décompose de la façon suivante :

Durée	Intensité	Hauteur
15 min	60 mm/h	15 mm
10 min	140 mm/h	23,3 mm
10 min	110 mm/h	18,3 mm
10 min	90 mm/h	15 mm
10 min	70 mm/h	11,7 mm
15 min	50 mm/h	12,5 mm
70 min		95,8 mm

Les intensités choisies sont telles que toute la pluie peut être considérée comme pluie utile.

En accord avec CASENAVE il a été décidé de réaliser 7 pluies, sur chacune des parcelles, numérotées de a à g. La pluie "a" dure 30 minutes et a une intensité constante de 60 mm/h, les pluies b, c, d, e, sont de récurrence annuelle, et f et g de récurrence décennale.

La pluie "a" a pour fonction première de déterminer la pluie d'imbibition sur le sol très sec.

Les temps de ressuyages sont les suivants :

avant la pluie.	temps de ressuyage.
a	-
b	14 h
c	9 h
d	12 h
e	70 h
f	48 h
g	15 jours.

Dans le tableau 2 sont présentées les séquences pluvieuses telles qu'elles ont été réalisées sur chacune des parcelles.

tableau n° 2

Pluie n°	Date	Heure début	Heure fin	Observations
<u>SI p 1</u>				
a	14-02-82	6h 41	7h 11	- arrêt de 18 min, panne du bras oscillant - jeu dans les engrenages de transmission - arrêt de 15 min, panne du groupe
b	14-02-82	20h 40	21h 33	
c	15-02-82	0h 30	7h 15	
d	15-02-82	19h 43	20h 41	
e	18-02-82	17h 29	18h 14	
f	20-02-82	7h 44	8h 54	
g	9-03-82	6h 25	7h 35	
<u>SI p 2</u>				
a	16-02-82	7h 40	8h 10	
b	16-02-82	20h 36	21h 16	
c	17-02-82	6h 16	7h 01	
d	17-02-82	19h 18	20h 03	
e	20-02-82	17h	17h 45	
f	22-02-82	6h	7h 15	
g	9-03-82	9h 30	10h 40	
<u>SII p 3</u>				
a	25-02-82	6h 11	6h 41	- incident régleur d'intensités I=60mm/h
b	25-02-82	20h 30	21h 15	
c	26-02-82	6h 19	7h 04	
d	26-02-82	19h 10	19h 55	
e	01-03-82	17h 05	17h 50	
f	3-03-82	6h 10	7h 20	
g	27-03-82	17h 50	19h 00	
<u>SII p 4</u>				
a	27-02-82	6h	6h 30	- pluie de type a; erreur de manipulation - trous de la parcelle bouchés en cours de pluie
b	27-02-82	20h 30	21h 15	
c	28-02-82	6h 10	6h 40	
d	28-02-82	19h 45	20h 30	
e	3-03-82	19h 30	20h 15	
f	5-03-82	8h 10	9h 20	
g	27-03-82	20h 35	21h 45	
<u>SII p 5</u>				
a	01-03-82	6h	6h 30	
b	01-03-82	20h 45	21h 30	
c	2-03-82	6h 10	6h 55	
d	2-03-82	18h 55	19h 40	
e	5-03-82	19h 35	20h 20	
f	7-03-82	9h 15	10h 35	
g	23-03-82	7h 30	8h 40	

(suite)

Pluie n°	Date	Heure début	Heure fin	Observations
<u>SII p 6</u>				
a	6-03-82	6h	6h 30	
b	6-03-82	20h 35	21h 20	
c	7-03-82	6h 10	6h 55	
d	7-03-82	18h 30	19h 15	
e	8-03-82	19h 30	20h 15	
f	12-03-82	8h 20	9h 30	- formation d'un trou dans la parcelle drainant tout le ruissellement.
g	28-03-82	18h 05	19h 06	
<u>SIII p 7</u>				
a	16-03-82	6h 07	6h 37	
b	16-03-82	20h 38	21h 23	- crapauds bouchant la goulotte.
c	17-03-82	6h 12	6h 57	
d	17-03-82	19h 01	19h 46	
e	20-03-82	17h 11	17h 56	
f	22-03-82	6h 07	7h 17	
*				
<u>SIII p 8</u>				
a	18-03-82	7h 06	7h 36	
b	18-03-82	21h 24	22h 09	
c	19-03-82	7h 21	8h 06	
d	19-03-82	19h 50	20h 35	
e	22-03-82	19h 30	20h 15	
f	24-03-82	9h 15	10h 25	- erreur dans la séquence des intensités
<u>SIII p 9</u>				
a	20-03-82	6h	6h 30	
b	20-03-82	20h 40	21h 25	
c	21-03-82	6h 10	6h 55	
d	21-03-82	18h 57	19h 42	
e	24-03-82	20h 10	20h 55	
f	21-03-82	10h	11h 10	
<u>SIII p 10</u>				
a	25-03-82	6h 15	6h 45	
b	25-03-82	20h 25	20h 55	
c	26-03-82	6h 10	6h 55	
d	26-03-82	18h 30	19h 15	
e	29-03-82	19h 45	20h 30	
f	31-03-82	8h	9h 10	

* Les pluies g n'ont pu être faites sur le site III, les premières pluies naturelles ayant interrompu le ressuyage.

CHAPITRE IV

LES MESURES EFFECTUEES SUR LE TERRAIN ET PARAMETRES ACCESSIBLES PAR CES MESURES.

On peut classer en deux catégories les mesures que nous avons faites sur le terrain. Les mesures de la pluie et du ruissellement d'une part, les mesures d'humidité du sol d'autre part. Les résultats de ces mesures sont donnés, sous forme de tableaux, en annexe n° 2, 3, 4, 5.

1) Mesure de la pluie et du ruissellement

a) La pluie

Les intensités sont contrôlées après chaque déplacement de l'appareil. L'anneau de garde étant protégé par une bache imperméable, la pluie tombe sur une plaque de tôle (coefficient de ruissellement 100 %) qui couvre la parcelle et est recueillie dans la cuve limnigraphique.

b) Le ruissellement

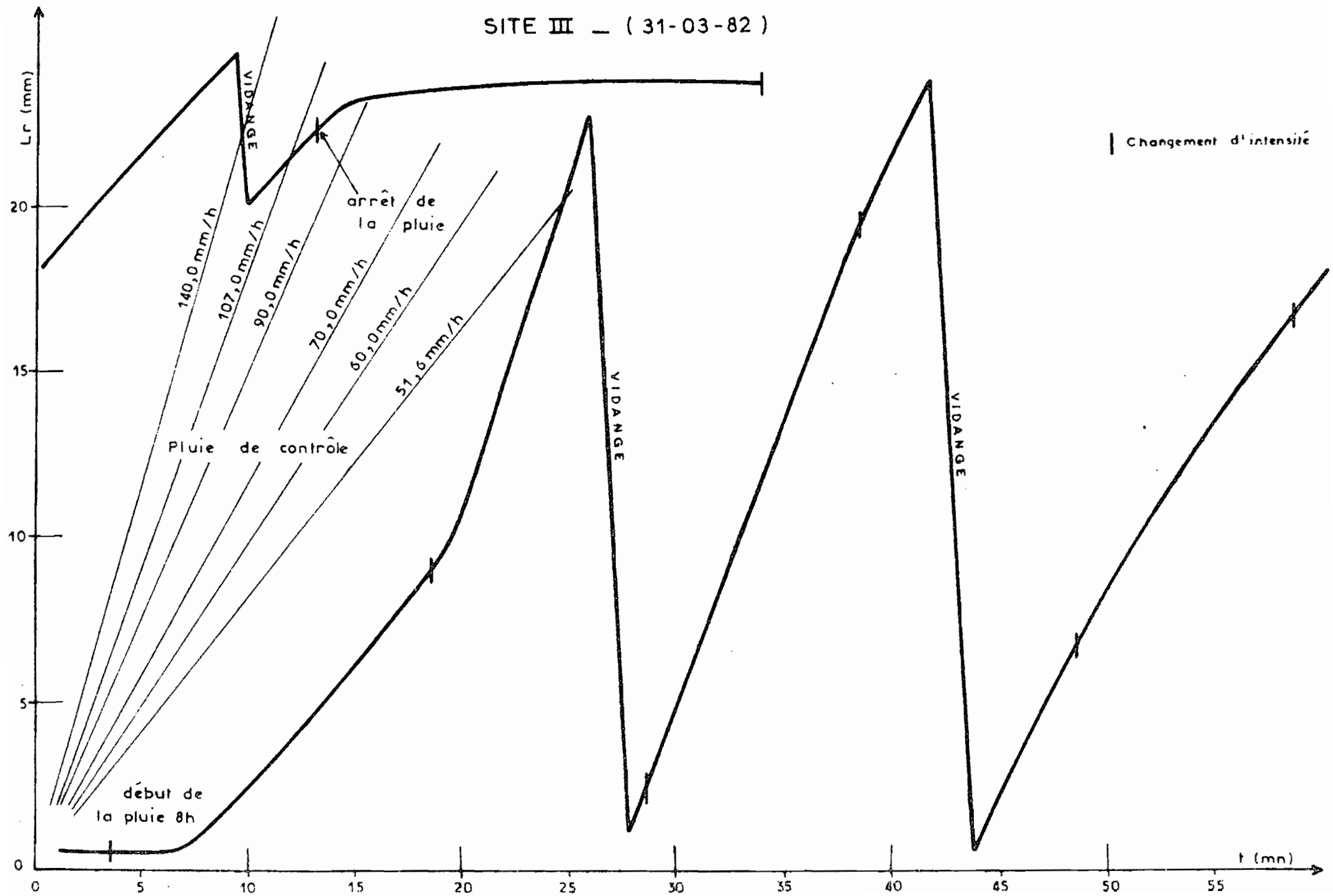
Il est mesuré très près de la bordure aval de la parcelle. On néglige dans toute l'étude les temps de transfert de l'eau à partir des points les plus éloignés de l'exutoire et le temps de transfert entre l'exutoire et la "cuve" enregistreuse qui recueille l'eau ruisselée.

Cette approximation est justifiée par les faibles dimensions du dispositif. Le limnigramme donne la hauteur des lames ruisselées cumulées en fonction du temps, le graphique n° 5 montre l'hydrogramme de la pluie f sur la parcelle 10, la pente de la tangente en chaque point du diagramme donne à chaque instant l'intensité de ruissellement.

HYDROGRAMME . Ex : PLUIE f SUR LA PARCELLE 10

Gr. 5

SITE III — (31-03-82)



Le graphique n° 6 représente le hyétogramme de la pluie I_{cf} (pluie f simulée sur la parcelle 2 du site I) avec les intensités contrôlées, et la lame d'eau ruisselée cumulée $L_r(t)$ à laquelle correspond l'intensité de ruissellement, $R(t)$.

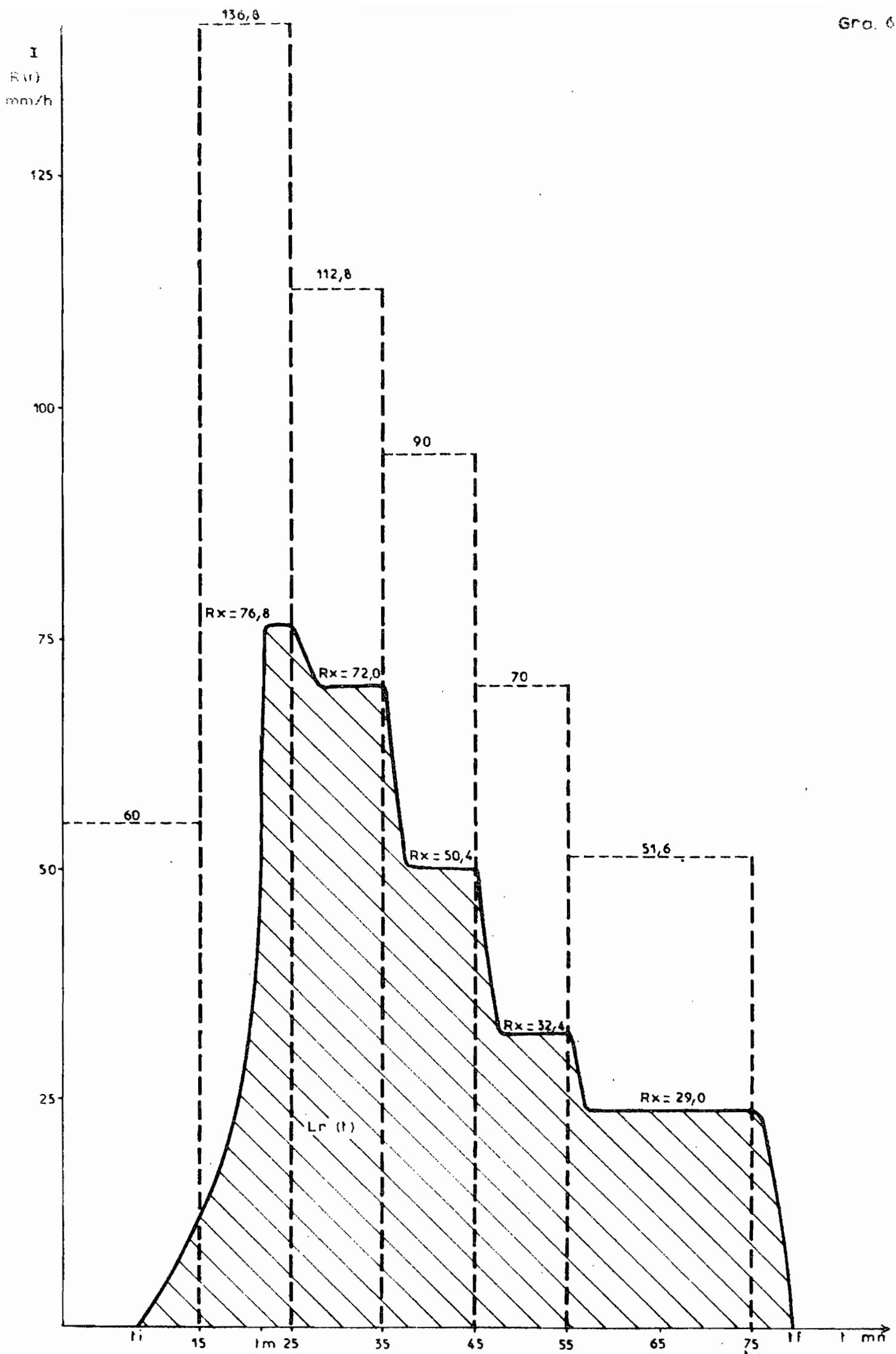
Du début de la pluie jusqu'au temps t_i on observe aucun ruissellement, c'est la phase d'imbibition. L'infiltration est d'abord totale, l'intensité potentielle d'infiltration $F(t)$ est en chaque point de la parcelle supérieure à l'intensité de la pluie. La capacité d'infiltration diminue tandis que le sol s'humecte, elle devient en plusieurs points inférieure à l'intensité de la pluie et l'eau commence à remplir les dépressions de la parcelle.

Au temps t_i les flaques débordent l'eau se met en mouvement et parvient à l'exutoire. L'hydrogramme prend une forme de S allongé, l'intensité de ruissellement augmente, celle d'infiltration diminue. Si toutes les flaques débordent la totalité de la superficie de la parcelle participe au ruissellement. La hauteur moyenne de la lame d'eau en mouvement à la surface (D_m) augmente. Cette phase correspond à un régime transitoire.

A partir du temps t_m s'établit un palier de ruissellement, dont l'intensité a atteint un maximum, l'infiltration est alors minimale, il s'est établi un régime permanent.

Au changement d'intensité de la pluie, ce régime permanent cesse durant un intervalle de temps au cours duquel les intensités de ruissellement et d'infiltration changent jusqu'à un nouvel équilibre et l'on retrouve un palier caractéristique du nouveau régime permanent.

Lorsque la pluie cesse, le ruissellement décroît lentement pour s'annuler au temps t_f . C'est la phase de vidange, la quantité d'eau qui s'écoule représente la détention superficielle récupérable (D_r) et qui est la partie non infiltrée des réserves superficielles acquises à la fin de la pluie (D_m).



Pour chacune des phases décrites on peut faire le bilan et en tirer des équations entre les grandeurs mesurées.

Notations utilisées.

$P_u(t)$	: hauteur de pluie à l'instant t
$L_r(t)$	: lame ruisselée à l'instant t
$L_i(t)$	: lame infiltrée à " "
$S(t)$	: lame stockée en surface à l'instant t
$D_m(t)$	: détention superficielle mobilisable à l'instant t
$D_r(t)$	: détention superficielle récupérable à l'instant t
$I(t)$	: intensité de la pluie à l'instant t
$R(t)$	: intensité de ruissellement à l'instant t
$F(t)$	: intensité d'infiltration à l'instant t
R_x	: intensité maximale de ruissellement
F_n	: intensité maximale d'infiltration
t_i	: temps de l'apparition du ruissellement
t_m	: temps de l'apparition du régime permanent
t_u	: temps de fin de la pluie
t_f	: temps de fin du ruissellement

- Pour la totalité de la pluie l'équation du bilan s'écrit

$$P_u(t) - L_r(t) - L_i(t) - D_m(t) - S(t) = 0 \quad (1)$$

- Pendant la phase d'imbibition

$$L_r(t) = 0$$

$$D_m(t) = 0$$

$$P_u(t) - L_i(t) - S(t) = 0 \quad (2)$$

- Régime transitoire

en dérivant l'équation (1)

$$I - R(t) - F(t) - \frac{dD_m}{dt} - \frac{dS}{dt} = 0 \quad (3)$$

- Régime permanent

$$R(t) = R_x$$

$$F(t) = F_n$$

$$\frac{dD_m}{dt} = 0$$

$$dt$$

$$\frac{dS}{dt} = 0$$

$$I - R_m - F_n = 0 \quad (4)$$

- Phase de vidange

$$P_u(t) = 0$$

$$L_r(t_f) - L(t_n) = D_m(t_u) + S(t_u) - S(t_f) + Li(t_u) - Li(t_f) \quad (5)$$

soit en désignant par D_r (Détention superficielle récupérable pour le ruissellement) la hauteur de la lame d'eau que l'on récupère après l'arrêt de la pluie; Li_f celle qui s'infiltre;

$$D_r = D_m(t_u) + S(t_u) - S(t_f) - Li_f \quad (6)$$

Ce paragraphe est inspiré des études de Lafforgue et de Collinet.

2°) Mesures d'humidité des sols.

Sur chaque site nous avons choisi une ou deux parcelles pour lesquelles nous avons essayé de suivre la progression du front d'humectation (Voir ch III paragraphe 1).

Le dispositif expérimental comprend un faisceau de quatre sondes "chocs thermiques" étagées entre 0 et 10 cm (2 cm - 5 cm - 7 cm - 10 cm) et un tube de sonde à neutrons dont la profondeur varie suivant les parcelles: 1 m 20 pour la parcelle 2; 60 cm pour les parcelles 3 et 5; 1m 10 pour les parcelles 7 et 9. Les mesures sont faites avant chaque pluie pour caractériser l'état d'humectation de la parcelle avant la pluie, au cours de la pluie, (après chaque changement d'intensité) et après la pluie. Après la pluie f des mesures d'humidité ont été effectuées durant trois jours suivant un protocole variable d'une parcelle à l'autre et en fonction des autres travaux en cours. Nous avons voulu appréhender par cette manipulation la cinétique de ressuyage.

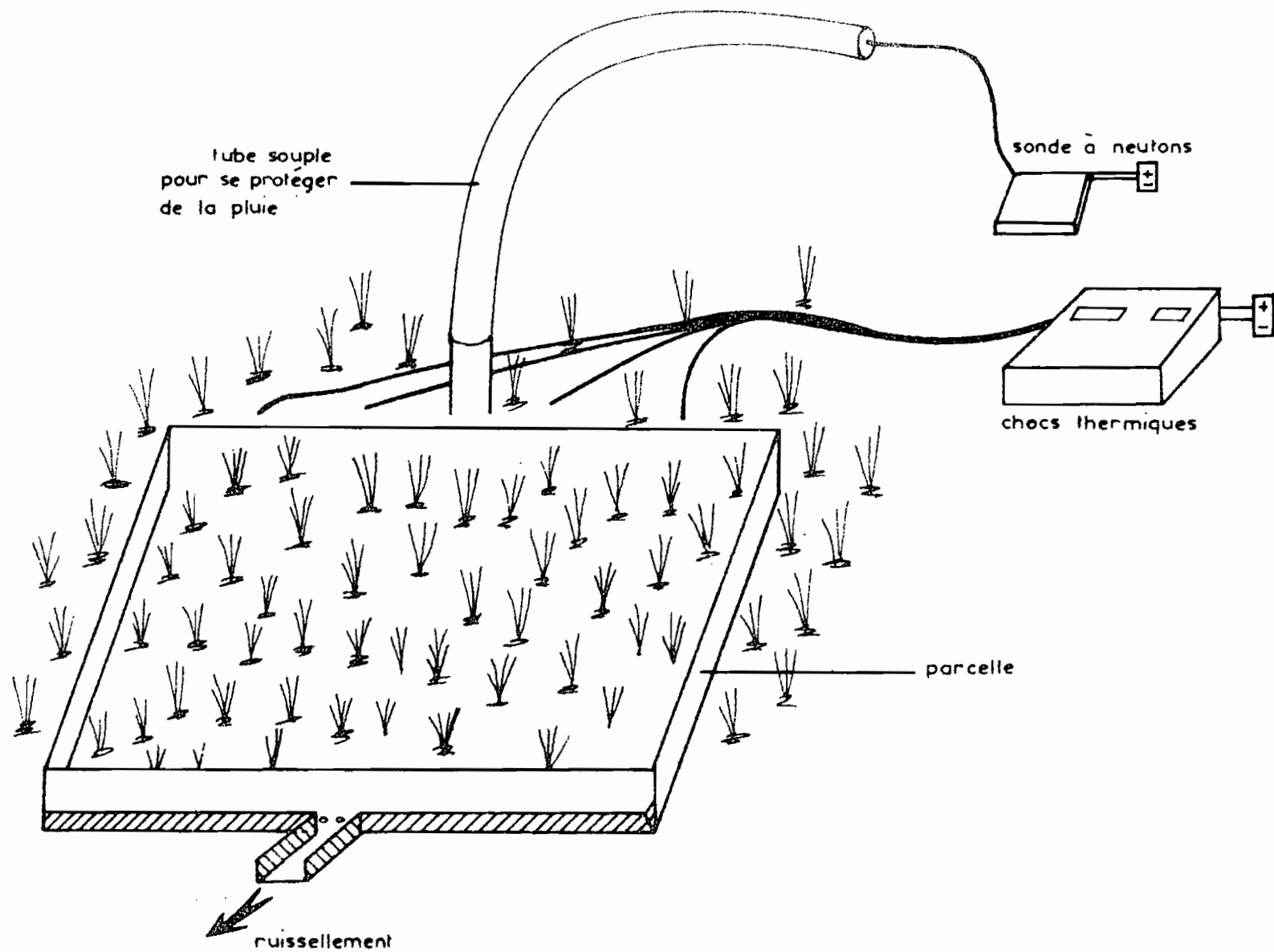


Fig: 7 DISPOSITIF EXPERIMENTAL DES MESURES
D'HUMIDITE DES SOLS

a) Humidité mesurée par la méthode gravimétrique.

Elle a été utilisée pour l'étalonnage de sonde. Simultanément à des mesures "sonde" nous avons effectué des prélèvements à la tarière en faisant trois prélèvements à chaque niveau. Les échantillons sont enfermés dans des boîtes hermétiques, pesées telles quelles; puis après une dessiccation à l'étuve (110°) pendant 24 heures). La médiane des trois mesures est considérée comme représentative de l'humidité pondérale du niveau.

Hp : Humidité pondérale

Ph : Poids humide

Ps : Poids sec

t : Poids de la boîte

$$Hp = \frac{Ph - Ps}{Ps - t} \times 100$$

En multipliant Hp par la densité apparente on obtient l'humidité volumique Hv. Les densités ont été mesurées au densitomètre à membrane. (Annexe n° 3).

Pour les parcelles non équipées de sondes, nous avons effectué des prélèvements avant la première pluie et après la pluie pour avoir une idée globale de la gamme de variation de l'humidité pour le sol en question.

Dans l'annexe n° 3, nous consignons les valeurs médianes de ces mesures.

b) Mesures d'humidité par "chocs thermiques".

Le principe de l'appareil et la méthode sont décrits par PCUYAUD dans les cahiers Hydrologie CRSTOM vol VIII n° 1 1971.

La sonde est constituée d'une résistance chauffante qui sous l'impulsion de chocs électriques émet des chocs thermiques; et d'un thermocouple qui mesure la température de la terre à trois centimètres de l'élément chauffant.

L'humidité est inversement proportionnelle à la différence de température mesurée avant et après la période de chauffe.

Cet appareil qui aurait pu nous être très utile, permet de mesurer l'humidité des premiers centimètres du sol et nous donner une idée de l'évolution des pellicules de surface, est malheureusement très déficient dans sa réalisation technologique. (Résultats Annexe n° 5).

Nous avons pris la valeur qui nous a semblée la plus vraisemblable parmi les sondes qui ont marché, et nous l'avons attribuée à l'ensemble de l'horizon 0-10 cm. Les quatre sondes n'ont jamais marché simultanément.

N'ont pas été faites de mesures "chocs thermiques" pendant la durée des pluies.

L'étalonnage des sondes et un résumé des résultats sont consignés dans l'annexe n° 6. Notons que la dispersion des points est très forte et que les étalonnages ne sont pas très fiables.

Cet appareil qui repose sur un principe simple aurait l'avantage de permettre des mesures dans les 20 premiers cm du sol en ne perturbant pas le sol, comme la sonde à neutrons.

Il serait intéressant qu'un laboratoire d'électronique revoye sa conception.

c) Mesures d'humidité avec la sonde à neutrons.

Le principe est déjà ancien et bien connu des hydrologues : la méthode est basée sur la proportionnalité entre le ralentissement d'un faisceau de neutrons rapides introduit dans le sol et l'humidité volumique de celui-ci, les atomes d'hydrogènes de l'eau étant responsables du ralentissement.

Il s'agit alors d'établir l'équation $N/\tilde{N}_e = aHv + b$, par régression linéaire. N étant le nombre de neutrons ralentis (déjéc-
tés,) $\tilde{N}_e$ nombre de neutrons émis lors de la mesure point-eau réali-
sée dans les mêmes conditions que la mesure de N . (voir ci-dessous).
Nous avons établi un étalonnage particulier pour chaque parcelle
dans le but de tenir compte des incidences de la pédologie (nature
chimique et densité) sur la diffusion et l'absorption des neutrons.

D'après M. SICCT, les caractéristiques de la sonde à neu-
trons SOLO 10 disponible au centre et que nous avons utilisée, font
que les valeurs observées de N en temps court (3Cs) suivent une
variation aléatoire assimilable à une loi de Poisson, de moyenne
 $10N$ et d'écart-type $\sqrt{10N}$. Cette moyenne se conforme à une loi
normale de moyenne $10N$ et d'écart-type $\sqrt{\frac{10N}{n}}$, 'n' étant le nombre

de répétitions des mesures. Dans nos manipulations, nous avons
répété les mesures 3 fois, et alors l'écart-type s'établit à
 $1,83 \sqrt{N}$.

Les articles que nous avons consultés pour mettre en route
cette campagne de mesures sont mentionnés dans la bibliographie.

Nous avons fait des points-eau le plus souvent possible ;
de telles mesures servent de référence, elles correspondent à
l'humidité 100 %, et sont réalisées assez fréquemment pour tenir
compte de la variation de la charge des piles de la sonde et aussi
des conditions climatiques notamment la température.

La manipulation est pratiquée dans un fût plein d'eau dans
lequel est immergé un tube en PVC (analogue à ceux utilisés sur les
parcelles), maintenu en surface. La mesure est répétée trois fois,
et on retient la médiane.

Une étude statistique sur les mesures point-eau effectuées
durant toute la campagne de simulation, donne une moyenne de 54,1
et un écart-type de 11,96 pour les 22 valeurs observées. (Annexe
n° 4).

Pendant les pluies, des mesures de sondes à neutrons ont été effectuées en protégeant le tube par un tuyau souple dans lequel s'enfile la sonde, et qui sort de l'aire arrosée. A chaque niveau, la mesure a été répétée trois fois et la valeur médiane a été retenue, la dispersion est faible. (annexe n°4).

L'annexe 6 donne les corrélations entre N_{Ne} et H_v sur les différents sites.

Remarques :

- Site I : étalonnage unique pour tous les niveaux, bon coefficient de corrélation.

- Sites II et III : étalonnage unique pour tous les niveaux, corrélation moins bonne, les valeurs observées aux horizons 20 et 30 cm s'éloignent de la droite de régression, mais pas de façon significative pour en faire un étalonnage à part.

CHAPITRE V

INTERPRETATION DES DONNEES.

Dans ce chapitre nous essayons de mettre en relation les grandeurs mesurées, d'étudier leurs variations et de discuter leur représentativité.

Nous reprenons une à une les phases définies dans le chapitre précédent et appliquons les résultats de nos mesures pour :

- estimer la pluie d'imbibition en fonction de l'état d'humectation des sols
- calculer les coefficients de ruissellement
- trouver des équations entre la pluie utile et la lame ruisselée
- caractériser la détention superficielle récupérable
- trouver des relations entre les intensités de la pluie et celles du ruissellement.

Les mesures de l'état d'humectation des sols n'ayant pas été faites sur toutes les parcelles et les étalonnages des sondes n'étant pas toujours fiables, nous avons cherché à caractériser ce paramètre de façon indirecte. Pour cela, nous avons suivi la démarche utilisée par CAZENAVE et CHEVALLIER et choisi un indice d'humidité de style Kohler. En confrontant cet indice aux mesures directes pour les parcelles où elles sont satisfaisantes on peut ouvrir une discussion sur sa représentativité et le bien fondé de son utilisation.

A - LE RUISSELLEMENT ET L'INFILTRATION.

1) Calcul de l'indice d'humectation IK

C'est l'expression mathématique de la vidange d'un stock hydrique. Il caractérise l'état d'humectation du sol avant chaque averse.

. CHEVALLIER en donne l'expression suivante :

$$IK_k = \sum_{j=1}^{k-1} P_j e^{-\alpha (td_k - tf_j)}$$

avec IK_k = indice de Kohler à l'instant du début de la k ème averse

P_j : hauteur de la pluie de la j ème averse précédant l'instant td_k

td_k temps du début de la k ème averse

tf_j : temps de la fin de la j ème averse précédant td_k (en jours)

α est la constante d'ajustement, nous la prendrons = 0,5; c'est la valeur choisie par CAZENAVE et par CHEVALLIER, et nous nous sommes proposés de suivre le même mode de calcul pour rendre les comparaisons possibles et parce que cette valeur convient bien dans notre étude.

. CASENAVE en donne une expression légèrement différente :

$$IK_k = (IK_{k-1} + PU) e^{-\alpha ta}$$

ta : temps en fraction de jour séparant la fin de la pluie $k-1$ au début de la pluie k .

IK_k = Indice IK avant la k ème averse

IK_{k-1} = Indice IK avant la $k - 1$ ème averse

PU = Pluie utile de la $k - 1$ ème averse.

Au calcul, les deux expressions donnent des résultats qui ne diffèrent qu'à la première ou seconde décimale et peuvent être considérés comme équivalentes. La seconde expression est plus facilement programmable sur des calculatrices de bureau.

Le tableau n° 3 donne le IK calculé avant chaque pluie simulée.

Pluie	Date début	Date fin	P.U.	Ta	I _K
	Jour - heure	Jour - heure			
I1 a	45 - 6h 41	45 - 7h 11	30,0	00	0,
I1 b	45 - 20h 40	45 - 21h 33	47,5	13h 29	22,7
I1 c	46 - 6h 30	46 - 7h 15	62,3	8h 57	57,9
I1 d	46 - 19h 43	46 - 20h 41	55,8	12h 28	92,0
I1 e	49 - 17h 29	49 - 18h 14	60,0	69h 48	34,8
I1 f	51 - 7h 44	51 - 8h 54	93,8	37h 30	43,2
I1 g	68 - 6h 25	68 - 7h 40	92,4	405h 31	0,03
I2 a	47 - 7h 40	47 - 8h 15	30,0	00	0
I2 b	47 - 20h 36	47 - 21h 16	61,6	12h 26	35,6
I2 c	48 - 6h 16	48 - 7h 01	57,4	9h	70,0
I2 d	48 - 19h 18	48 - 10h 03	57,4	12h 17	97,8
I2 e	51 - 17h	51 - 17h 45	60,0	68h 57	36,5
I2 f	53 - 6h	53 - 7h 15	100,5	35h 15	45,1
I2 g	68 - 9h 30	68 - 10h 40	94,1	362h 10	0,08
II3 a	56 - 6h 11	56 - 6h 41	30,0	00	0
II3 b	56 - 20h 30	56 - 21h 15	45,0	13h 59	22,5
II3 c	57 - 6h 19	57 - 7h 04	60,0	9h 04	55,6
II3 d	57 - 19h 10	57 - 19h 55	60,0	12h 06	89,2
II3 e	60 - 17h 05	60 - 17h 50	60,0	69h 10	35,0
II3 f	62 - 6h 10	62 - 7h 20	96,3	36h 20	44,3
II3 g	86 - 17h 50	86 - 19h 00	96,0	586h 30	0
II4 a	58 - 6h	58 - 6h 30	30,0	00	00
II4 b	58 - 20h 30	58 - 21h 15	60,0	14h	22,4
II4 c	59 - 6h 10	59 - 6h 40	30,0	8h 55	68,2
II4 d	59 - 19h 45	59 - 20h 30	60,0	13h 05	74,2
II4 e	62 - 19h 30	62 - 20h 15	60,0	71h	30,3
II4 f	64 - 8h 10	64 - 9h 20	95,6	35h 55	42,5
II4 g	86 - 20h 55	86 - 21h 45	95,5	539h 25	0
II5 a	60 - 6h	60 - 6h 30	30,0	00	0
II5 b	60 - 20h 45	60 - 21h 30	60,0	14h 15	22,3
II5 c	61 - 6h 10	61 - 6h 55	60,0	8h 40	68,4
II5 d	61 - 18h 55	61 - 19h 40	60,0	12h	99,2
II5 e	64 - 19h 35	64 - 20h 28	61,2	71h 55	35,2
II5 f	66 - 9h 15	66 - 10h 35	96,9	36h 55	44,5
II5 g	87 - 7h 30	87 - 8h 40	95,1	500h 55	0
II6 a	65 - 6h	65 - 6h 30	30,0	00	0
II6 b	65 - 20h 35	65 - 21h 20	60,0	14h 05	22,4
II6 c	66 - 6h 10	66 - 6h 55	60,0	8h 50	68,2
II6 d	66 - 18h 30	66 - 19h 15	60,0	11h 35	99,9
II6 e	69 - 19h 30	69 - 20h 15	60,0	72h 25	35,2
II6 f	71 - 8h 20	71 - 9h 30	96,3	36h 25	44,2
II6 g	87 - 18h 05	87 - 19h 06	88,3	393h 45	0,04

Tableau n° 3 (suite)

Pluie	Date début	Date fin	P.U.	Ta	I _K
	jour - heure	jour - heure			
III7 a	75 - 6h 07	75 - 6h 37	30,0	0	0
III7 b	75 - 20h 38	75 - 21h 23	56,6	14h 01	22,4
III7 c	76 - 6h 12	76 - 6h 57	56,7	8h 49	65,5
III7 d	76 - 19h 01	76 - 19h 46	56,6	12h 04	94,2
III7 e	79 - 17h 11	79 - 17h 56	60,5	69h 25	35,2
III7 f	81 - 6h 07	81 - 7h 17	90,3	36h 11	44,8
III7 g					
III8 a	77 - 7h 06	77 - 7h 36	30,0	00	0
III8 b	77 - 21h 24	77 - 22h 09	64,0	13h 48	22,5
III8 c	78 - 7h 21	78 - 8h 06	63,9	9h 12	71,1
III8 d	78 - 19h 50	78 - 20h 35	63,9	11h 44	104,9
III8 e	81 - 19h 30	81 - 20h 15	62,5	70h 55	38,1
III8 f	83 - 9h 15	83 - 10h 25	95,8	37h	46,5
III9 a	79 - 6h	79 - 6h 30	30,0	00	0
III9 b	79 - 20h 40	79 - 21h 25	62,2	14h 10	22,3
III9 c	80 - 6h 10	80 - 6h 55	62,2	8h 45	70,2
III9 d	80 - 18h 57	80 - 19h 42	62,2	12h 02	102,2
III9 e	83 - 20h 10	83 - 20h 55	61,3	72h 28	36,0
III9 f	85 - 10h	80 - 11h 10	94,6	37h 05	44,7
III10 a	84 - 6h 15	84 - 6h 45	30,0	00	0
III10 b	84 - 20h 25	84 - 20h 55	59,8	13h 40	22,6
III10 c	85 - 6h 10	85 - 6h 55	59,8	9h 15	67,8
III10 d	85 - 18h 30	85 - 19h 15	60,0	11h 35	99,4
III10 e	88 - 19h 45	88 - 20h 50	60,0	72h 30	34,9
III10 f	90 - 8h	90 - 9h 10	96,2	35h 10	45,2

Le jour est donné par son numéro dans l'année.

2) La pluie d'imbibition

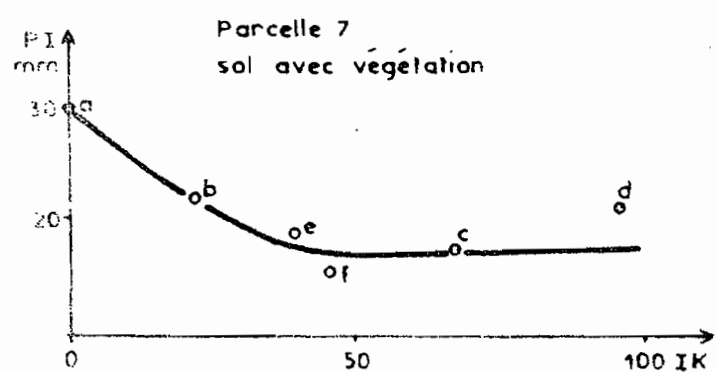
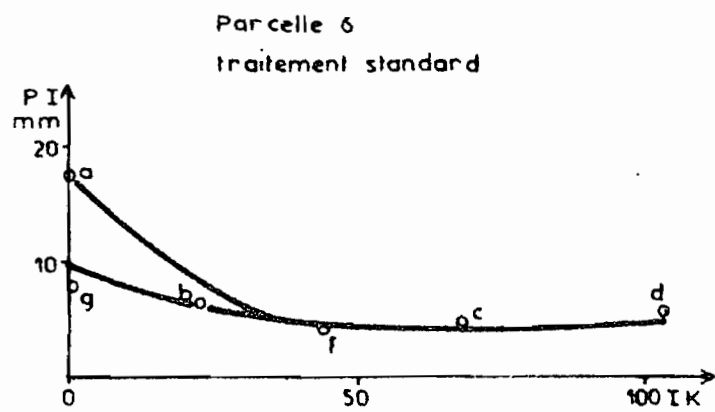
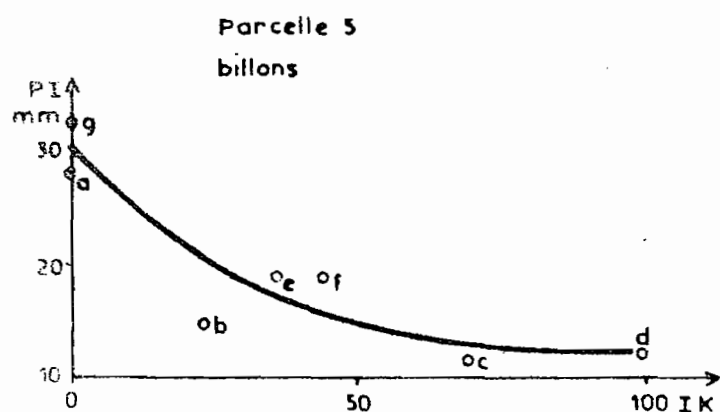
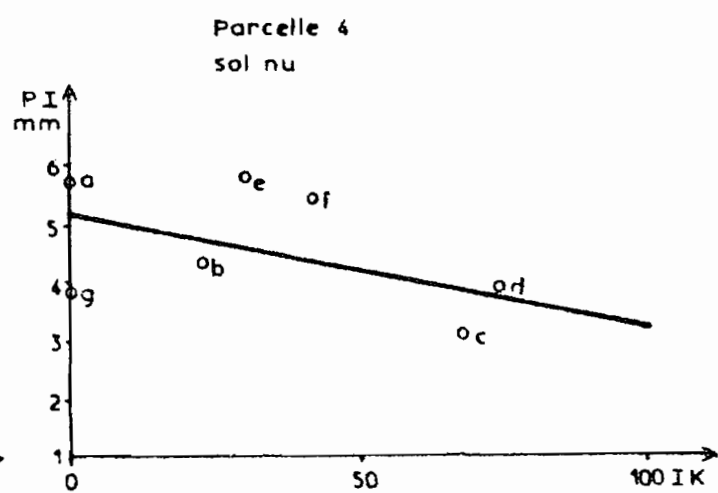
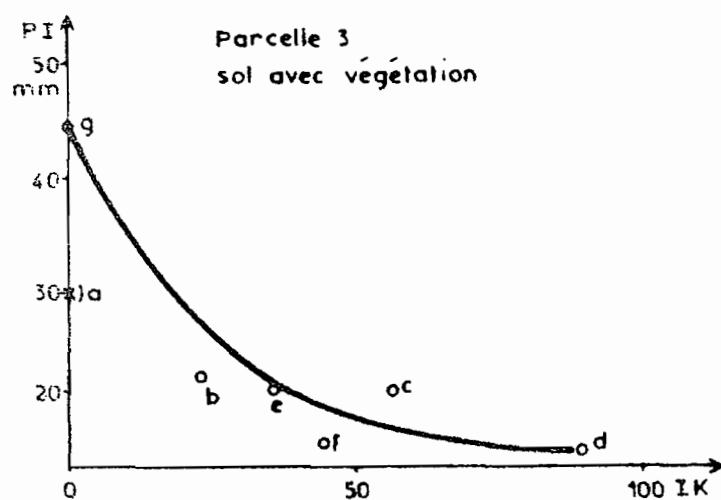
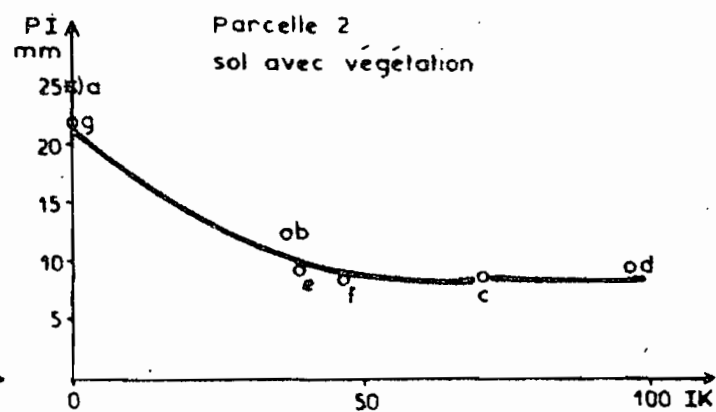
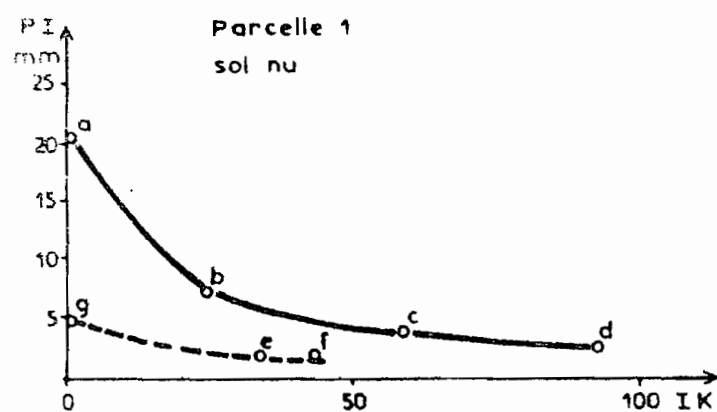
Comme nous l'avons vu (ch IV paragraphe 1) c'est pendant cette phase que se fait la saturation progressive du sol et le remplissage des dépressions de la surface.

Les figures n° 8 présentent les variations de P_i en fonction de I . Nous observons dans tous les cas une décroissance de la pluie d'imbibition quand I augmente. Les courbes ont une allure d'hyperboles décroissantes tendant vers une asymptote pour I_k maximum.

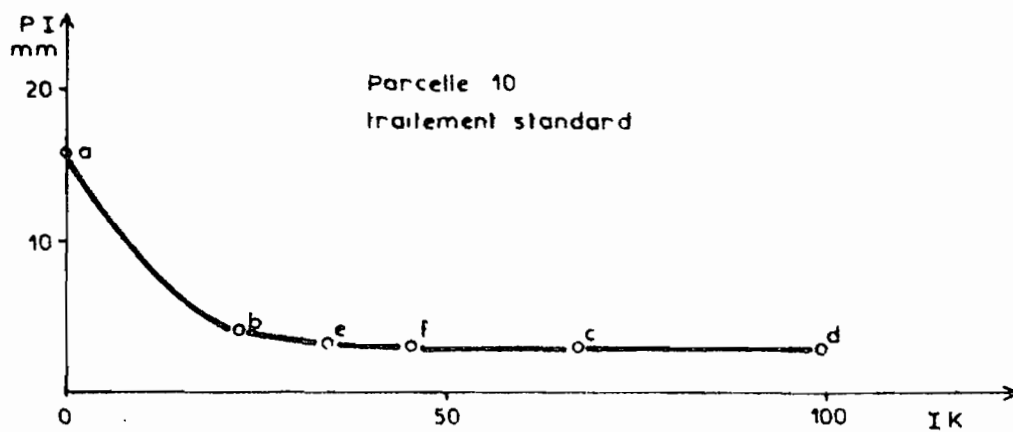
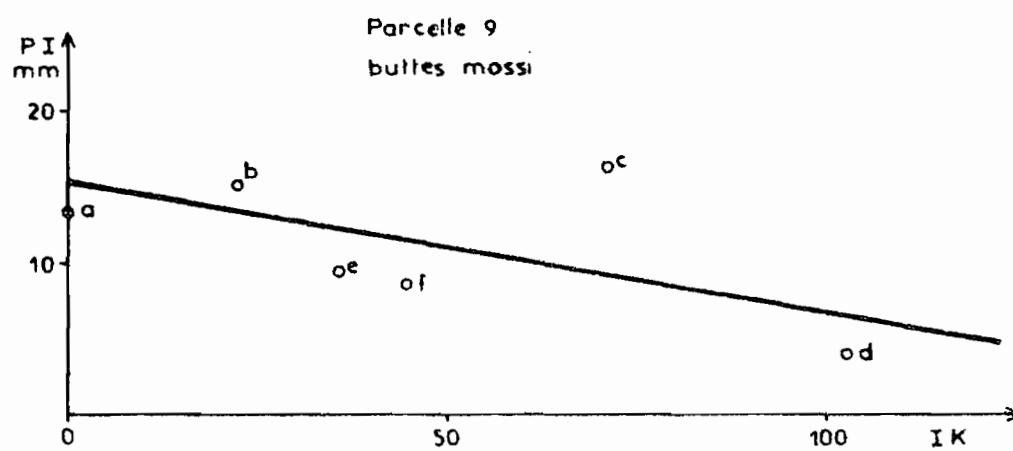
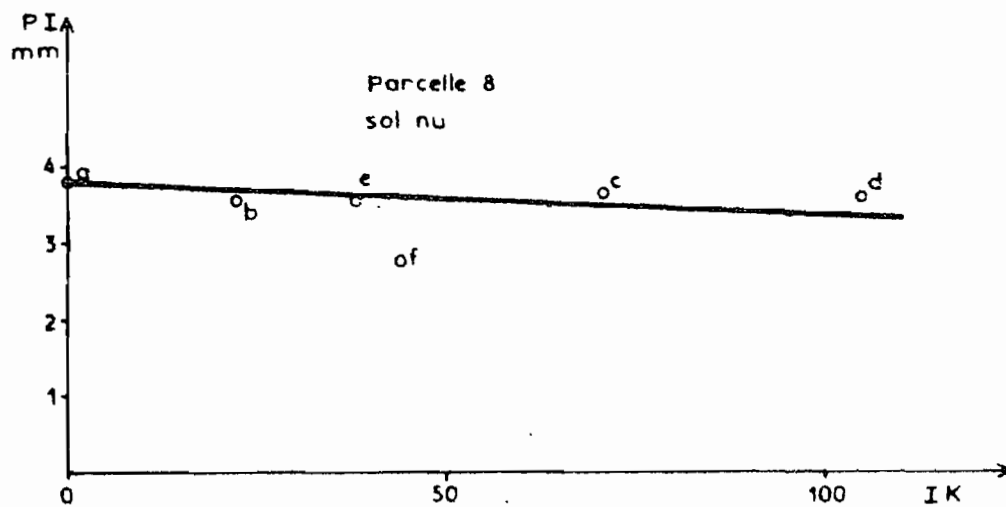
Notons que P_i est plus importante pour les parcelles avec végétation et pour les parcelles cultivées. Dans ces deux cas c'est le stockage d'eau en surface qui compose la plus grande partie de la pluie d'imbibition qu'il soit dû à la rétention par les plantes ou au remplissage des dépressions induites par le mode de culture. Les végétaux par leur racine, créent une macroporosité qui favorise l'infiltration. Sur sol nu, P_i est plus importante sur le site I où l'activité biologique du sol favorise l'infiltration. Pour la parcelle 1 on peut tracer deux courbes, la première représentative des pluies a, b, c, d, la seconde des pluies e, f, g, . La seconde est plus basse que la première et on peut l'expliquer en avançant que la pellicule de surface s'est indurée sous la battance des premières pluies et limite l'infiltration pour les dernières; ce phénomène sera remis en évidence lors de l'étude des intensités d'infiltration en fonction des intensités des précipitations (ch V paragraphe 5).

Le traitement standard favorise l'infiltration au cours de la première pluie, la pellicule de battance n'existant pas, la rugosité étant importante et induisant une macroporosité influente. Après la première pluie les petites mottes ont fondu et la pellicule d'induration s'est reformée.

$$PI = f(IK)$$



$$PI = f(IK)$$



Dans le tableau 4 sont reportées pour chacune des pluies la valeurs de Pi et de IK.

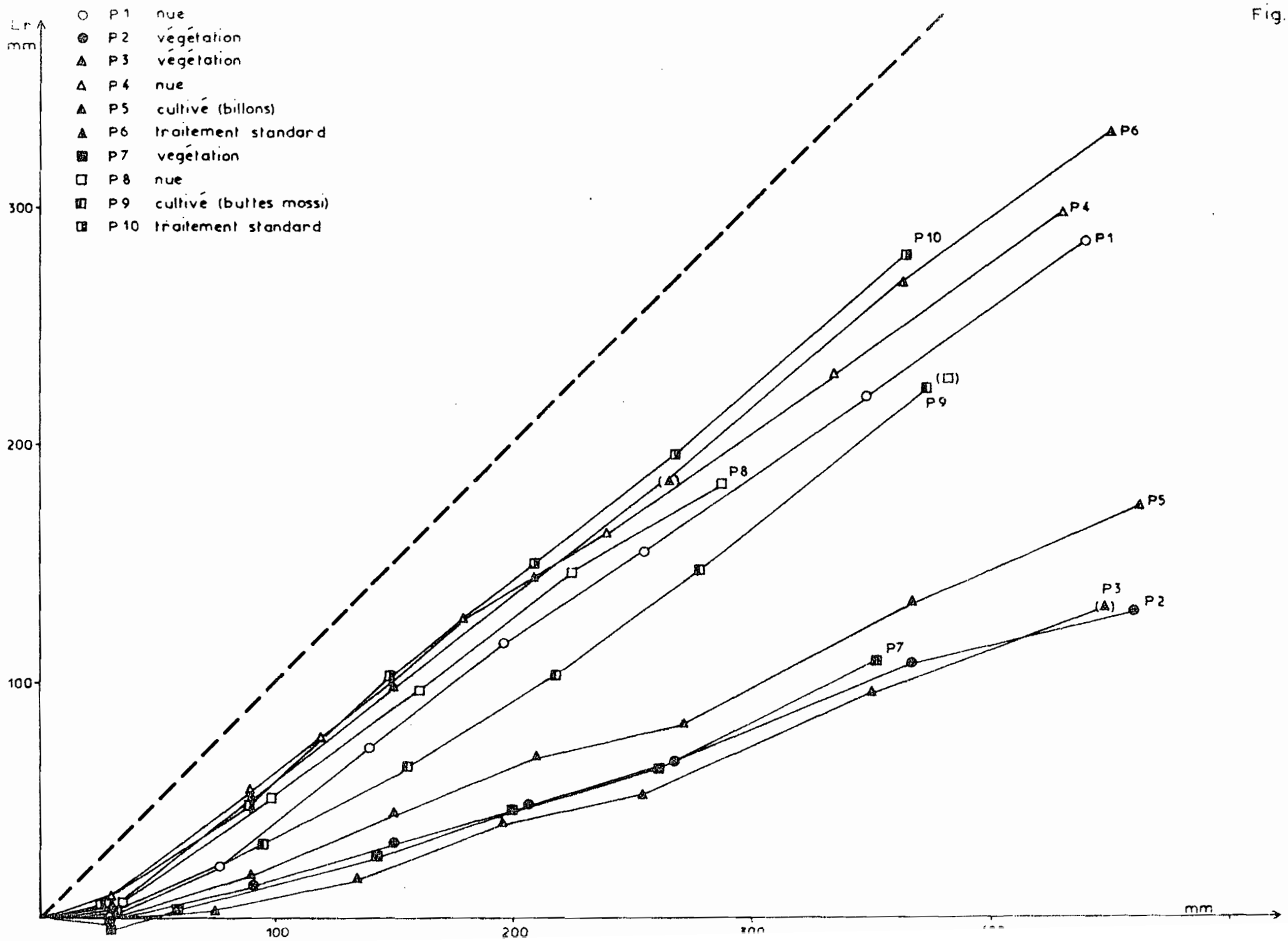
pluie parcelle	a		b		c		d		e		f		g	
	Pi mm	IK	Pi mm	IK	Pi mm	IK	Pi mm	IK	Pi mm	IK	Pi mm	IK	Pi mm	IK
1 sol nu	20,8	0	7,3	22,7	4,1	57,9	2,5	92,0	2,2	34,8	2,0	43,2	4,4	0
2 végétation	32,0	0	12,7	35,6	9,1	70,0	10,5	97,8	9,4	36,5	8,4	45,1	21,9	0
3 végétation	30,0	0	23,3	22,5	21,3	55,6	16,9	89,2	21,9	35,0	17,3	44,3	44,9	0
4 sol nu	5,8	0	4,4	22,4	3,1	68,2	3,9	74,2	5,8	30,3	5,4	42,5	23,3	0
5 billons	28,2	0	15,0	22,3	11,6	68,4	12,5	99,2	19,8	35,2	16,1	44,5	23,3	0
6 t. standard	17,5	0	6,6	22,4	5,2	68,2	6,3	99,9	7,2	35,2	4,7	44,6	7,7	0
7 végétation	30,0	0	24,1	22,4	15,3	65,5	23,3	94,2	19,2	35,2	12,0	44,8	-	
8 sol nu	3,9	0	3,6	22,5	3,7	71,1	3,7	74,9	3,6	38,1	2,3	46,5	-	
9 buttes mossi	13,1	c	15,3	22,3	16,2	70,2	4,0	102,2	9,5	36,0	7,5	44,7	-	
10 t. standard	15,9	0	3,9	22,6	3,1	67,8	4,2	99,4	3,1	34,9	3,1	45,2	-	

3) Coefficient de ruissellement.

Le report en coordonnées cartésiennes des lames ruisselées cumulées en fonction des pluies cumulées donne pour chaque parcelle une ligne brisée qui caractérise son aptitude au ruissellement. (fig n° 9).

Le segment joignant deux points a pour pente le coefficient de ruissellement K_{RU} de l'averse qu'il représente. On distingue facilement trois familles de lignes brisées. D'abord, les plus basses représentatives des parcelles avec végétation naturelle (P_2 , P_3 , P_7), puis les intermédiaires représentatives des parcelles en culture (P_5 , P_9) enfin, les plus hautes caractérisent les parcelles sur sol nu et les parcelles ayant reçu le traitement standard (P_1 , P_4 , P_8 , P_6 , P_{10}).

Fig. 1



Remarquons que les différences entre ces trois familles sont plus importantes que les différences à l'intérieur d'une même famille qui est pourtant composée de parcelles, représentant des sols de nature différente. Nous rejoignons là les conclusions de l'étude pédologique qui démontre que pour l'ensemble du bassin de BINNDE l'aptitude au ruissellement est plutôt fonction de l'état de surface des sols que de leur nature.

a) Parcelles avec végétation naturelle.

En moyenne la parcelle qui ruisselle le moins est celle du site II et celle qui ruisselle le plus celle du site III. Les couvertures végétales de ces deux parcelles étant semblables (chap. III paragraphe 1) la différence provient probablement de la nature de la surface, le site II étant plus rugueux (cailloux) que le site III (sable fin).

b) Parcelles nues et parcelles ayant reçu le traitement standard.

Parmi les parcelles nues l'aptitude au ruissellement est par ordre croissant celle du site I, celle du site II et celle du site III.

L'activité biologique plus intense sur le site I peut expliquer l'inversion entre les sites I et II.

Après les pluies "a" les parcelles ayant reçu le traitement standard offrent la même nature de surface que les parcelles nues et il est normal qu'elles se rapprochent de ces dernières quant au ruissellement.

c) Parcelles cultivées.

On remarque une grande différence entre les parcelles 5 et 9. Cette différence ne peut s'expliquer par la nature des sols car on la retrouverait dans les deux familles précédentes (sol nu, sol couvert de végétation). C'est le mode de culture qui l'induit, la culture en billons isohypses est plus, un frein au ruissellement que la culture en buttes mossi.

Notons au passage, que voilà bien une application agronomique du simulateur de pluie.

d) Coefficients de ruissellement.

Kru % Tableau n° 5.

Pluie Parcelle	a	b	c	d	e	f'	g	nature de la parcelle.
1	3,6	36,5	79,6	78,7	64,7	6 ,	71,0	Sol nu
2	0	24,3	31,0	29,8	23,7	45,4	20,3	Végétation
3	0	8,0	23,5	38,8	19,5	46,0	(5,3)	Végétation
4	29,0	76,2	76,3	84,0	57,7	69,8	73,7	Sol nu
5	1,6	29,8	41,7	39,2	22,2	54,2	41,4	Billons
6	19,3	77,2	76,5	78,2	-	84,6	72,4	t, standard
7	0,0	(2,7)	33,9	45,9	27,3	50,8	-	Végétation
8	23,9	68,1	70,6	78,6	58,7	(46,7)	-	Sol nu
9	17,5	42,2	52,7	62,5	71,3	76,9	-	Buttes mossi
10	14,0	78,6	82,1	82,5	77,2	88,0	-	t, Standard

Pour s'affranchir de la pluie d'imbibition et aussi pour avoir une idée plus nette sur l'infiltration nous avons calculé le coefficient de ruissellement efficace Kre.

$$Kre = \frac{Lr}{PU-PI} \times 100$$

Kre % Tableau n° 6.

Pluie parcelle	a	b	c	d	e	f	g	Nature de la parcelle
1	11,9	41,6	85,2	82,2	67,1	70,1	74,6	Sol nu
2	0,0	30,7	36,9	36,4	28,1	49,5	27,0	Végétation
3	0,0	1,5	36,4	54,1	30,7	56,1	(9,6)	Végétation
4	35,9	82,2	85,1	89,8	63,8	73,9	76,8	Sol nu
5	27,7	39,8	51,7	49,5	32,9	67,1	54,9	Billons
6	46,4	36,7	83,8	80,8	-	89,0	79,3	t. standard
7	0,0	4,6	46,4	78,1	40,0	58,6	-	Végétation
8	27,2	72,2	74,9	83,4	65,7	47,8	-	Sol nu
9	29,9	55,9	71,3	66,8	84,4	83,5	-	Buttes mossi
10	29,8	84,1	80,9	88,7	81,4	91,0	-	t. standard

4) Lames ruisselées en fonction de la pluie utile.

Pour chaque pluie simulée, les lames ruisselées ont été dépouillées avec un pas de temps de cinq minutes et reportées en fonction de la pluie utile sur papier millimétré. Pour chaque parcelle on obtient une droite qui s'incurve au voisinage de l'axe des abscisses, la partie courbe étant caractéristique du déficit de saturation du sol en début de pluie.

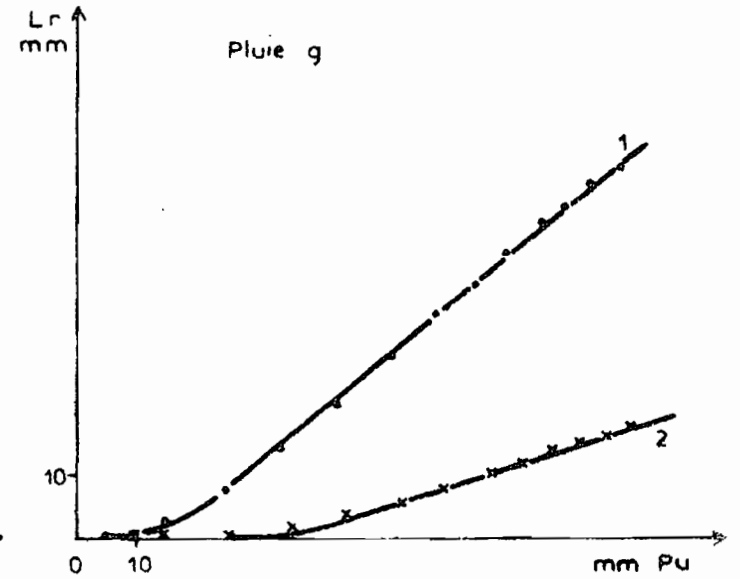
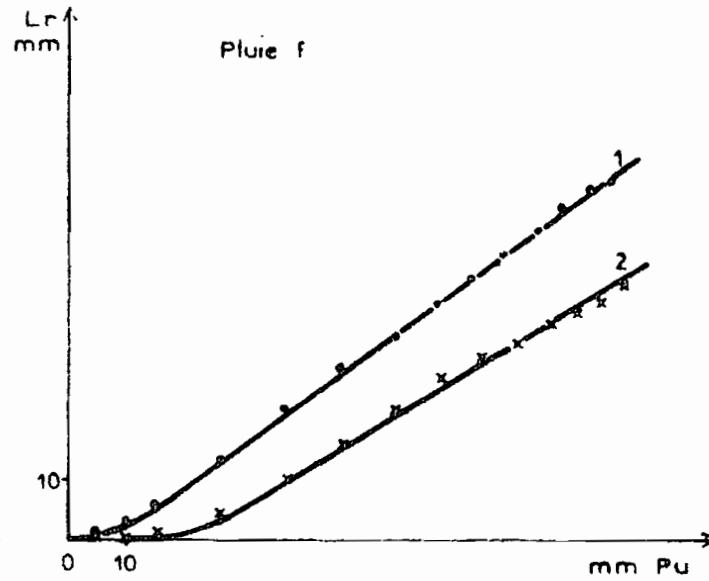
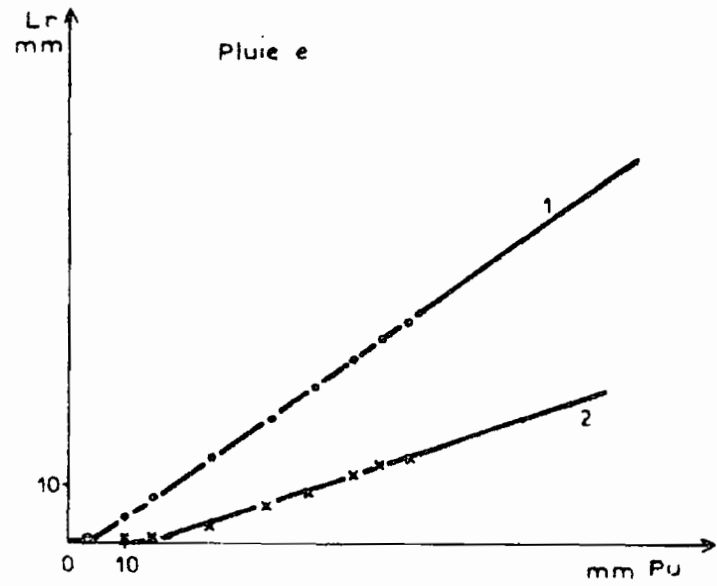
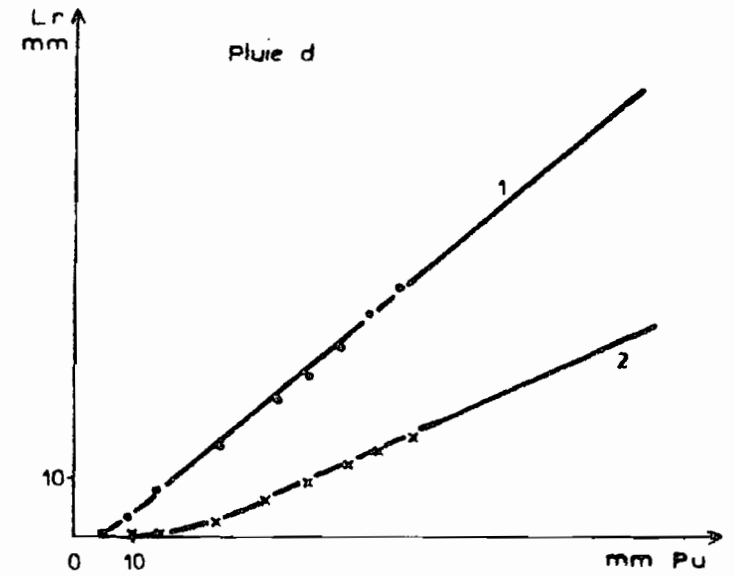
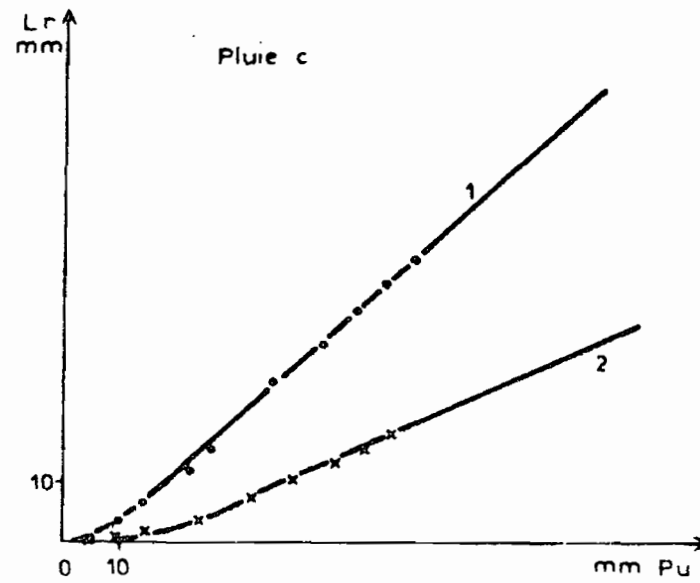
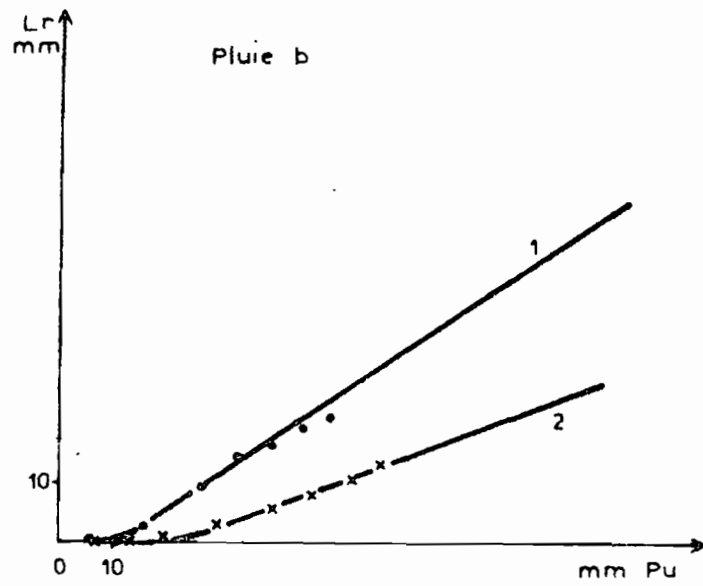
On observe sur ces graphiques 'N° 10 que les droites des parcelles nues et les droites des parcelles ayant reçu un traitement standard sont très voisines, ce sont elles qui ont les pentes les plus fortes. Les droites des parcelles sous végétation naturelle ont les pentes les plus faibles.

D'une pluie à l'autre, les pentes des droites représentatives d'une même parcelle varient. Si l'on rapproche ces pentes des indices IK on voit qu'elles varient dans le même sens, d'où l'idée de chercher une relation entre les trois grandeurs suivantes : pluie utile, lame ruisselée et indice IK. Cette relation, si elle possède une expression simple, nous permettra de reconstituer la lame ruisselée en fonction de la pluie utile sur chacune des parcelles pour n'importe quelle pluie naturelle.

Des courbes $L_r = f(PU)$ nous avons extrait les valeurs de L_r pour différentes valeurs de PU (10 mm, 20 mm, 30 mm..... 90 mm), et avons construit des abaques $L_r = f(PU, IK)$ pour chacune des parcelles. Nous obtenons ainsi des faisceaux de droites représentées sur le graphique (n° 11).

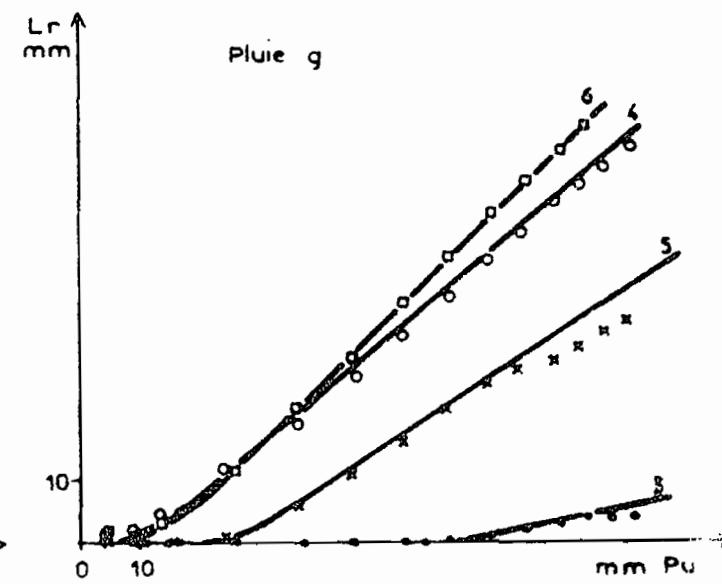
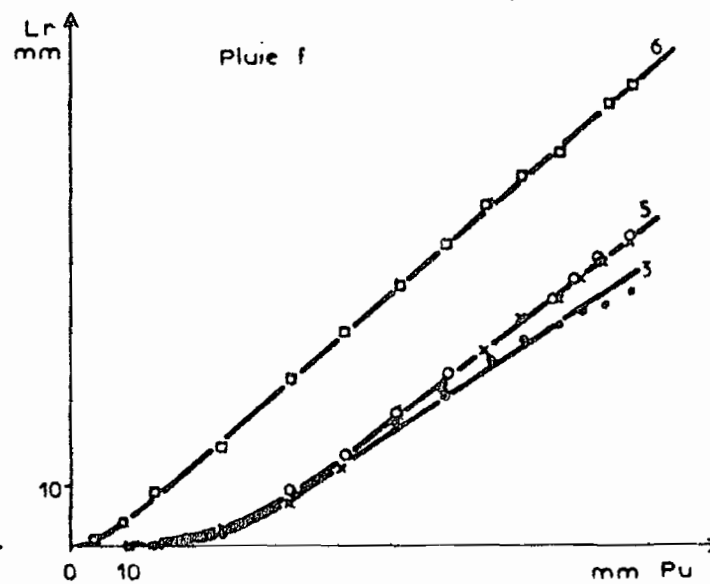
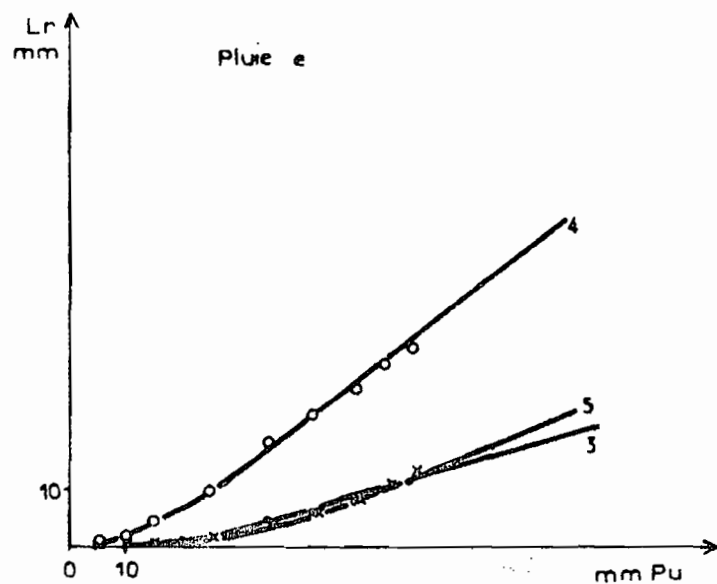
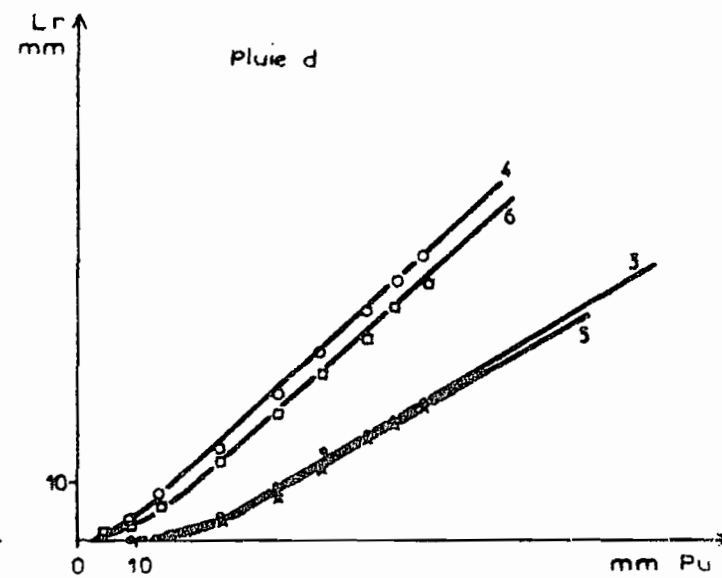
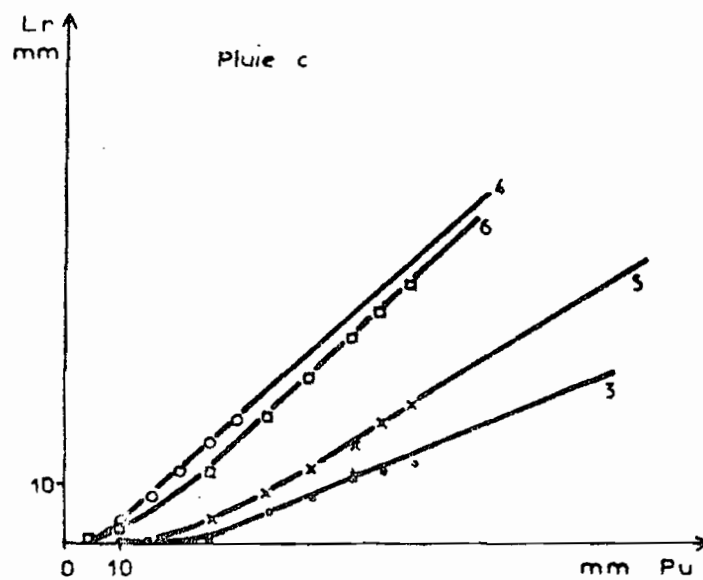
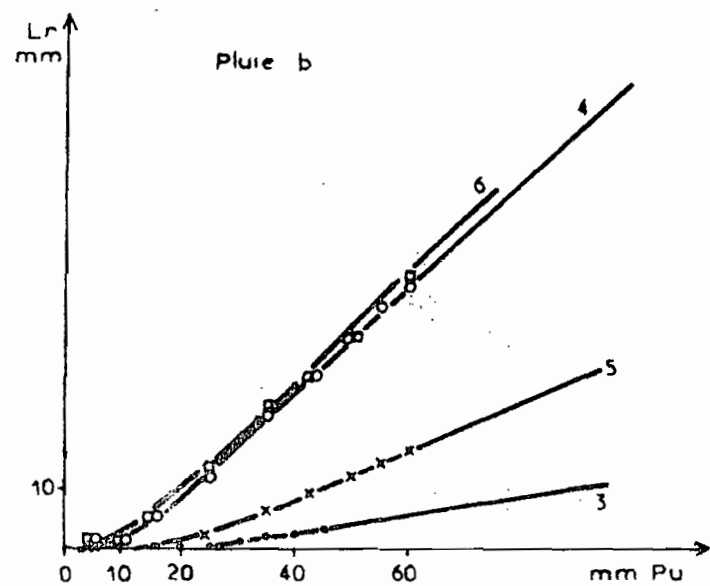
Nous n'avons pas fait ce travail pour les parcelles "traitement Standard" qui se rapprochent des parcelles sols nus et qui ne nous servent pas dans l'étude à l'échelle du bassin.

$Lr = f(Pu)$ Site I



- ① sol nu
- ② végétation naturelle

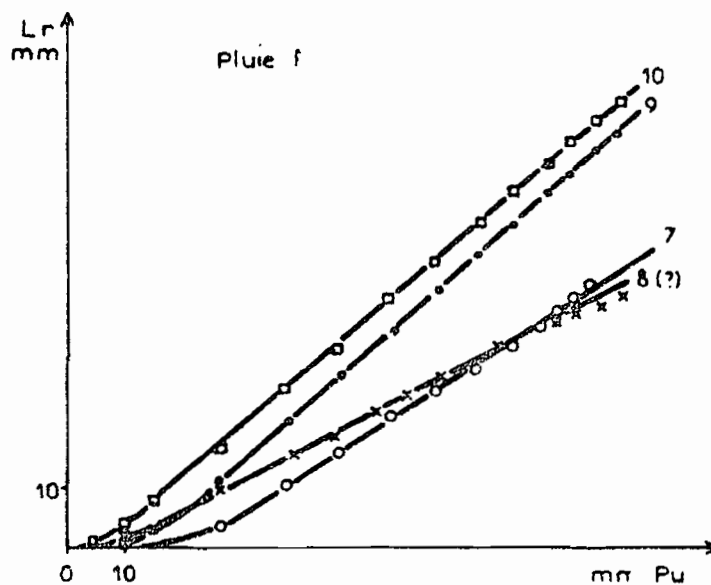
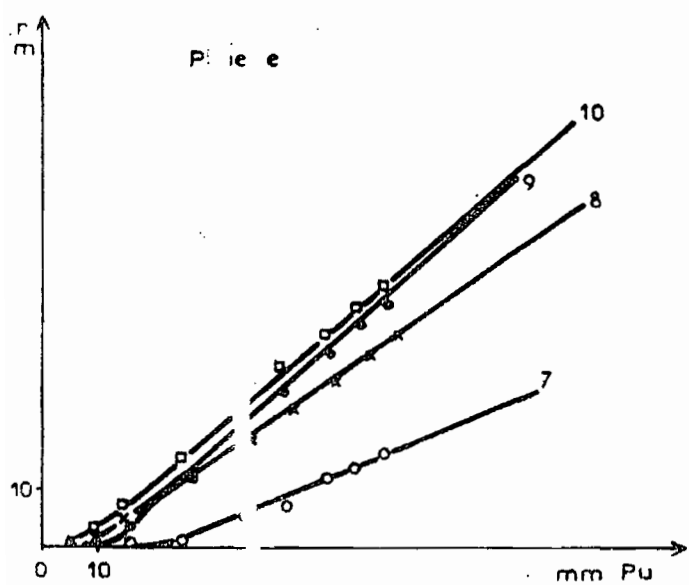
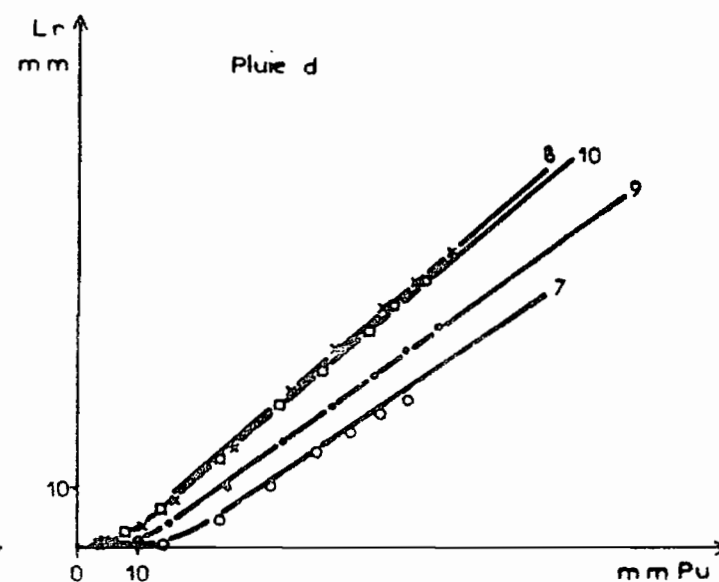
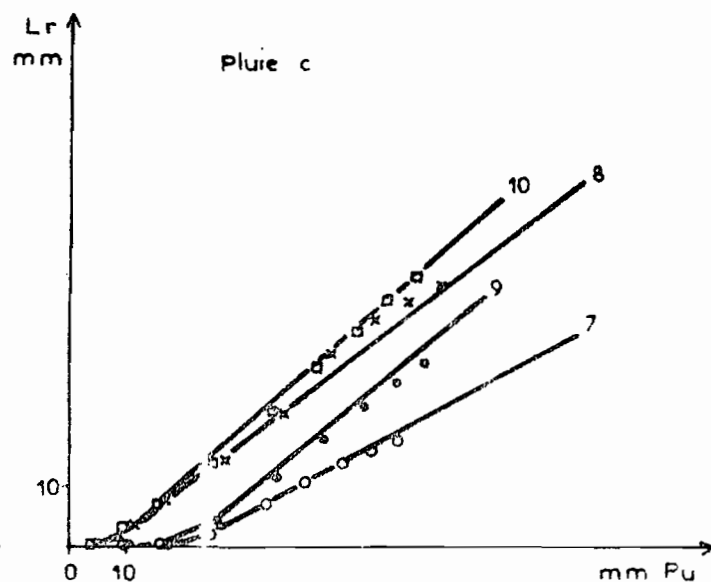
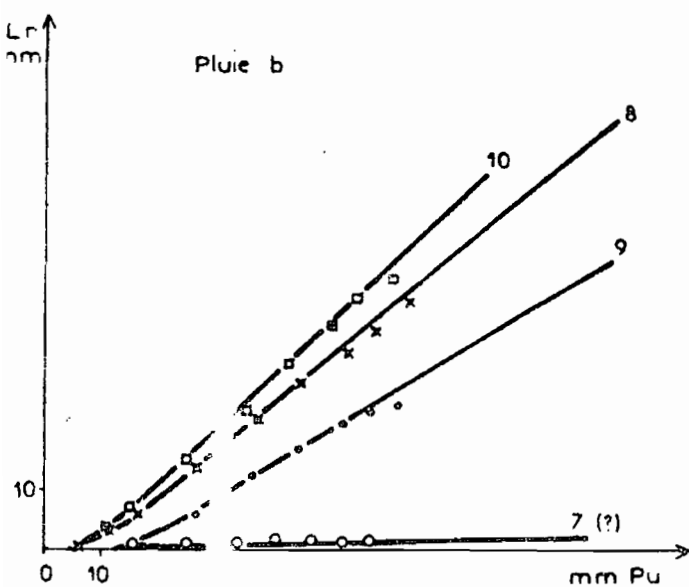
$Lr = f(Pu)$ Site II



③ végétation naturelle
④ sol nu

⑤ billons
⑥ traitement standard

Lr = f(Pu) Site III



- ⑦ végétation naturelle
- ⑧ sol nu
- ⑨ buttes mossi
- ⑩ traitement standard

Parcelle 1. Site I. Sol nu

Tableau n° 7.

Pluie IK PU	b 22,7	c 57,9	d 92,0	e 34,8	f 43,2	g 0
10	1,0	3,0	4,2	4,0	3,0	1,5
20	6,0	11,0	12,5	10,7	9,5	6,0
30	13,0	20,2	20,7	17,5	16,5	13,5
40	19,2	29,2	29,6	24,1	23,8	21,8
50	25,2	38,2	38,0	31,5	31,0	30,0
60	33,0	47,5	46,5	39,0	38,3	38,0
70	40,0	56,5	54,5	46,0	45,5	46,0
80	46,5	65,6	63,0	52,5	52,9	54,5
90	53,0	74,7	71,5	59,5	60,2	63,5

Tableau n° 8

Pluie IK PU	b	c	d	e	f	g
	35,1	70,0	97,8	36,5	45,1	0
10	0	0	0	0	0	0
20	0,7	1,8	1,7	1,5	1,7	0
30	3,0	6,0	5,0	4,5	6,2	1,0
40	6,5	9,7	9,5	7,6	12,2	2,8
50	10,5	15,0	14,0	11,0	18,5	5,8
60	14,2	19,5	18,7	14,5	24,3	8,5
70	18,0	23,5	23,4	17,7	30,0	12,0
80	22,0	28,2	27,8	21,0	36,0	15,0
90	25,7	33,5	32,4	24,4	42,0	18,0

Parcelle 3. Site II. Végétation naturelle

Tableau n° 9

Pluie IK PU	b	c	d	e	f	g
	22,5	55,6	89,2	35,0	44,3	0
10	0	0	0	0	0	0
20	0	0,5	1,0	0	0,8	0
30	0,8	3,0	6,0	1,5	4,0	0
40	3,0	7,5	13,0	5,0	11,0	0
50	4,3	11,5	18,0	8,5	17,0	0
60	6,2	15,8	24,0	11,0	23,0	0
70	8,0	19,8	30,0	14,5	29,0	1,0
80	9,0	23,8	36,0	16,5	36,0	3,0
90	11,0	28,0	42,3	19,5	42,0	5,0

Tableau n° 10

Pluie IK PU	b	c	d	e	f*	g
	22,4	68,2	74,2	30,3	42,5	0
10	0,8	3,5	3,2	1,5		3,0
20	8,5	12,5	11,8	6,0		8,0
30	18,0	21,5	21,0	12,2		14,2
40	27,0	30,5	30,5	19,2		22,0
50	36,5	39,5	39,5	26,2		30,5
60	45,8	48,5	48,8	33,2		39,0
70	55,0	57,5	58,2	40,2		47,8
80	64,3	66,5	67,5	47,3		56,5
90	73,5	75,5	77,0	54,5		65,2

* trous de la parcelle bouchés en cours d'averses et ne permettant pas d'estimer ponctuellement le ruissellement.

Tableau n° 11

Pluie IK PU	b	c	d	e	f	g
	22,3	68,4	99,2	35,2	44,5	0
10	0	0	0	0	0	0
20	1,5	2,5	1,5	0,5	0,5	0
30	4,8	7,0	5,5	2,0	4,0	2,5
40	8,5	11,5	11,5	4,5	9,0	8,0
50	13,3	17,5	16,8	8,0	16,5	14,0
60	17,0	24,5	22,5	13,3	25,0	21,0
70	21,5	31,0	28,0	17,0	33,0	25,5
80	26,5	37,0	34,5	20,0	40,0	24,5
90	30,0	43,0	40,0	24,0	48,0	41,0

Parcelle n° 7 Site III. Végétation naturelle

Tableau n° 12.

Pluie IK PU	b *	c	d	e	f
		65,5	94,2	35,2	44,8
10		0	0	0	0
20		1,5	3,5	0,5	1,5
30		6,0	9,5	3,5	4,0
40		11,0	16,5	7,0	12,0
50		15,5	23,5	12,0	19,0
60		22,0	30,0	16,0	24,5
70		27,0	35,0	20,5	31,0
80		32,5	42,0	25,0	37,5
90		37,5	48,0	29,5	44,5

* idem parcelle 4.

Parcelle n° 8. Site III. Sol nu.

Tableau n° 13.

Pluie IK PU	b	c	d	e	f*
	22,5	71,1	104,9	38,1	46,5
10	2,0	3,2	3,5	1,8	
20	9,0	10,0	12,0	8,0	
30	17,0	17,0	19,5	15,0	
40	24,2	25,4	28,5	21,5	
50	33,0	32,5	37,5	28,5	
60	40,7	40,3	46,0	35,0	
70	50,0	48,2	54,8	42,0	
80	57,0	56,0	63,2	49,0	
90	65,0	64,0	72,3	54,5	

Parcelle n° 9. Site III. Buttes mossi.

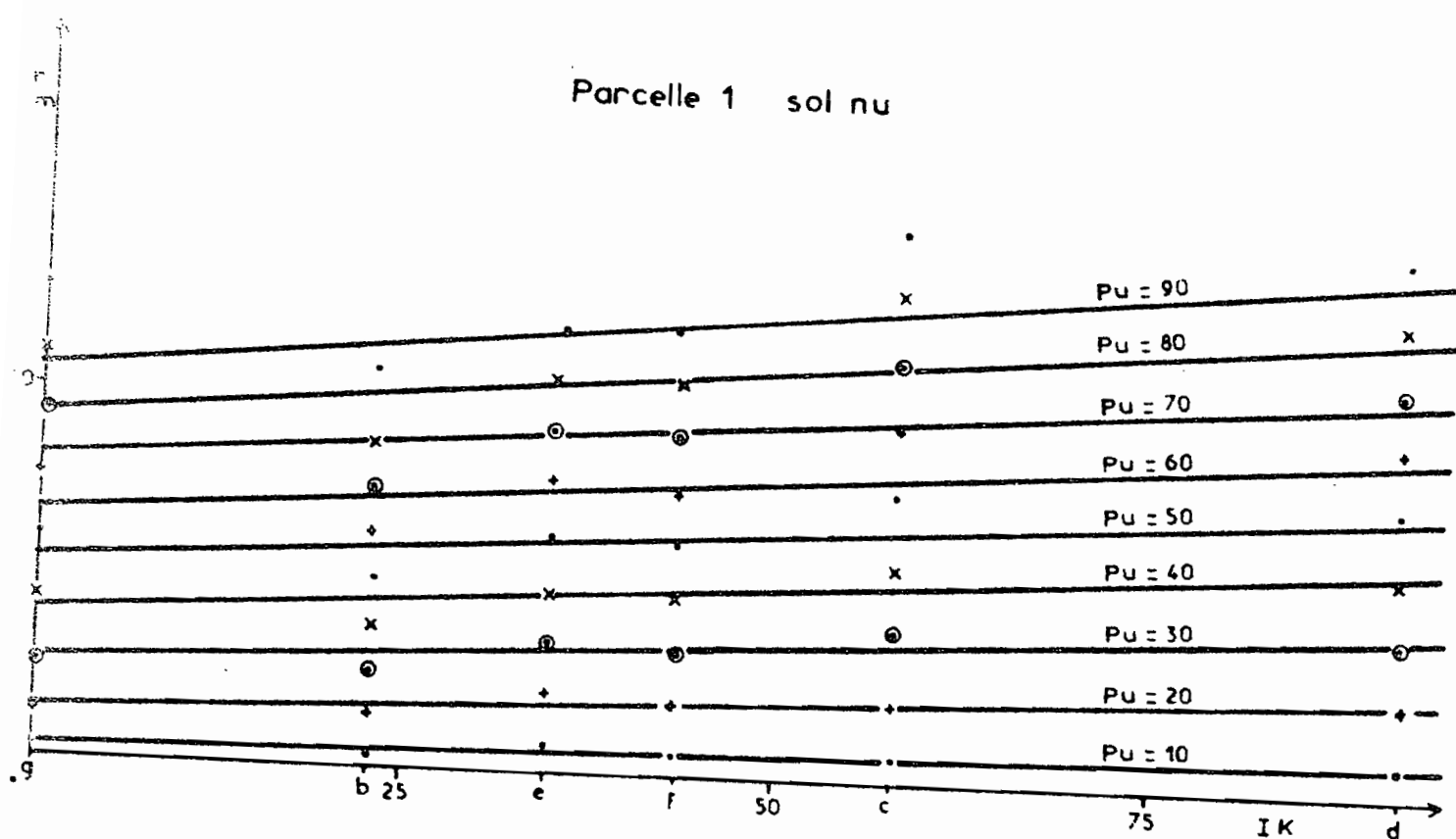
Tableau n° 14.

Pluie IK PU	b	c	d	e	f
	22,3	70,2	102,2	36,0	44,7
10	0	0	0	0	0
20	3,0	1,5	7,0	7,5	7,0
30	9,1	9,0	14,5	16,0	15,0
40	15,0	17,0	22,0	24,5	24,5
50	20,2	25,0	29,5	33,5	33,0
60	26,5	32,0	37,0	40,5	42,0
70	31,5	38,0	44,0	52,0	50,3
80	38,0	47,0	51,5	59,5	59,0
90	44,0	55,0	59,0	69,0	67,5

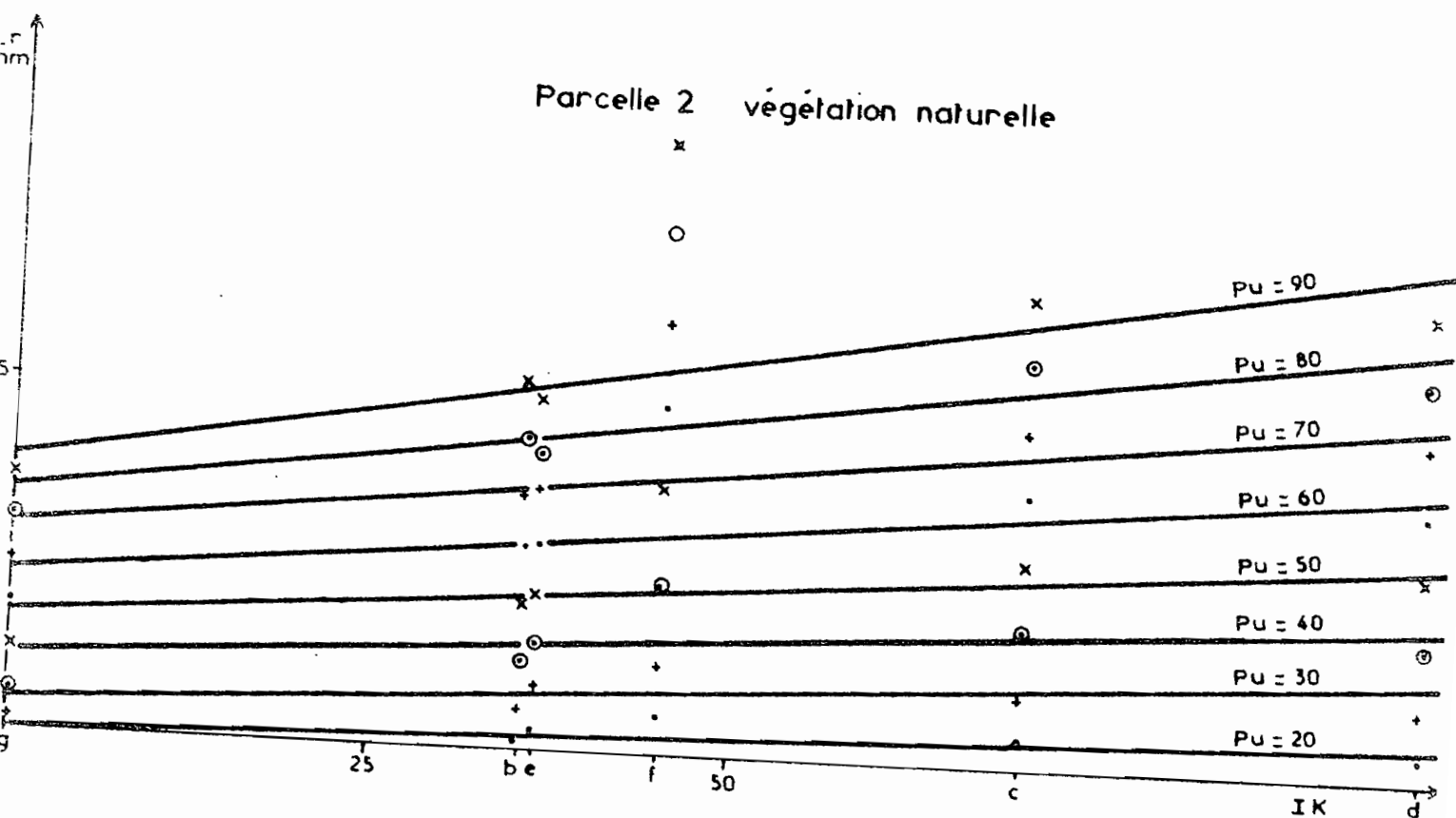
Suivant les parcelles, la dispersion est plus ou moins importante mais reste toujours acceptable. En règle générale les pluies f donnent des points trop forts. Cela peut s'expliquer par les intensités fortes du début de pluie (avec un IK fort).

Nous pouvons tracer pour chaque parcelle un faisceau de droite $L_r = f(IK)$ pour différentes PU et avoir ainsi une série d'abaques.

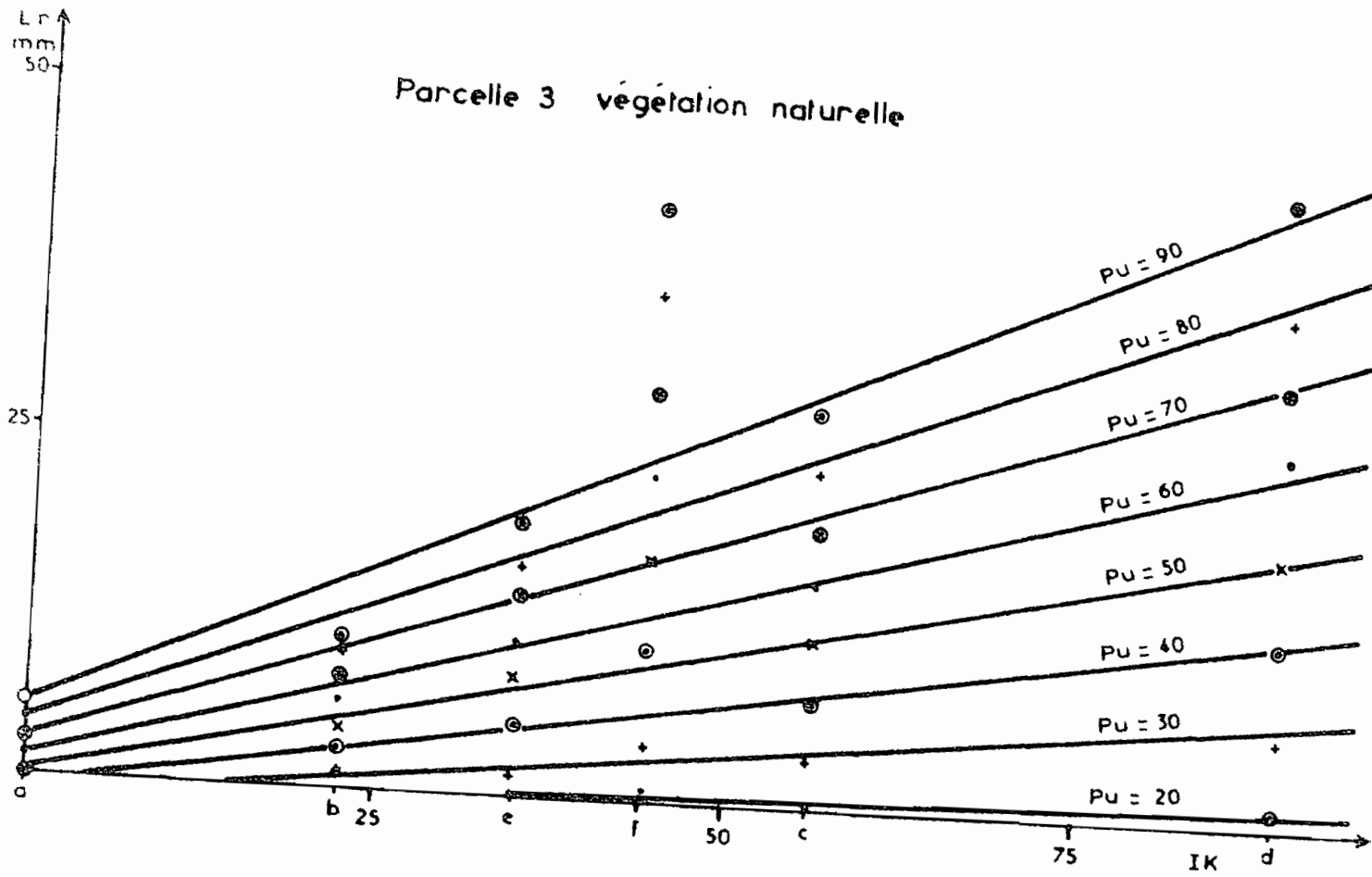
Parcelle 1 sol nu



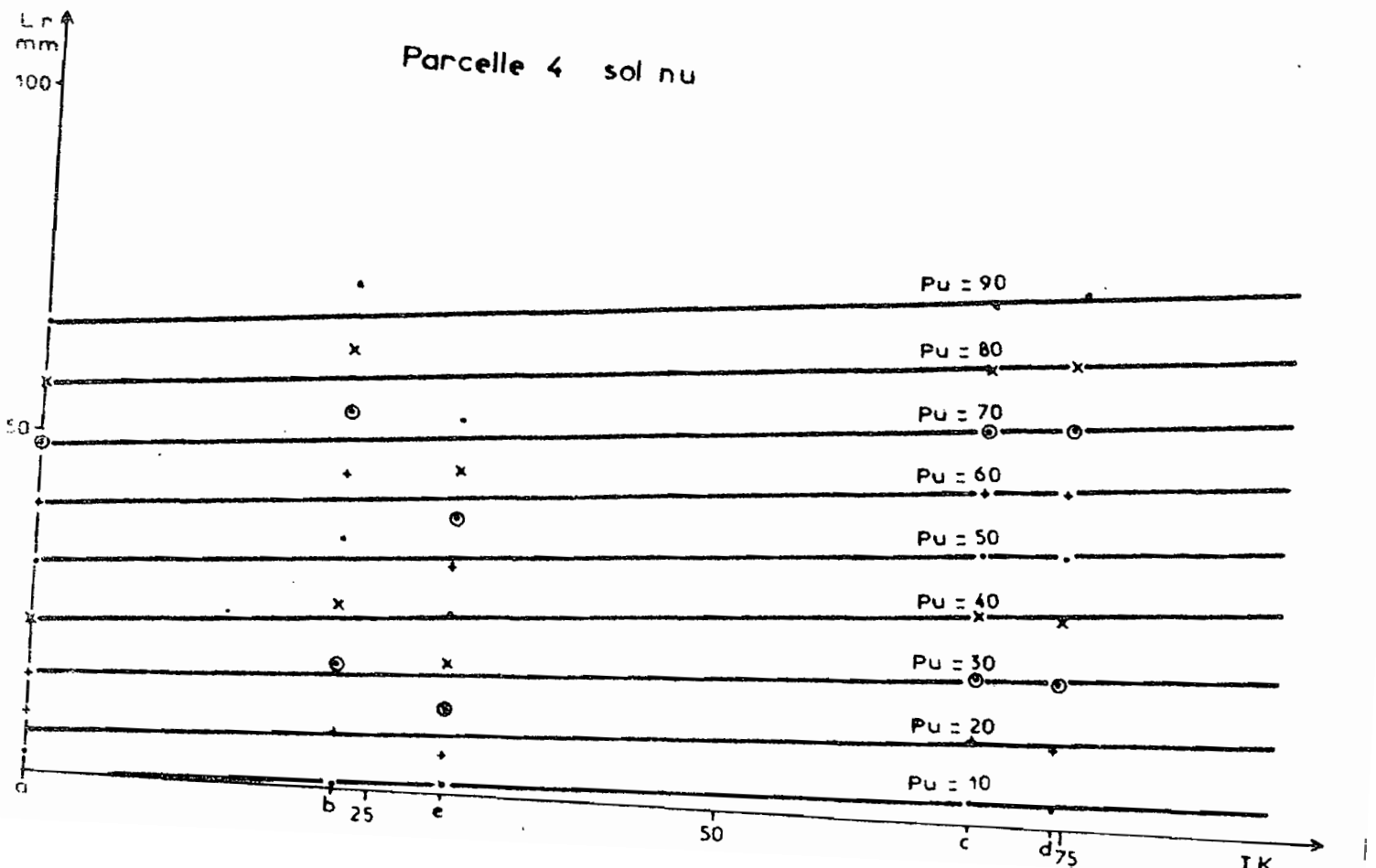
Parcelle 2 végétation naturelle



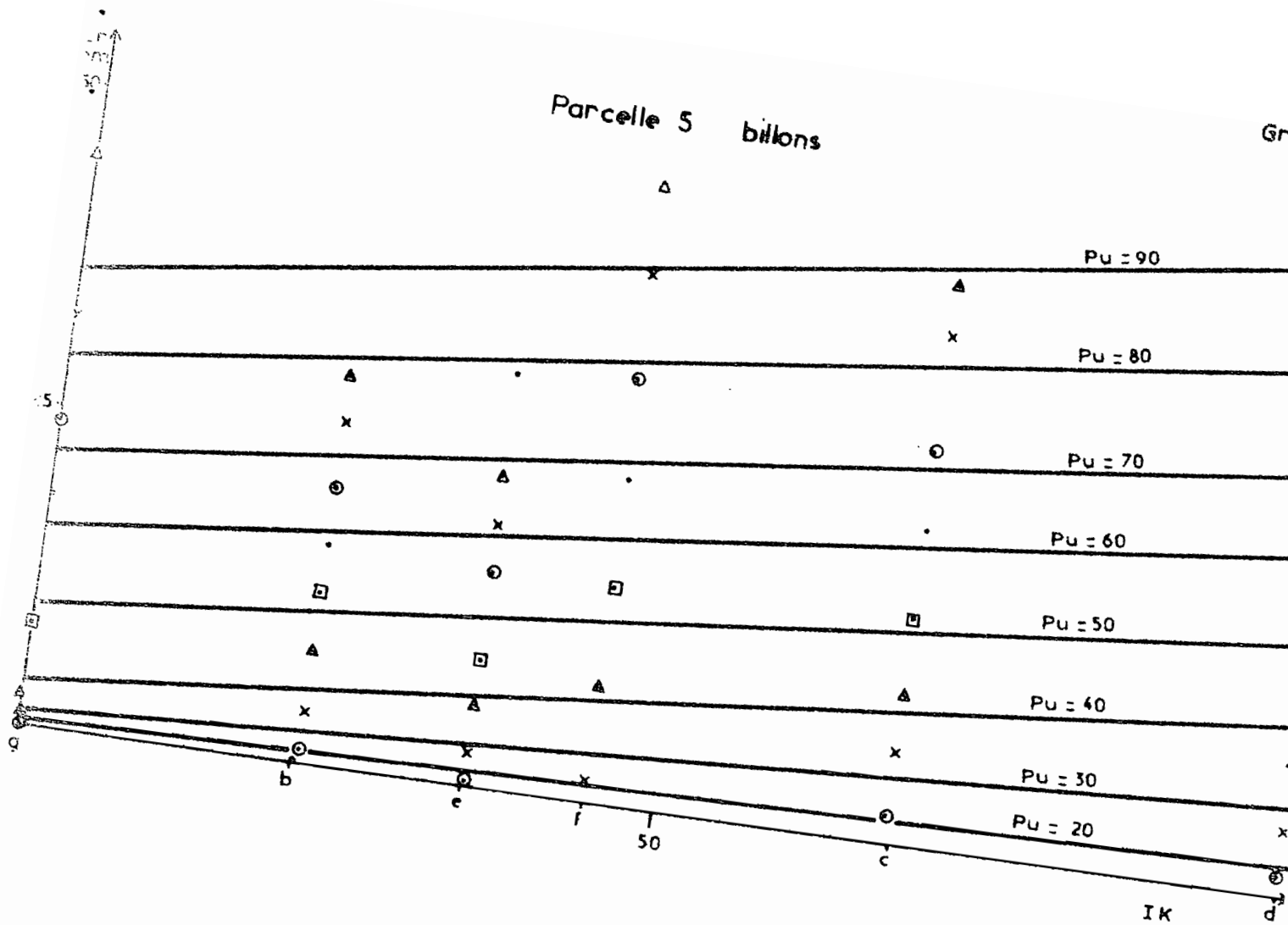
Parcelle 3 végétation naturelle



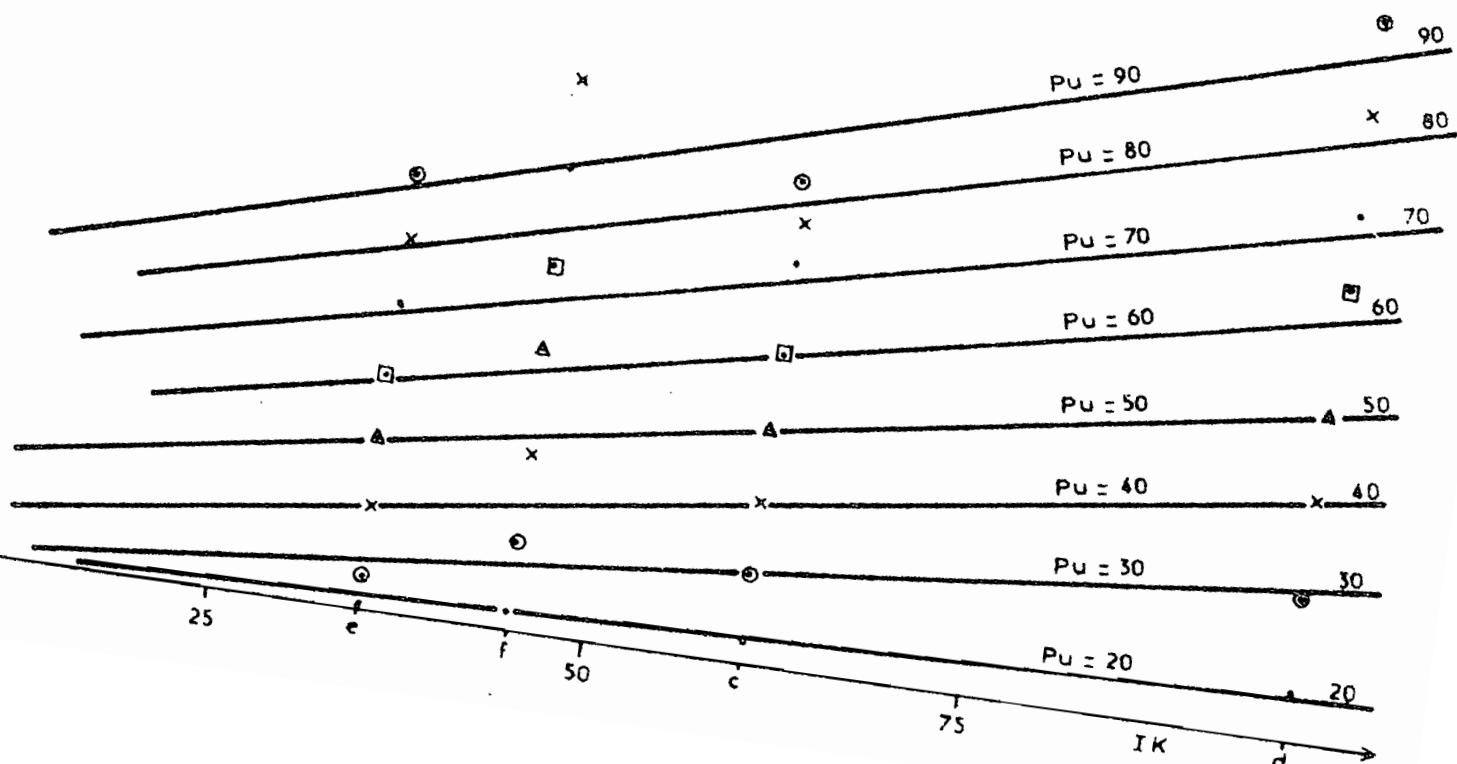
Parcelle 4 sol nu



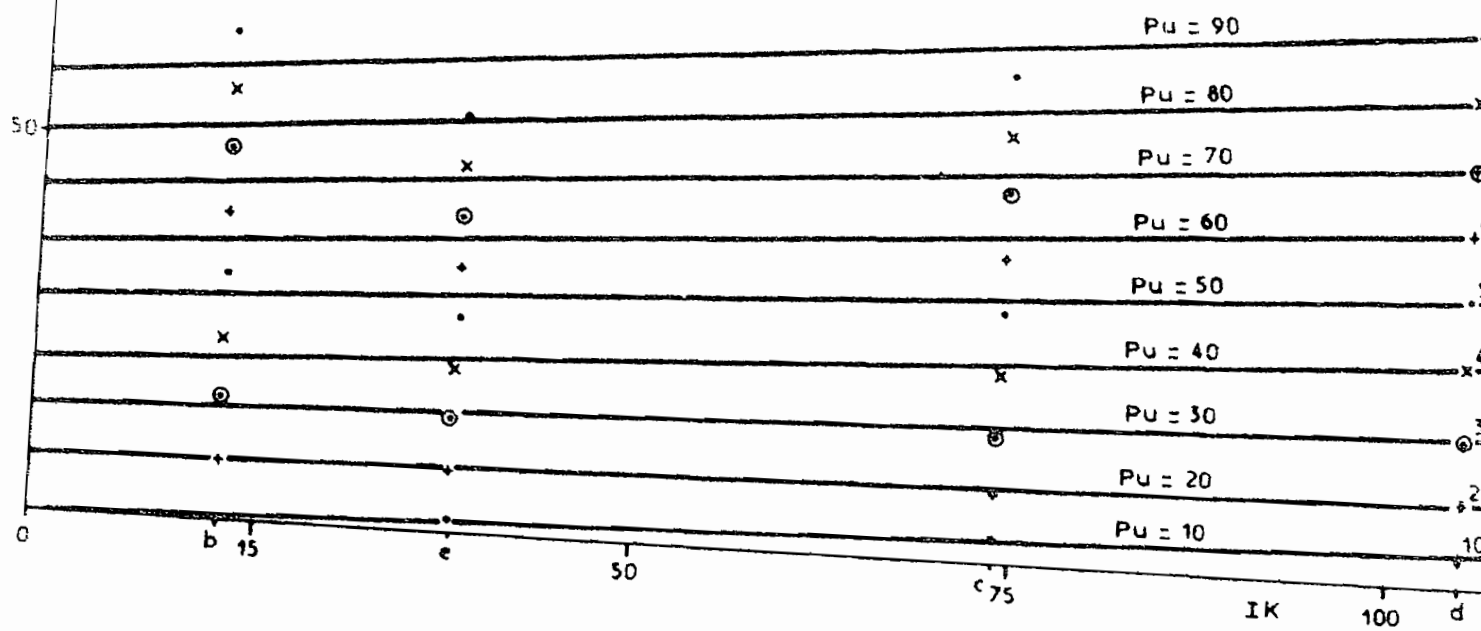
Parcelle 5 billons



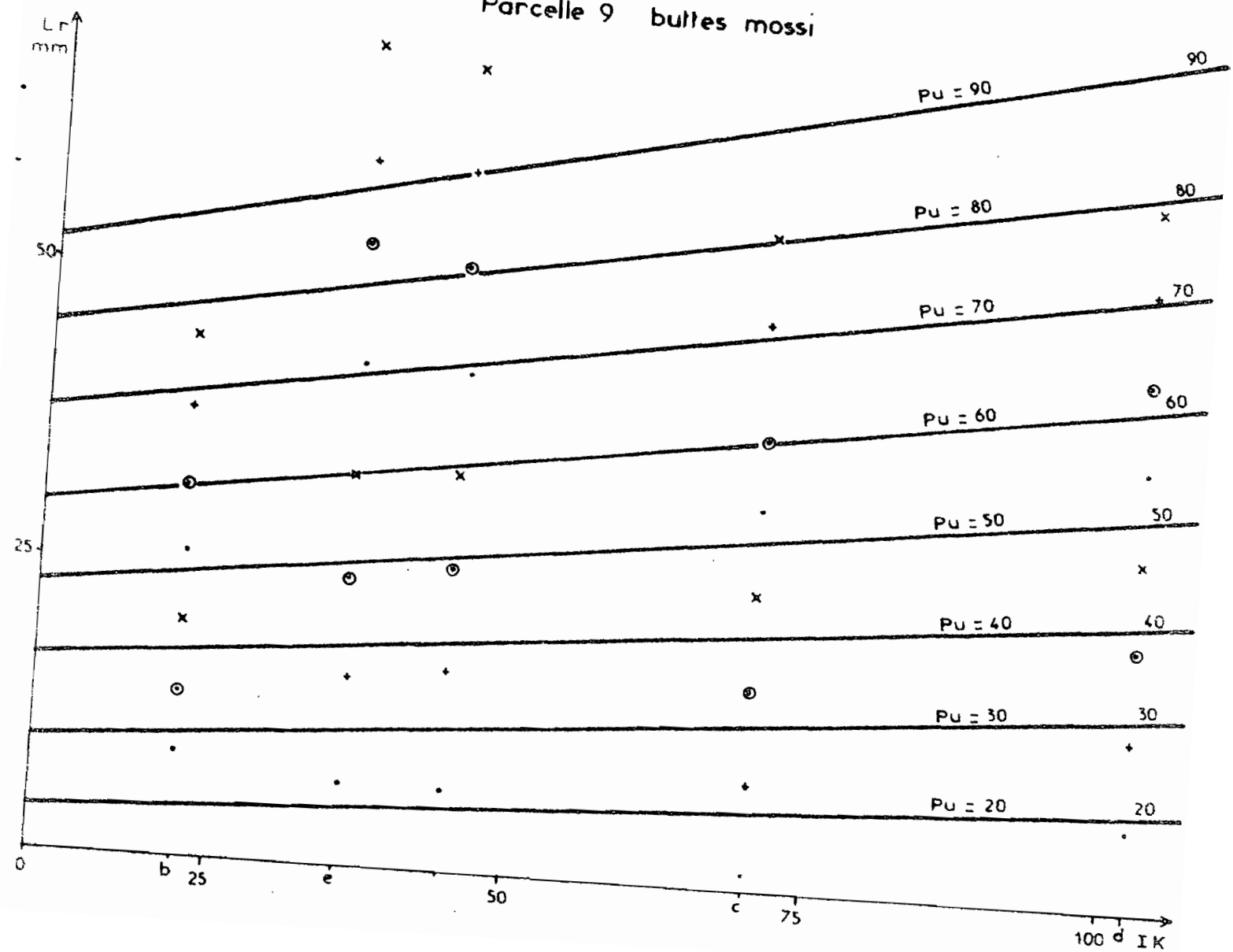
Parcelle 6 végétation naturelle



Parcelle 8 sol nu



Parcelle 9 buttes mossi



Pour chaque parcelle il existe une relation linéaire entre la lame ruisselée (Lr) et l'indice IK.

$$Lr = a IK + b \quad (1)$$

a et b varient en fonction de la pluie (PU). Nous avons étudié cette variation pour chacune des parcelles, elle est linéaire. Nous détaillons ici, les calculs pour la parcelle 1 en exemple.

Sur l'abaque de la parcelle 1 nous lisons graphiquement les valeurs de Lr pour IK = 50 et IK = 100 et en déduisons a et b -ce (1)

Tableau n° 15.

PU	Lr (IK 50)	Lr (IK 100)	a	b
10	3,0	4,1	0,022	1,9
20	10,0	13,0	0,06	7,0
30	17,8	22,0	0,084	13,6
40	25,3	30,5	0,104	20,1
50	32,5	38,0	0,110	27,0
60	39,7	46,0	0,126	33,4
70	47,1	53,8	0,134	40,4
80	54,5	62,5	0,160	46,5
90	61,5	70,3	0,176	52,7

Graphiquement on obtient les droites

$$a = f(PU) \text{ et } b = f(PU)$$

(graphique n° 12 et 13), telles que :

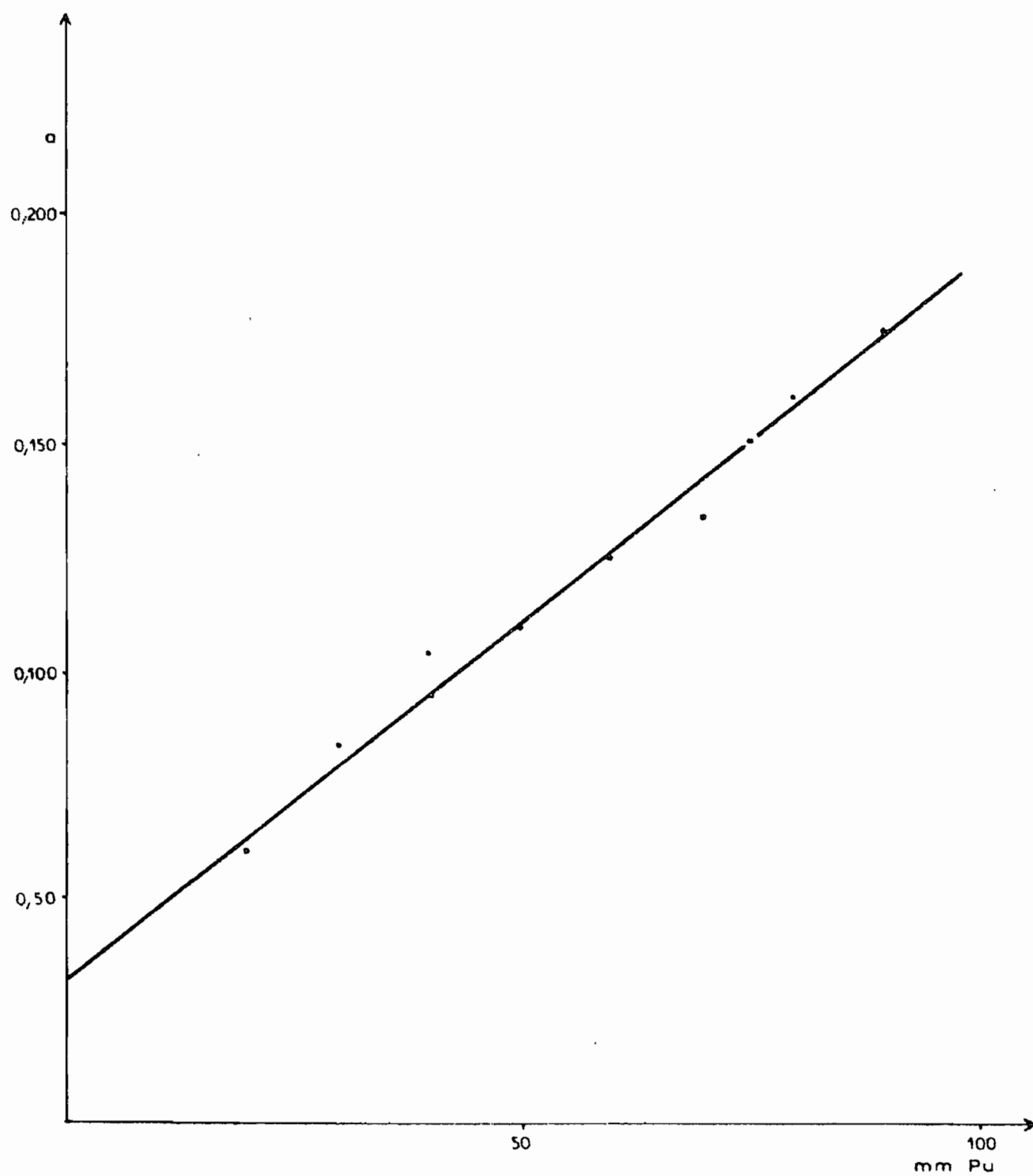
$$a = 0,0016 PU + 0,032$$

$$b = 0,654 PU - 5,9$$

P 1

 $\alpha = f(Pu)$

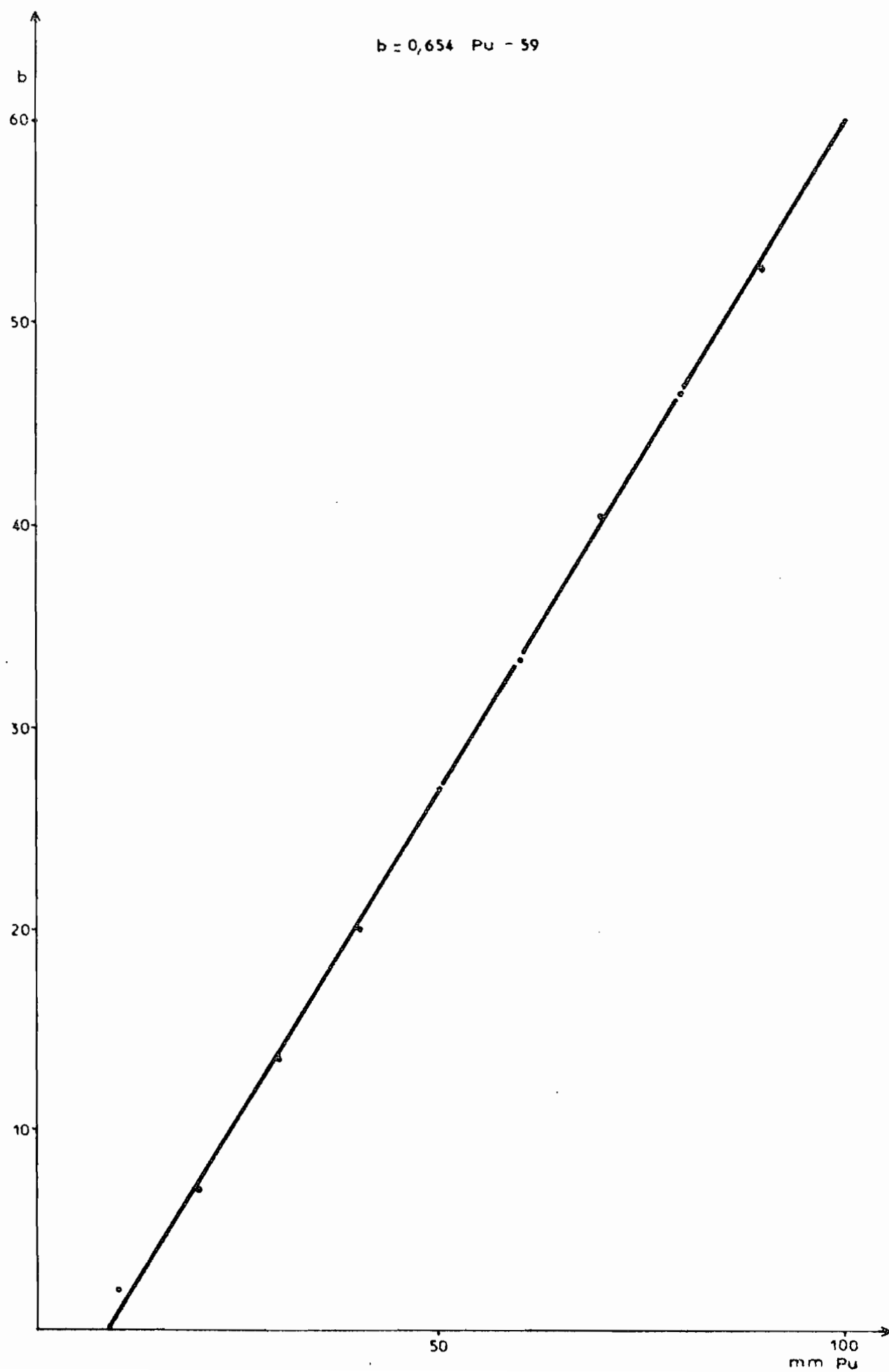
$$\alpha = 0,0016 \text{ Pu} + 0,032$$



P 1

$$b = f(Pu)$$

$$b = 0,654 \text{ Pu} - 59$$



En introduisant les valeurs de a et b dans l'équation (1) on obtient :

$$Lr = 0,0016 \text{ PU} \times IK + 0,032 \text{ IK} + 0,654 \text{ PU} - 5,9$$

Les équations obtenues pour chacune des parcelles sont les suivantes :

Parcelle 1, sol nu Site I

$$Lr = 0,0016 \text{ PU} \times IK + 0,032 \text{ IK} + 0,654 \text{ PU} - 5,9$$

Parcelle 2, végétation naturelle Site I

$$\text{PU} < 70 \text{ mm} \quad Lr = 0,002 \text{ PU} \times IK - 0,01 \text{ IK} + 0,276 \text{ PU} - 5,4$$

$$\text{PU} > 70 \text{ mm} \quad Lr = 0,003 \text{ PU} \times IK - 0,01 \text{ IK} + 0,276 \text{ PU} - 5,4$$

Parcelle 3, végétation naturelle site II

$$\text{PU} < 60 \text{ mm} \quad Lr = 0,006 \text{ PU} \times IK - 0,07 \text{ IK} + 0,068 \text{ PU} - 2,78$$

$$\text{PU} > 60 \text{ mm} \quad Lr = 0,006 \text{ PU} \times IK + 0,07 \text{ IK} + 0,128 \text{ PU} - 6,41$$

Parcelle 4, sol nu site II

$$\text{PU} < 40 \text{ mm} \quad Lr = 0,002 \text{ PU} \times IK + 0,037 \text{ IK} + 0,847 \text{ PU} - 11,2$$

$$\text{PU} > 40 \text{ mm} \quad Lr = 0,0007 \text{ PU} \times IK + 0,092 \text{ IK} + 0,847 \text{ PU} - 11,2$$

Parcelle 5, Billons site II

$$\text{PU} < 40 \text{ mm} \quad Lr = 0,004 \text{ PU} \times IK - 0,06 \text{ IK} + 0,157 \text{ PU} - 2,89$$

$$\text{PU} > 40 \text{ mm} \quad Lr = 0,0006 \text{ PU} \times IK + 0,07 \text{ IK} + 0,632 \text{ PU} - 21,88$$

Parcelle 7, végétation naturelle site III

$$Lr = 0,003 \text{ PU} \times IK + 0,027 \text{ IK} + 0,338 \text{ PU} - 11,35$$

Parcelle 8, Sol nu site III

$$\text{PU} < 40 \text{ mm} \quad Lr = 0,0026 \text{ PU} \times IK - 0,02 \text{ IK} + 0,703 \text{ PU} - 7,5$$

$$\text{PU} > 40 \text{ mm} \quad Lr = 0,0014 \text{ PU} \times IK + 0,03 \text{ IK} + 0,703 \text{ PU} - 7,5$$

Parcelle 9, Buttes mossi site III

$$\text{PU} < 50 \text{ mm} \quad Lr = 0,002 \text{ PU} \times IK + 0,007 \text{ IK} + 0,614 \text{ PU} - 9,20$$

$$\text{PU} > 50 \text{ mm} \quad Lr = 0,002 \text{ PU} \times IK + 0,007 \text{ IK} + 0,705 \text{ PU} - 13,76$$

Pour vérifier la validité de ces équations, nous avons reconstitué par le calcul toutes les lames ruisselées des pluies simulées. Nous avons reporté sur papier millimétré les lames ruisselées mesurées, en fonction de lames ruisselées calculées (fig. 14). La dispersion des points autour de la première bissectrice nous donne une idée de la précision des équations et englobe toutes les approximations que nous avons faites.

Tableau n° 16.

Pluie	PU	IK	Lrc	Lro	Δ lr	Parcelle
b	47,5	22,7	27,6	21,9	5,7	P 1 Site I Sol nu
c	62,3	57,9	42,5	49,6	- 7,0	
d	55,8	92,0	41,7	43,9	- 2,2	
e	60,0	34,8	37,8	38,8	- 1,0	
f	93,8	43,2	63,3	64,9	- 1,0	
g	92,4	0	54,5	65,6	-11,1	
b	61,6	35,6	15,6	15,0	0,6	P 2 Site I Végétation- naturelle
c	57,4	70,0	17,7	17,8	- 0,1	
d	57,4	97,8	20,7	17,1	3,6	
e	60,0	36,5	15,2	14,2	1,0	
f	100,5	45,1	31,4	45,6	-10,2	
g	94,1	0	20,6	19,5	1,1	
b	45,0	22,5	4,8	3,6	1,2	P 3 Site II Végétation- naturelle
c	60,0	55,6	17,4	14,1	3,3	
d	60,0	89,2	27,2	23,3	3,9	
e	60,0	35,0	11,5	11,9	- 0,4	
f	96,3	44,3	34,4	44,3	- 9,9	
g	96,0	0	5,9	4,9	1,0	
b	60,0	22,4	42,6	45,7	- 3,1	P 4 Site II Sol nu.
c	30,0	68,2	20,8	22,9	- 2,1	
d	60,0	74,2	49,6	50,4	- 0,8	
e	60,0	30,3	43,7	34,9	8,8	
f	95,6	42,5	76,5	66,7	9,8	
g	95,5	0	69,7	70,4	- 0,7	
b	60,0	22,3	18,4	17,9	0,8	P 5 Site II
c	60,0	68,4	23,3	25,0	1,7	
d	60,0	99,2	26,6	23,5	3,1	
e	61,2	35,2	20,6	13,8	6,8	
f	96,9	44,5	45,1	54,2	- 9,1	
g	95,1	0	38,2	39,4	- 1,2	

* préciser avant le tableau la signification des sigles Lrm, Lrc, lr

Tableau n° 16. (suite)

78

Pluie	PU	IK	Lrc	Lro	Δ lr	Parcelle
b	56,6	22,4	12,2	-	-	P 7 Site III végétation-naturelle
c	56,7	65,5	20,7	19,2	1,5	
d	56,6	94,2	26,3	26,0	0,3	
e	60,5	35,2	16,4	16,5	- 0,1	
f	90,3	44,8	43,4	45,9	- 2,5	
b	64,0	22,5	40,2	43,6	- 3,4	P 8 Site III Sol nu
c	63,9	71,1	45,9	45,1	0,8	
d	63,9	104,9	50,0	50,2	- 0,2	
e	62,5	38,1	40,9	36,7	4,2	
b	62,2	22,3	33,0	26,2	6,8	P 9 Site III Buttes Mossi
c	62,2	70,2	39,3	32,8	6,5	
d	62,2	102,2	43,5	38,9	4,6	
e	61,3	36,0	34,1	43,7	- 9,6	
f	94,6	44,7	61,7	73,0	-11,3	

* en considérant les écarts Δ lr comme une variable aléatoire simple nous obtenons les résultats suivants.:

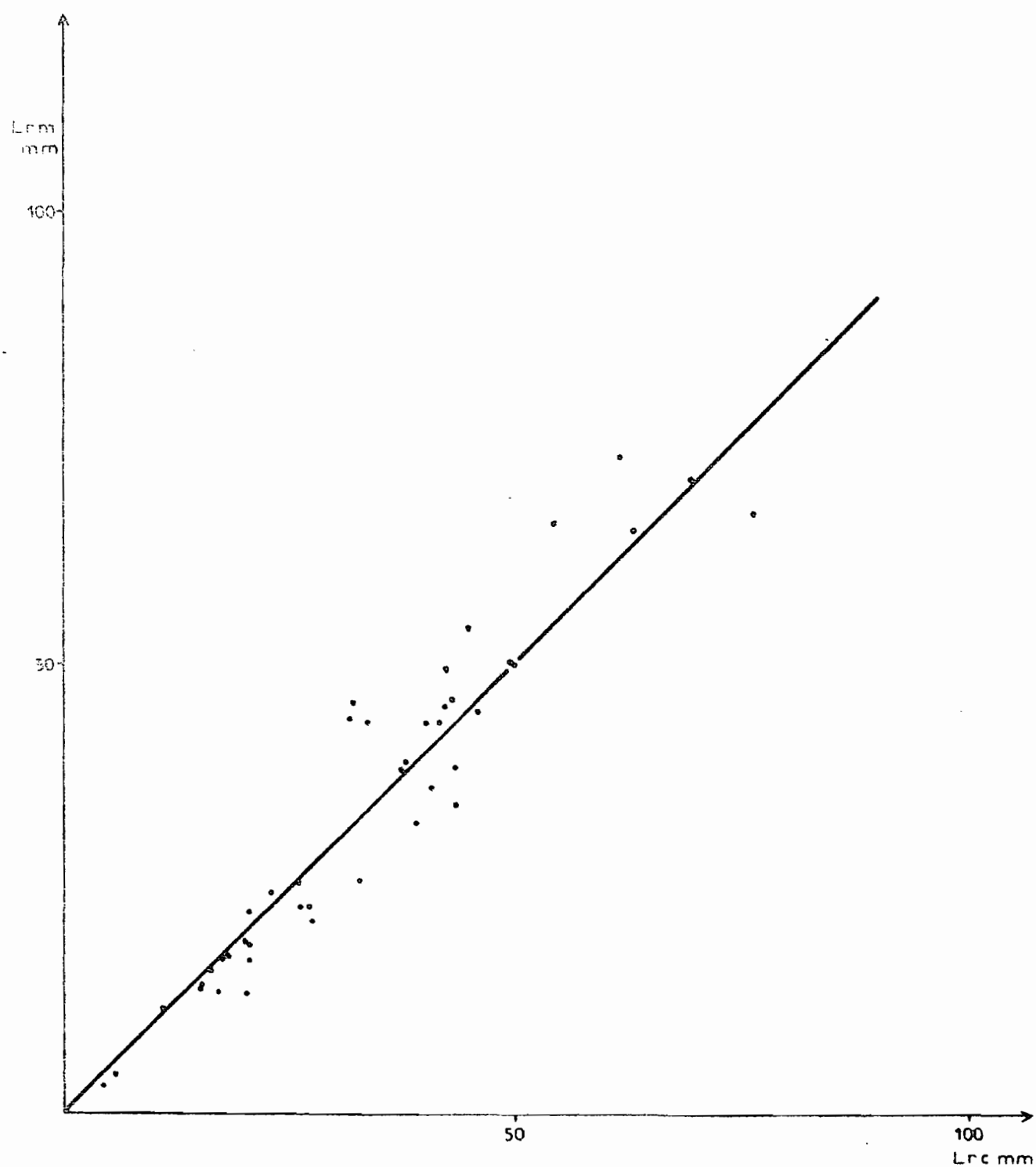
somme des Δ lr = 13,9

moyenne des Δ lr $\bar{m}$ = 0,3 pour 43 valeurs.

écart type s = 5,2

Variance v = 26,8

LAMES RUISSELEES MESUREES EN FONCTION
DES LAMES RUISSELEES RECONSTITUEES



5) Phase de vidange.

Les parcelles étant de faibles dimensions, les vidanges ne mettent en jeu que des lames d'eau faibles, ne dépassant jamais 3 mm et n'intervenant guère dans le bilan.

Lafforgue démontre (cahier CRSTCM Ser. Hydrologie Vol XIV n° 4 1977) l'intérêt d'étudier cette phase en mettant en évidence une relation entre la détention superficielle récupérable D_r (facilement mesurable) et deux paramètres servant à caractériser la parcelle expérimentale : A qui dépend des caractéristiques physiques de la parcelle (pente, longueur, rugosité) et w qui représente la proportion de superficie moyenne ruissellante de la parcelle. Il est donc intéressant de connaître ces paramètres surtout lorsque l'on voudra comparer plusieurs bassins entre eux. Sans reprendre la théorie exposée par Lafforgue nous avons essayé de calculer ces paramètres pour chacune des parcelles testées. Dans un premier temps Lafforgue met en évidence une relation de proportionnalité entre la détention D_r et l'intensité de ruissellement maximale à l'arrêt de la pluie R_x , en introduisant un coefficient de proportionnalité T_d qui a la dimension d'un temps et caractérise la parcelle. C'est ce que nous avons essayé de faire en traçant les graphiques n° 15. Nous observons que la dispersion des points est importante et consignons cependant les valeurs de T_d (pente de la droite moyenne tracée entre les points) dans le tableau n° 17. La relation entre la détention D_r et les paramètres A , w met en jeu l'intensité maximale de ruissellement R_x et l'intensité minimale d'infiltration F_n .

$$D_r = A (\sqrt{R_x} - \sqrt{w F_n}) \operatorname{Arctg} \sqrt{\frac{R_x}{w F_n}} \quad (1)$$

Lafforgue donne une méthode graphique de calcul de A que nous utilisons ici; w se trouve par iteration en résolvant l'équation (1) pour toutes les pluies sur une même parcelle.

Nous n'avons pas assez de points pour réellement faire une étude des variations du coefficient A , nous pouvons néanmoins remarquer que A est fort pour les parcelles avec végétation naturelle et les parcelles cultivées, plus fort en moyenne pour le site II que pour les deux autres donc A serait croissant avec la rugosité de la surface.

A peut être qualifié de coefficient représentant la résistance au ruissellement de la parcelle.

Tableau n° 17.

82

Parcelle	pluie	Dr	Rx	Fn	Td	$\frac{A}{(mm/h)} \frac{1}{2}$
1 Sol nu	a	-				
	b	0,4	27,6	32,4		
	c	-				
	d	0,5	53,4	6,6	0,020	0,08
	e	0,8	39,6	20,4		
	f	2,1	33,6	19,0		
	g	1,1	36,0	14,0		
2 Végétation naturelle	a					
	b	0,3	19,2	42,4		
	c	0,3	19,2	40,8		
	d	0,2	19,2	38,2	0,015	0,10
	e	0,2	12,0	48,0		
	f	0,6	24,0	27,6		
	g	0,2	15,4	34,4		
3 Végétation naturelle	a					
	b	0,1	11,4	48,6		
	c	0,1	12,0	48,0	0,019	0,15
	d	0,6	36,0	24,0		
	e	0,4	20,4	39,5		
	f	0,4	24,0	26,0		
	g	0	0			
4 Sol nu	a	0,6	27,6	32,4		
	b	0,6	50,4	9,6		
	c	1,0	55,4	4,8	0,023	0,12
	d	1,2	52,8	7,2		
	e	1,8	42,0	18,0		
	f	-	-			
	g	1,0	40,8	9,2		
	a					
	b	0,7	33,6	26,4		
	c	0,5	40,8	19,2	0,024	0,31
	d	0,5	36,0	24,0		
	e	0,7	28,8	33,6		
	f	1,4	36,0	14,4		
	g	0,8	25,8	24,2		

Parcelle	pluie	Dr	Rx	Fn	Td	A (mm/h) $\frac{1}{2}$
6	(a)	0,7	36,0	24,0	0,04	0,28
	b	1,7	48,0	12,0		
	c	2,3	50,2	9,8		
	d	2,1	55,8	4,8		
	tr. standard	-				
	f	2,0	40,8	9,2		
	g	1,8	45,6	3,4		
7	a	0			0,017	0,12
	b	0				
	végétation	0,4	21,6	36,4		
	naturelle	0,4	26,4	31,6		
	e	0,3	22,0	38,0		
	f	0,5	31,0	19,0		
8	a	0,2	28,8	38,2	(0,021)	Points trop dispersés
	b	1,1	45,6	21,4		
	c	1,5	50,0	17,0		
	Sol nu	0,9	55,0	12,0		
	e	0,3	38,0	24,0		
	f					
9	a	0,8	34,0	29,0	0,014	0,17
	b	0,2	26,0	39,0		
	c	0,3	46,0	19,0		
	Buttes mossi	0,5	43,2	21,8		
	e	0,6	52,8	10,2		
	f	1,0	43,8	6,2		
10	a	0,4	15,6	44,4	0,032	0,09
	b	0,9	48,0	12,0		
	c	1,2	50,0	9,6		
	Tr. standard	2,3	45,6	14,4		
	e	1,2	46,8	13,2		
	f	1,5	41,0	9,0		

Dr : détention superficielle récupérable

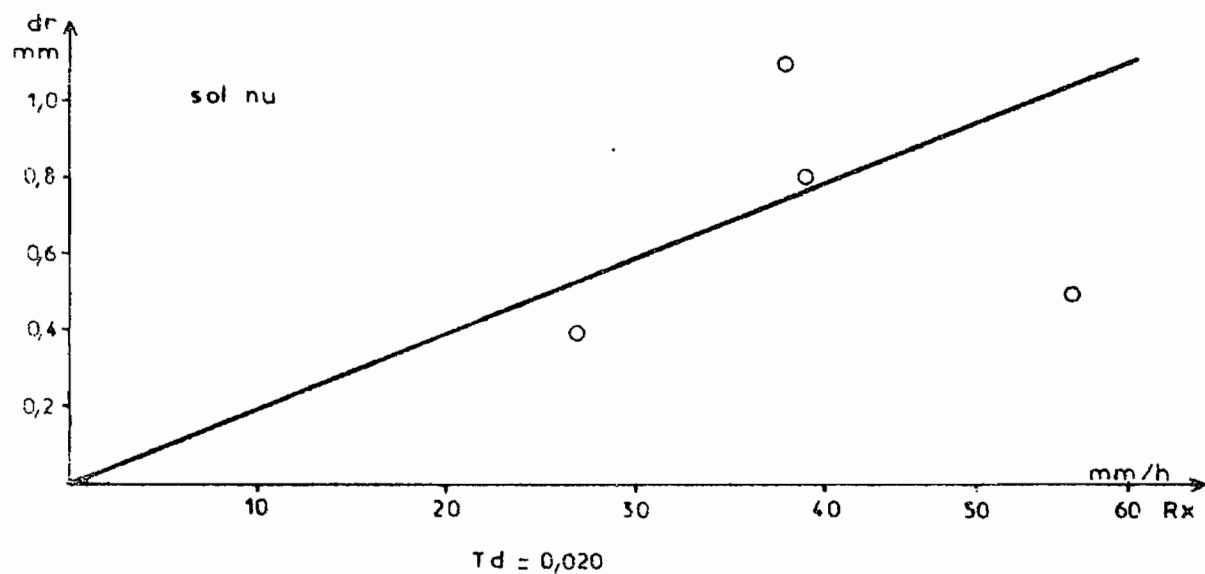
Rx : Intensité de ruissellement maximale

Fn : Intensité d'infiltration maximale

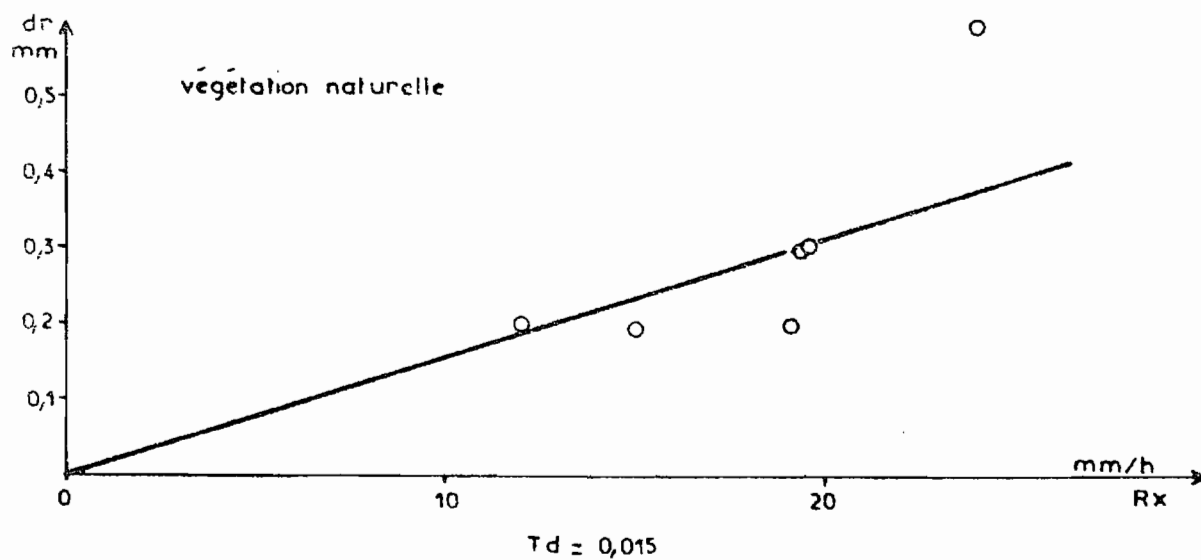
Td : Coefficient de proportionnalité entre Dr et Rx

A : Coefficient de résistance au ruissellement.

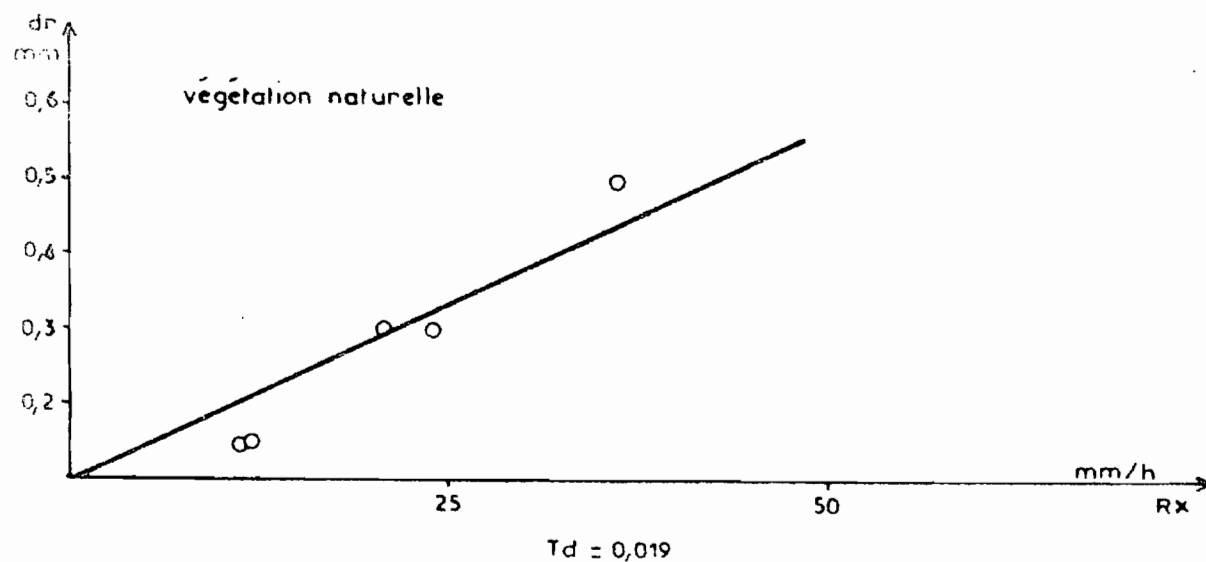
Parcelle 1



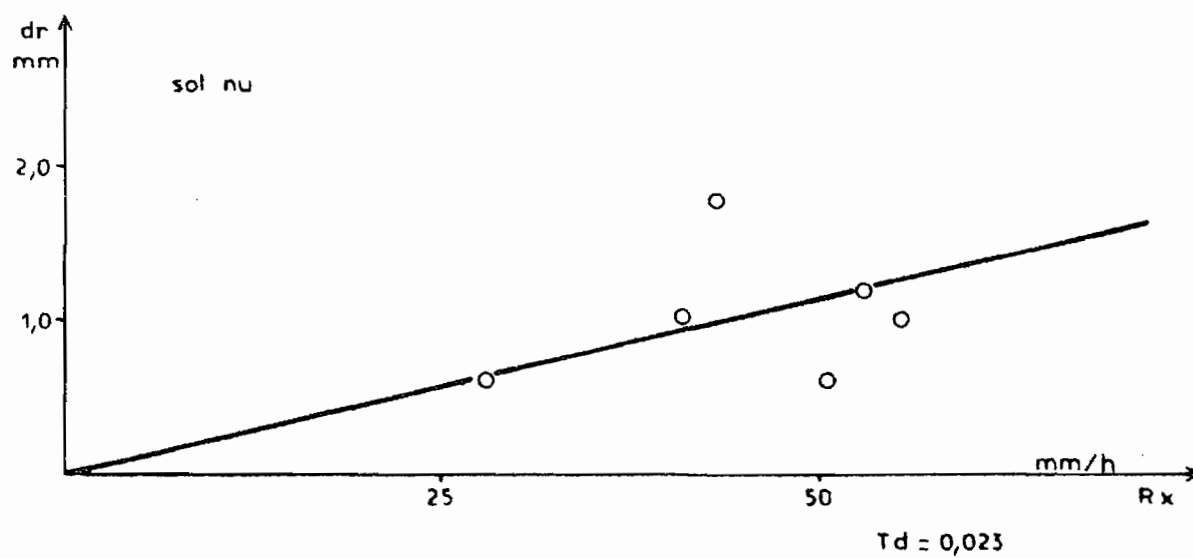
Parcelle 2



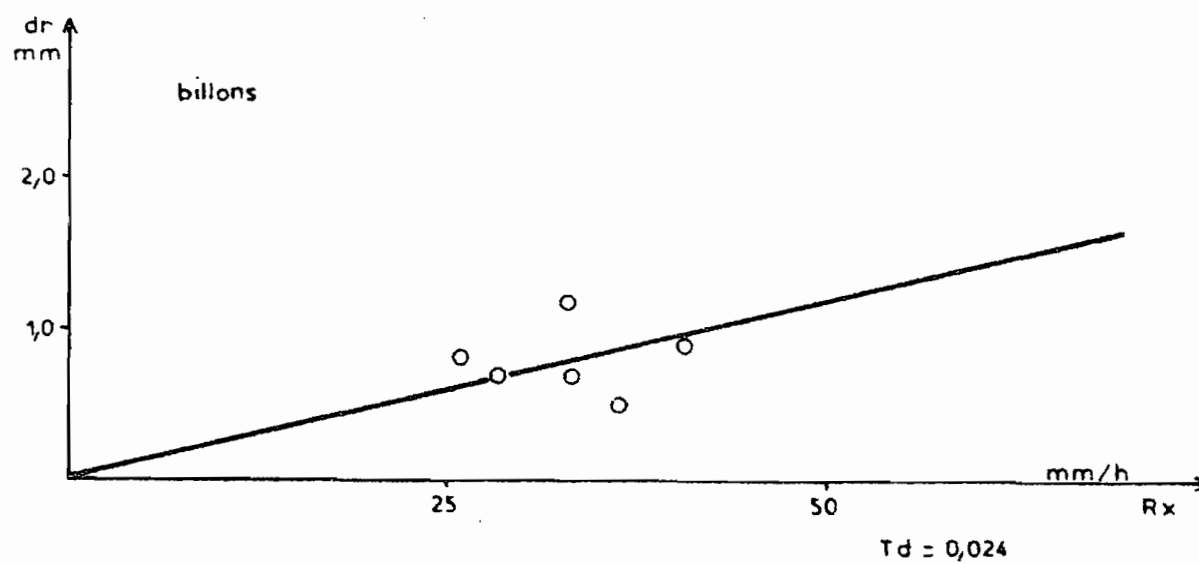
Parcelle 3



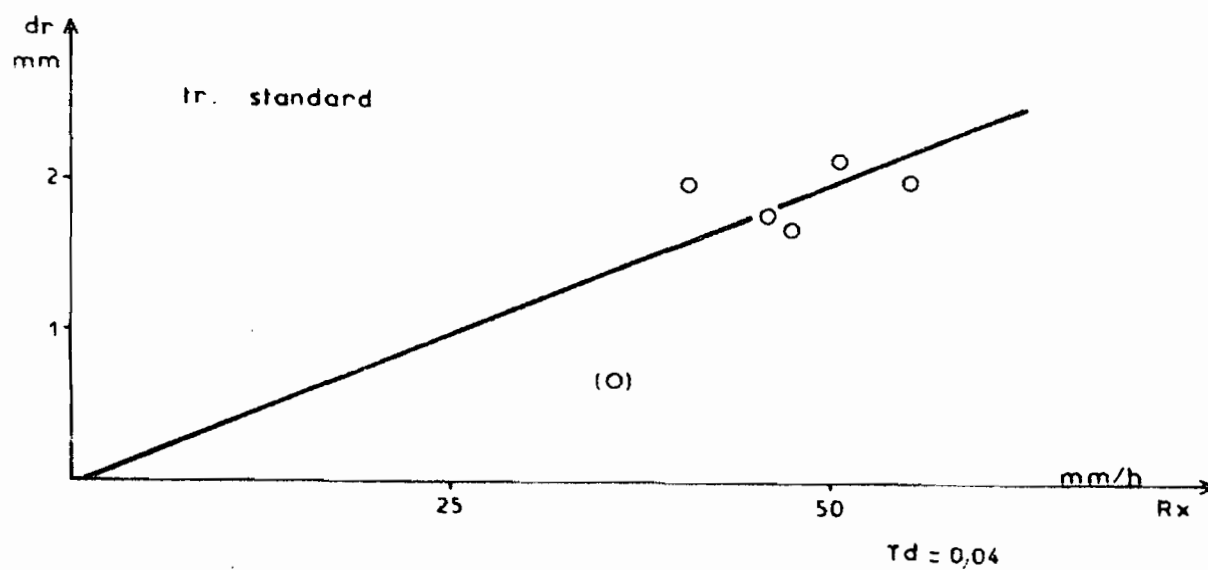
Parcelle 4



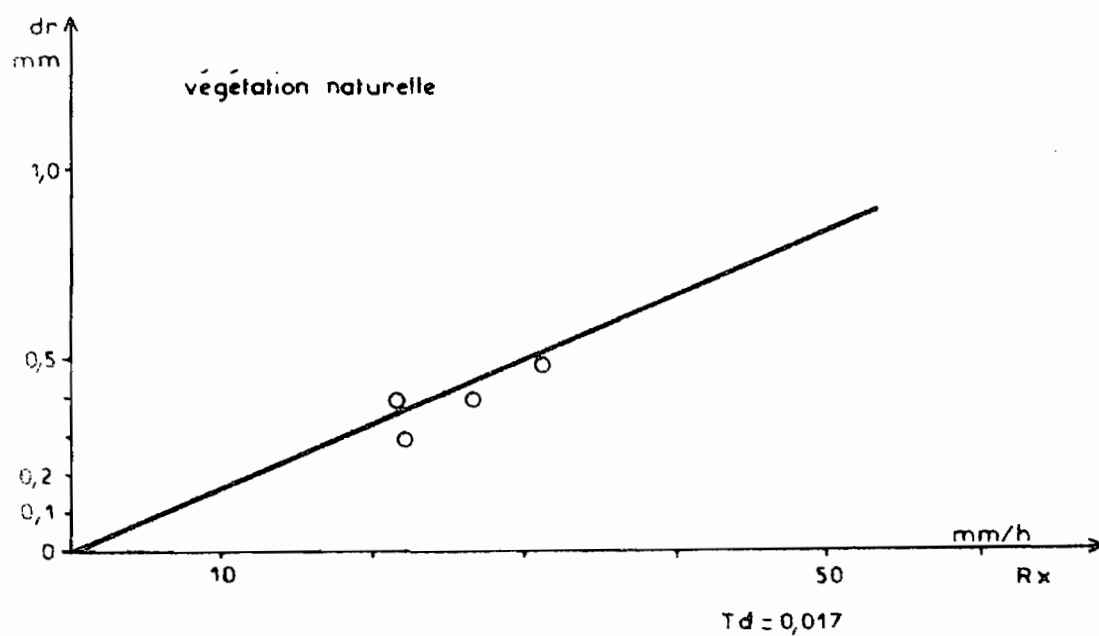
Parcelle 5



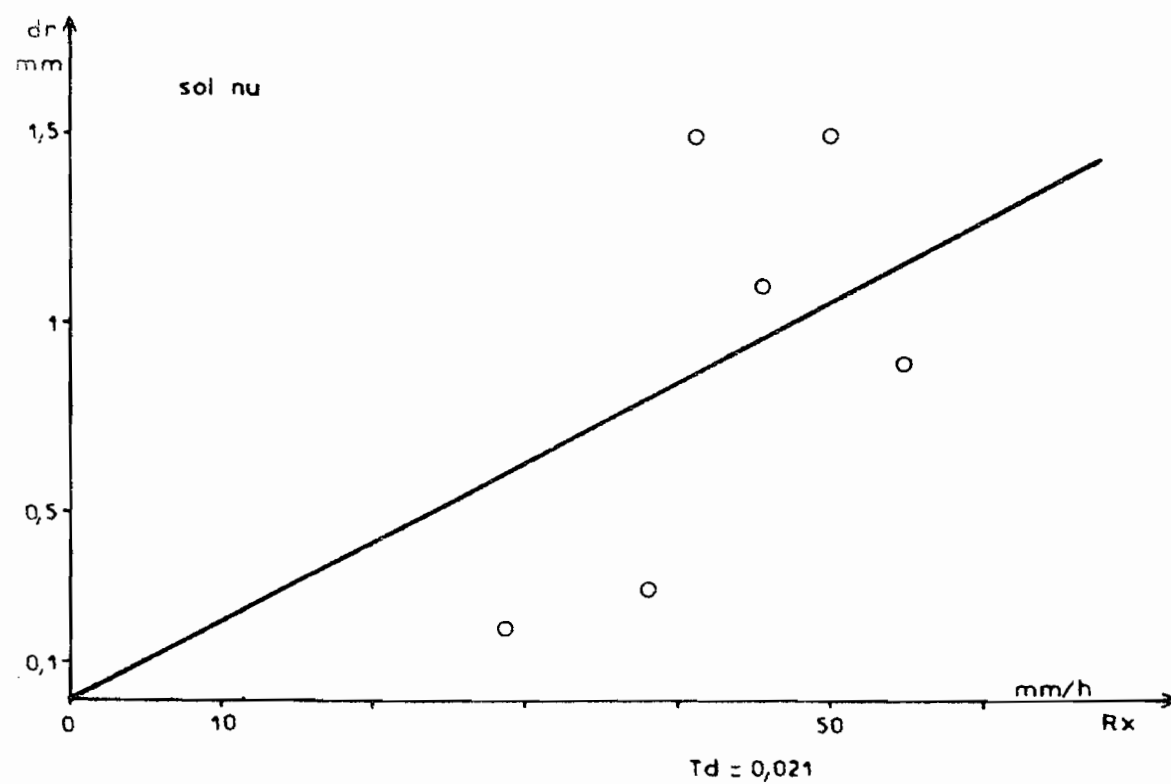
Parcelle 6



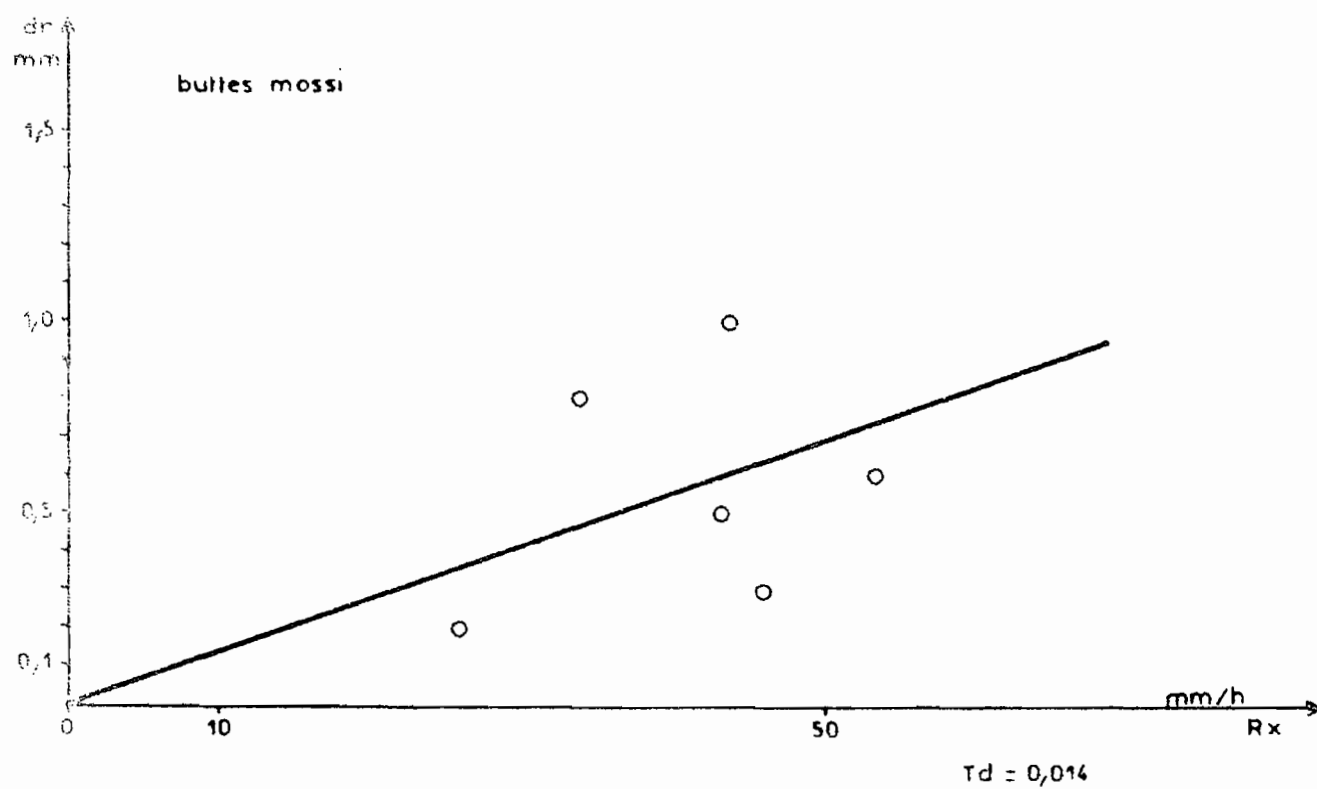
Parcelle 7



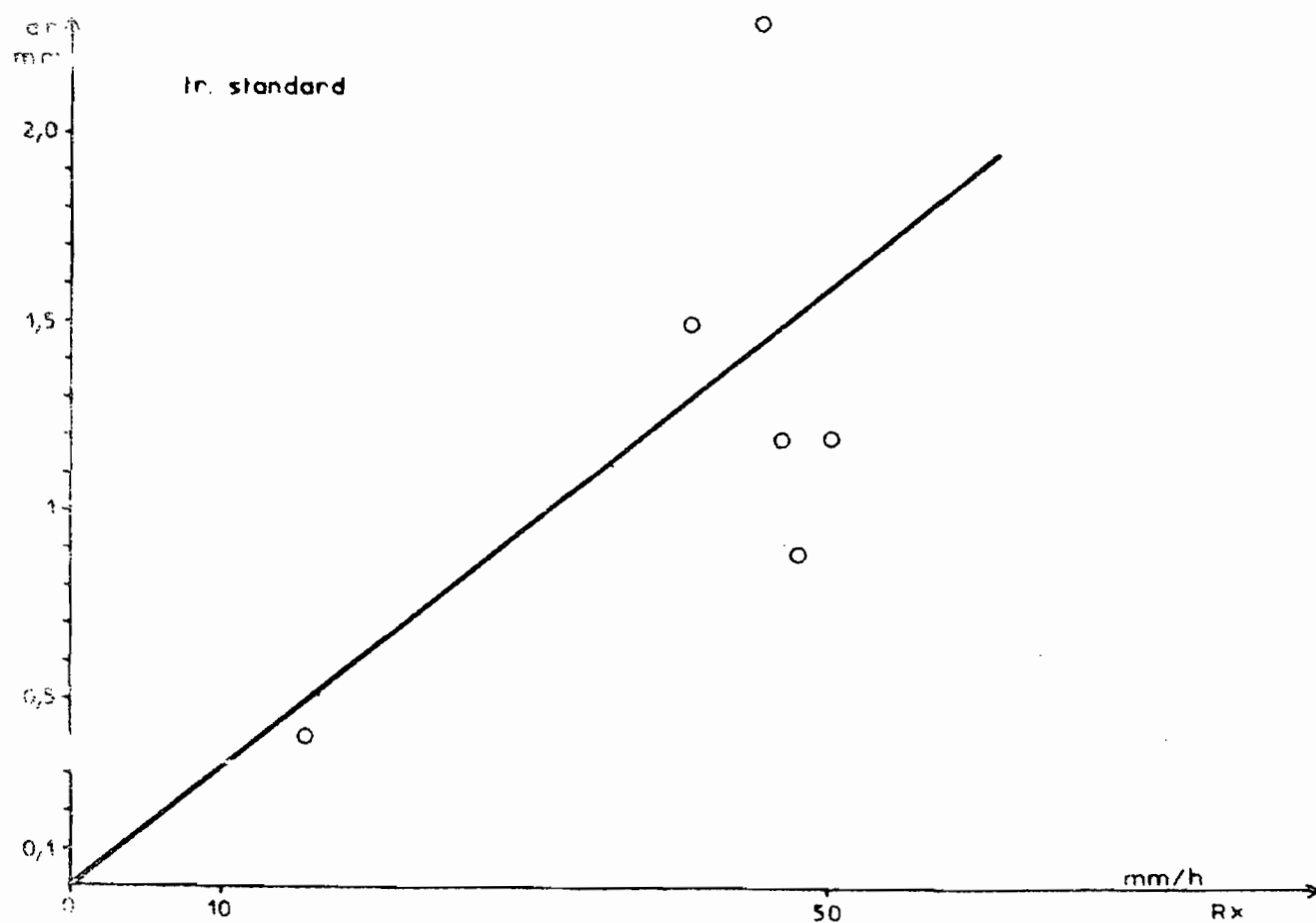
Parcelle 8



Parcelle 9



Parcelle 10



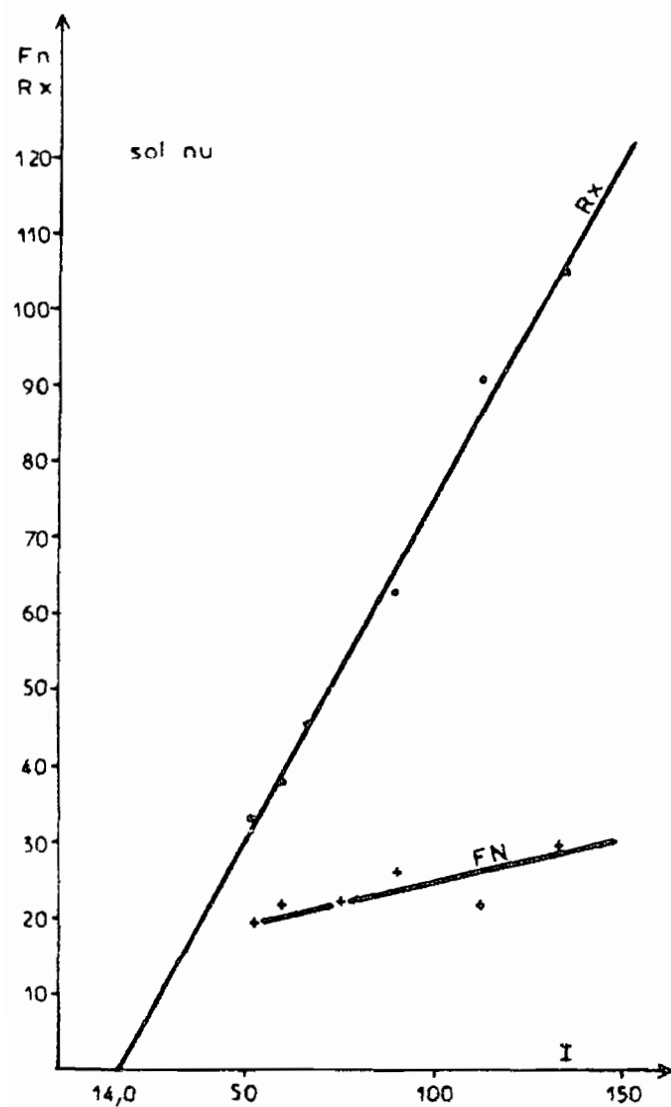
6) Intensités de ruissellement (R_x) et intensités d'infiltration (F_n)

Lorsque le régime permanent est obtenu l'intensité de ruissellement $R(t)$ prend une valeur maximale R_x tandis que l'intensité d'infiltration $F(t)$ prend une valeur minimale F_n . Si l'on examine l'ensemble des valeurs de R_x (ou de F_n) mesurées sur nos différentes parcelles on constate qu'elles sont influencées par les trois facteurs suivants :

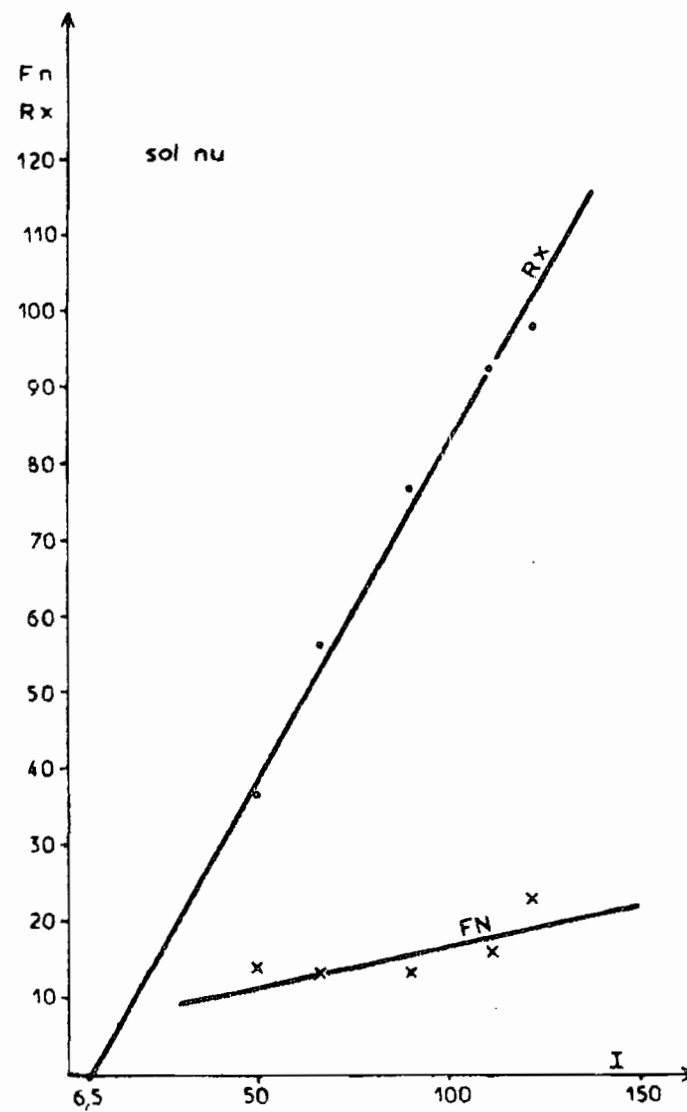
- Intensité de la pluie
- Etat d'humectation initial
- Nature du sol et état de surface (végétation, mode cultural). On peut supposer que la pente a également une influence.

Sur les figures n° 16 nous avons reporté en fonction de l'intensité de la pluie pour les âverses f et g les valeurs de R_x et de F_n observées. Nous avons choisi les pluies f et g parce qu'elles possèdent une gamme d'intensité bien répartie.

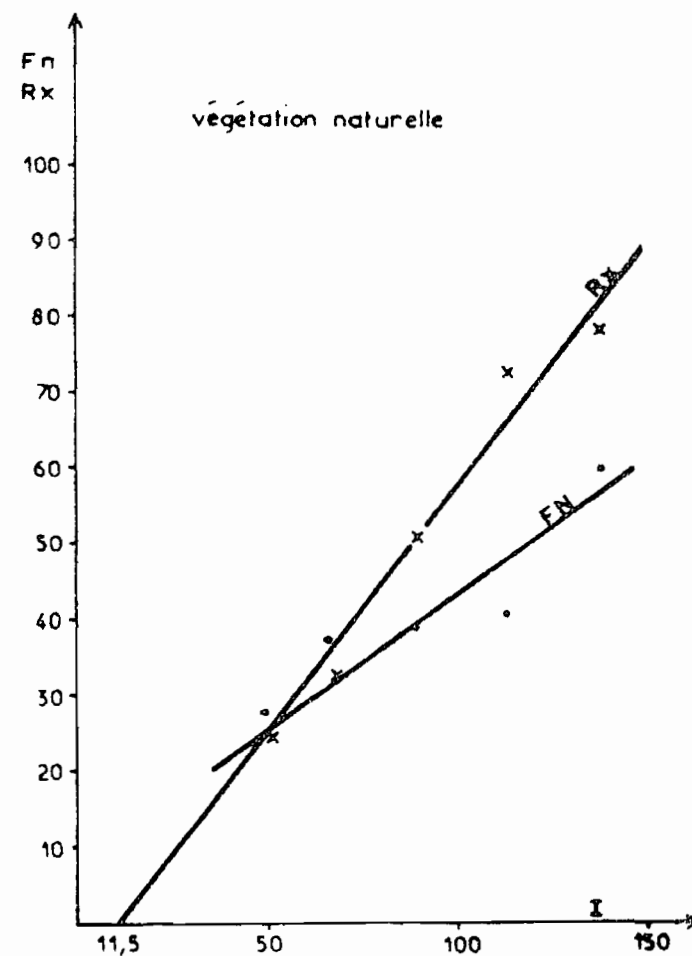
Parcelle 1 Pluie f



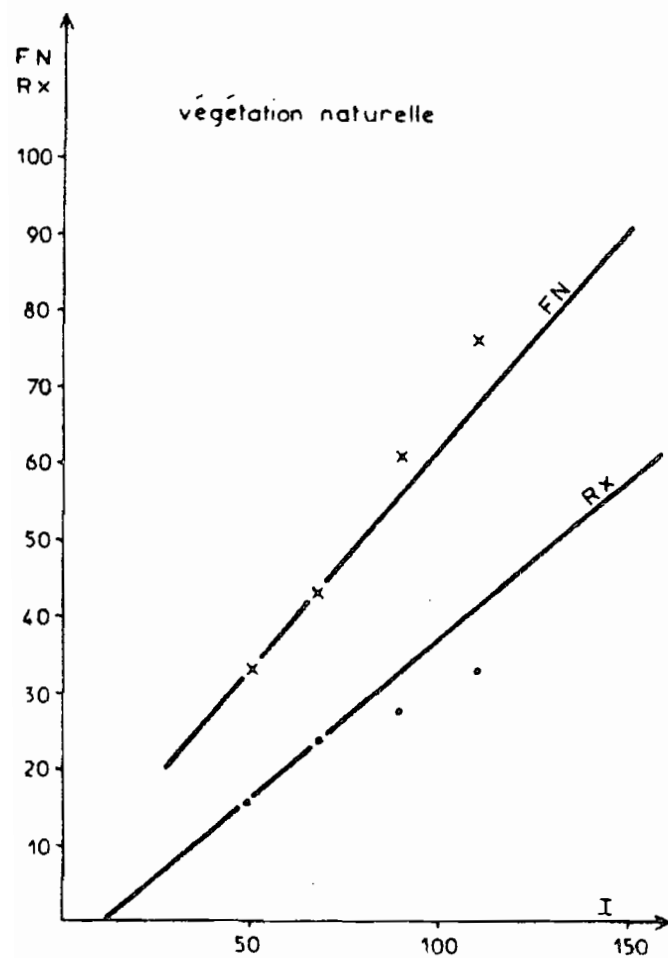
Parcelle 1 Pluie g



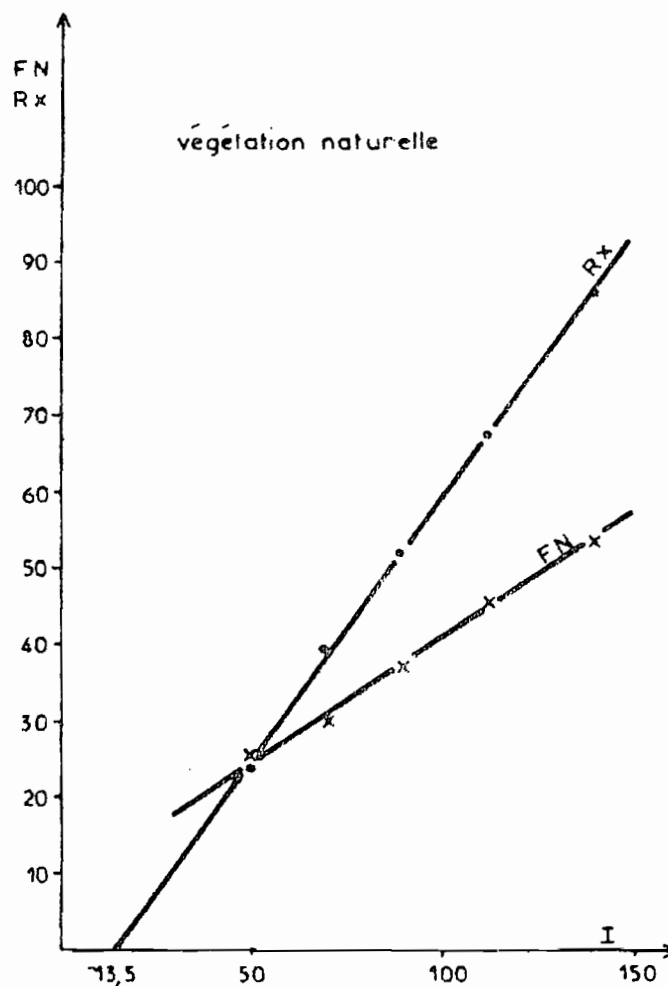
Parcelle 2 Pluie f



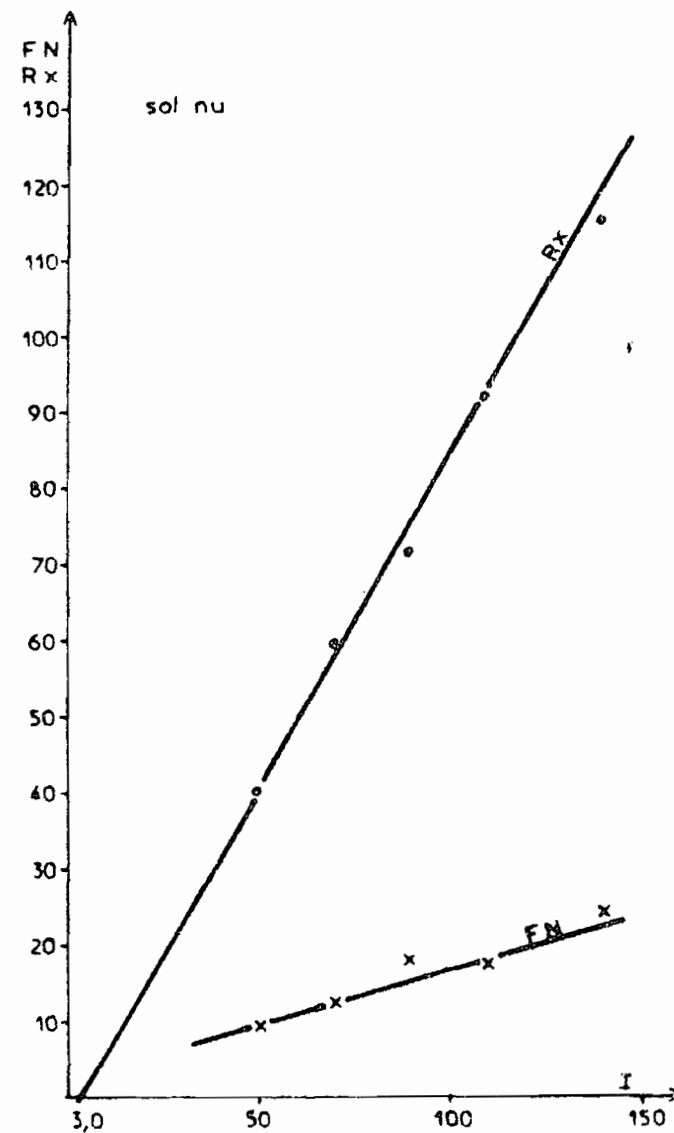
Parcelle 2 Pluie g



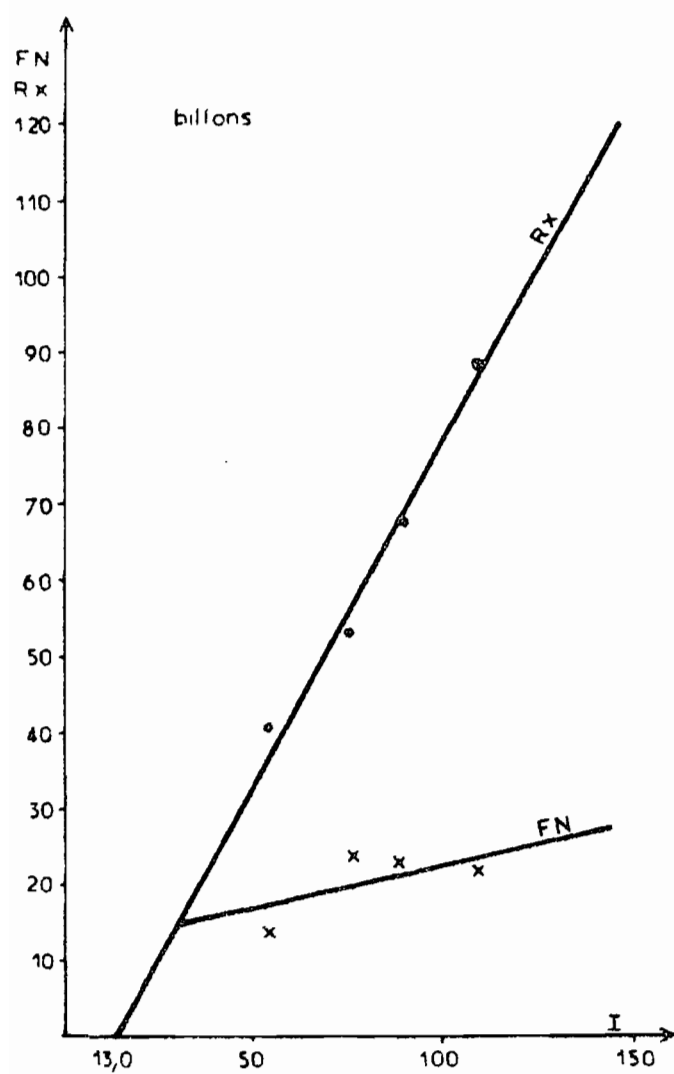
Parcelle 3 Pluie f



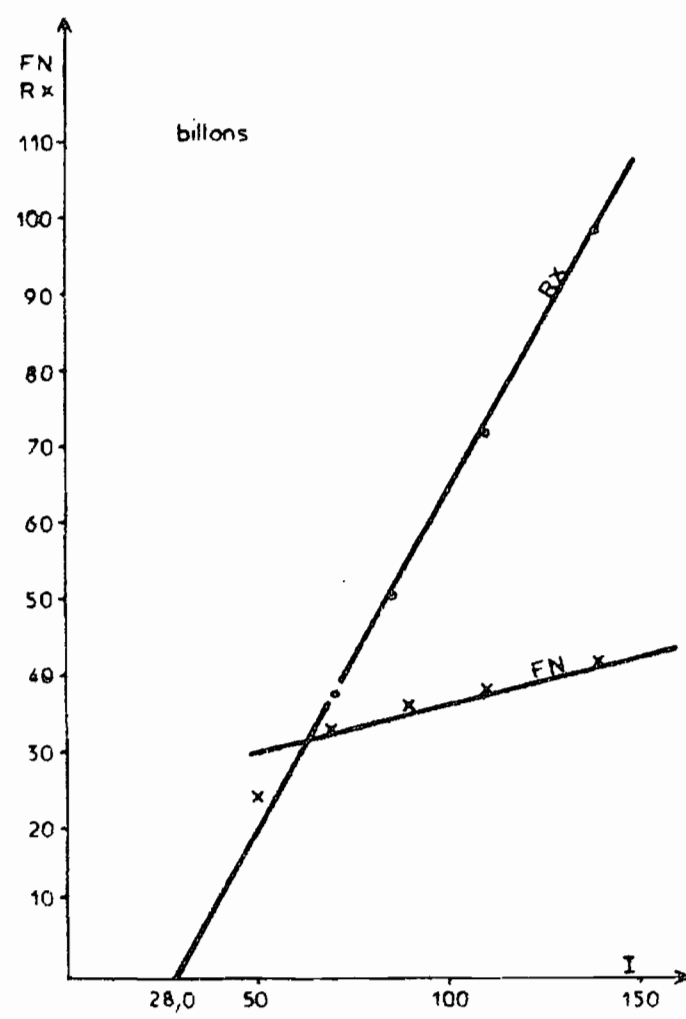
Parcelle 4 Pluie g



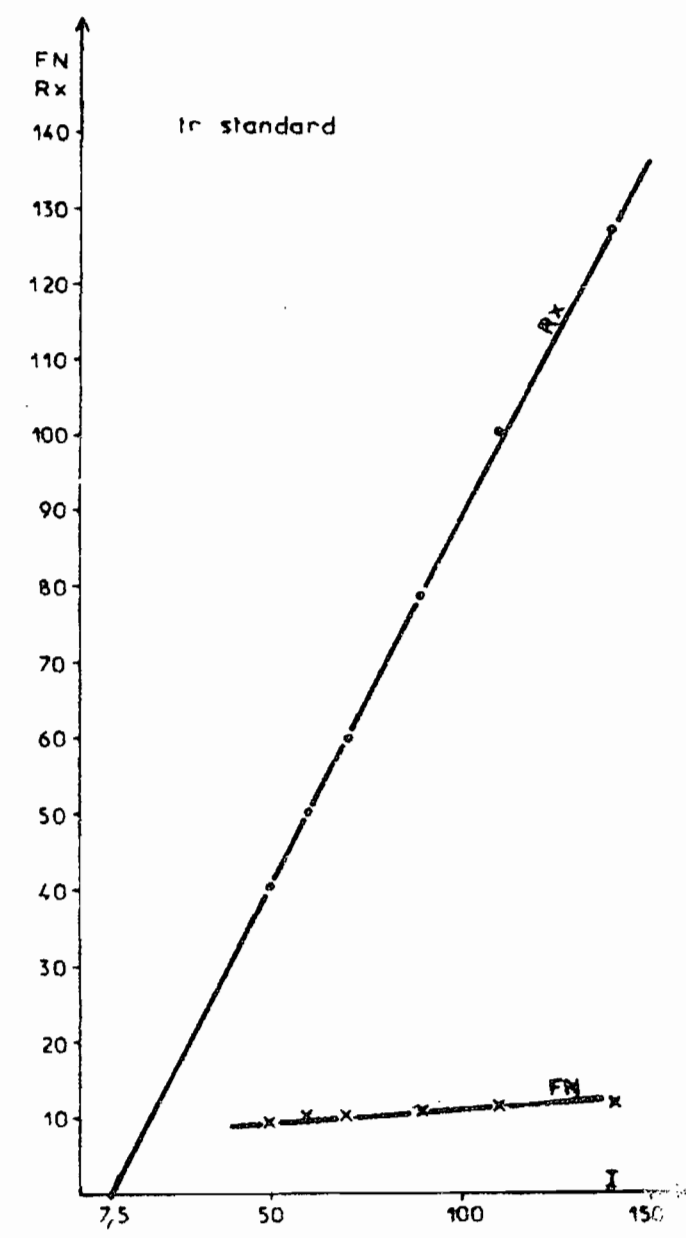
Parcelle 5 Pluie f



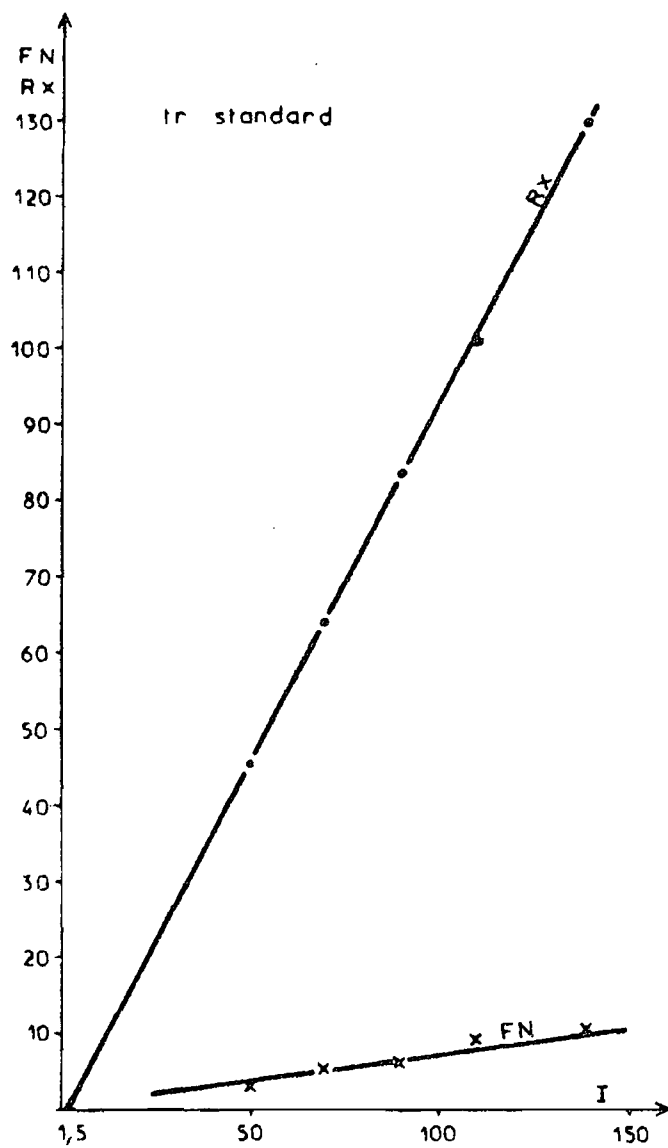
Parcelle 5 Pluie g



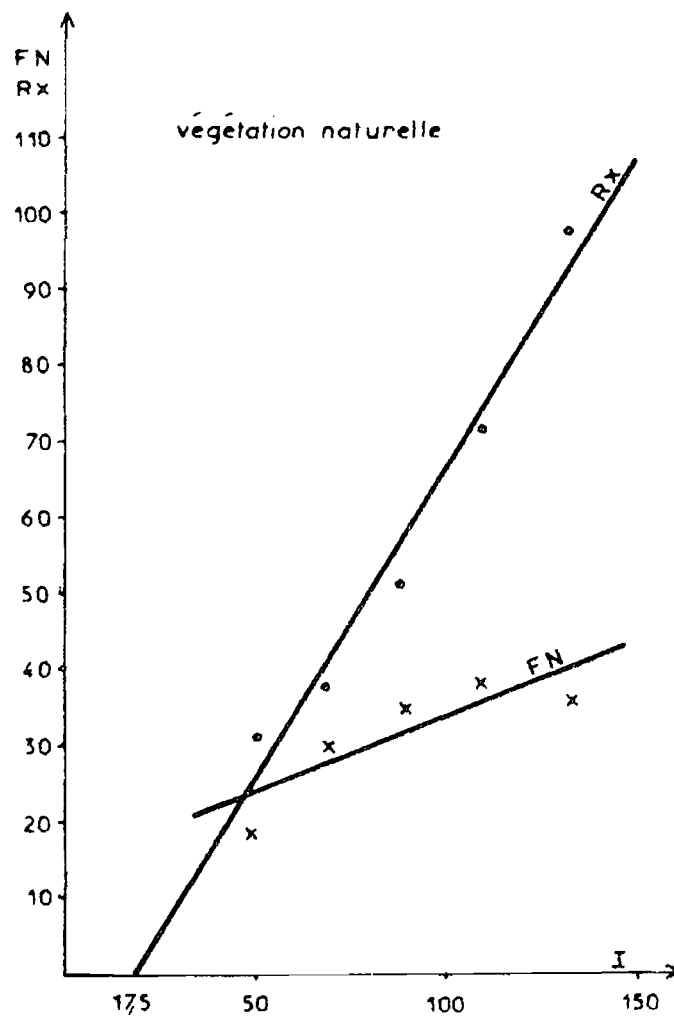
Parcelle 6 Pluie f



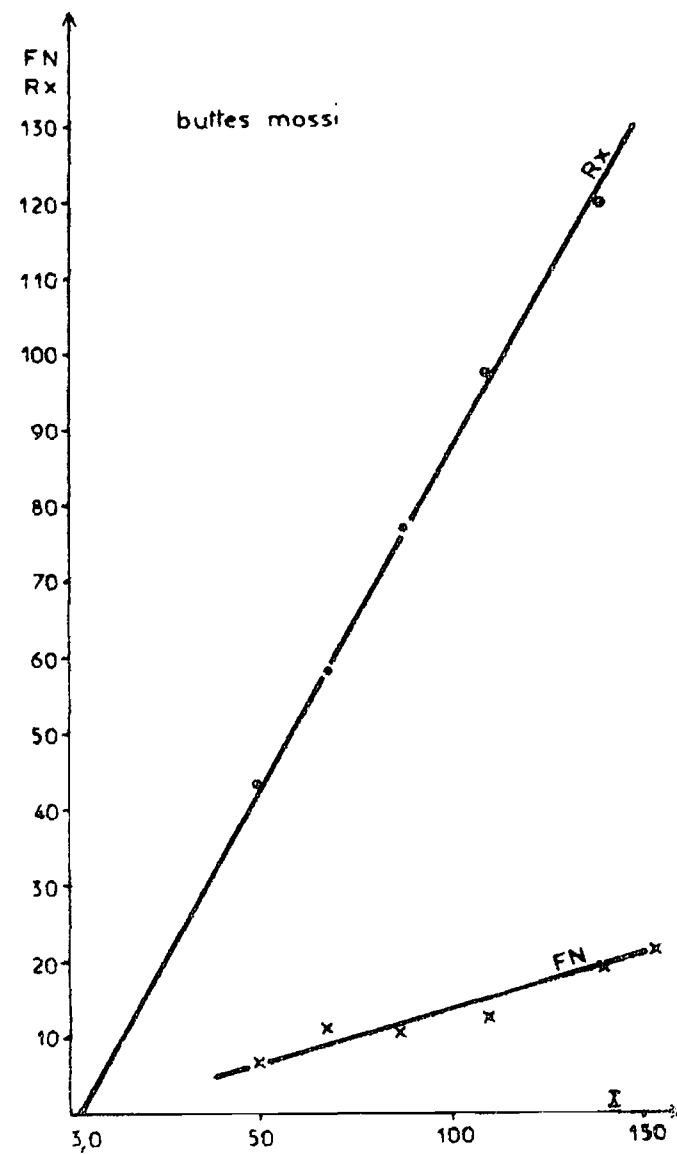
Parcelle 6 Pluie g



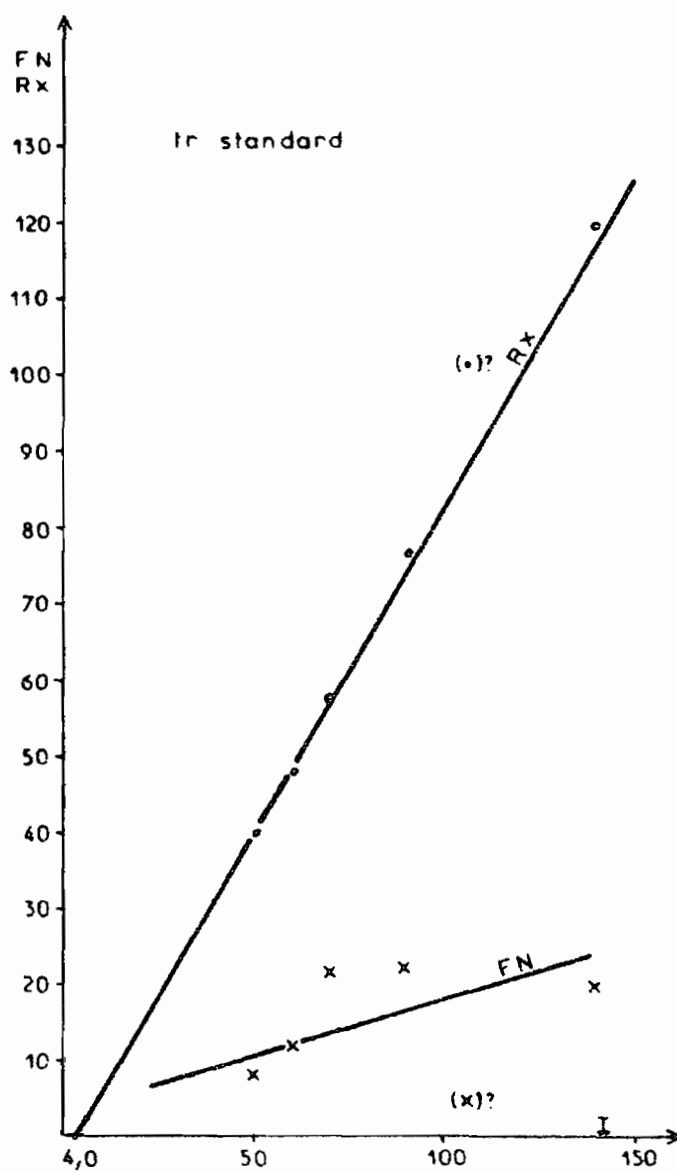
Parcelle 7 Pluie f



Parcelle 9 Pluie f



Parcelle 10 Pluie f



Les points s'alignent plus ou moins bien, et nous avons tracé des droites en nous appuyant sur les points qui nous semblent les plus représentatifs du régime permanent. Les points au-dessous de la droite peuvent représenter des $R(t)$ n'ayant pas encore pris leur valeur maximale R_x pour l'intensité considérée, les points au dessus de la droite ne peuvent s'expliquer que par les alea des conditions expérimentales. L'abscisse à l'origine de la droite $R_x(t) = f(I)$ donne la valeur de l'intensité limite I_l au-dessous de laquelle il est impossible d'obtenir un ruissellement.

- Parcelle 1 sol nu

$$\text{Pluie f} \left\{ \begin{array}{l} R_x = 0,89 I - 14,24 \\ I_l = 16,0 \\ F_n = 0,11 I + 14,24 \end{array} \right.$$

$$\text{Pluie g} \left\{ \begin{array}{l} R_x = 0,89 I - 5,8 \\ I_l = 6,5 \\ F_n = 0,11 I + 5,8 \end{array} \right.$$

Nous observons ici, une intensité limite de ruissellement plus faible pour la pluie g qui a pourtant un état d'humectation initial plus faible. Ce résultat paradoxal est à rapprocher de ce que nous avons vu pour la pluie d'imbibition sur cette même parcelle (ch V paragraphe 2) et nous confortons ici l'hypothèse formulée au ch. V paragraphe 2. La série des premières pluies a modifié la surface et la pellicule s'est indurée par tassement et dessiccation durant le temps de ressuyage (15 jours entre la pluie f et g).

Le fait que la droite $F_n = f(I)$ ait une pente plus faible pour la pluie g que pour la pluie f va également dans le sens de cette explication.

- Parcelle 2 végétation naturelle.

$$\text{Pluie f} \left\{ \begin{array}{l} R_x = 0,64 I - 7,36 \\ I_l = 11,5 \\ F_n = 0,36 I + 7,36 \end{array} \right.$$

$$\text{Pluie g} \left\{ \begin{array}{l} R_n = 0,43 I - 5,59 \\ I_l = 13,0 \\ F_n = 0,57 I + 5,59 \end{array} \right.$$

Nous nous appuyons uniquement sur les points $I = 50 \text{ mm/h}$ et $I = 67,8 \text{ mm/h}$ n'étant pas arrivé à un régime permanent pour les autres intensités.

- Parcelle 3 végétation naturelle.

$$\text{Pluie f} \left[\begin{array}{l} R_x = 0,68 I - 9,18 \\ I_l = 13,5 \\ F_n = 0,32 I + 9,18 \end{array} \right.$$

- Parcelle 4 sol nu

$$\text{Pluie g} \left[\begin{array}{l} R_x = 0,87 I - 2,6 \\ I_l = 3,0 \\ F_n = 0,13 I + 2,6 \end{array} \right.$$

- Parcelle 5 billons

$$\begin{array}{l|l} \text{Pluie f} \left[\begin{array}{l} R_x = 0,89 I - 11,51 \\ I_l = 13,0 \\ F_n = 0,11 I + 11,5 \end{array} \right. & \text{Pluie g} \left[\begin{array}{l} R_x = 0,89 I - 24,9 \\ I_l = 29,0 \\ F_n = 0,11 I + 24,9 \end{array} \right. \end{array}$$

- Parcelle 6 traitement standard

$$\begin{array}{l|l} \text{Pluie f} \left[\begin{array}{l} R_x = 0,96 I - 7,2 \\ I_l = 7,5 \\ F_n = 0,04 I + 7,2 \end{array} \right. & \text{Pluie g} \left[\begin{array}{l} R_x = 0,94 I - 1,5 \\ I_l = 1,5 \\ F_n = 0,06 I + 1,5 \end{array} \right. \end{array}$$

même remarque que pour la parcelle 1

- Parcelle 7 végétation naturelle.

$$\text{Pluie f} \left[\begin{array}{l} R_x = 0,80 I - 14,0 \\ I_l = 17,5 \\ F_n = 0,20 I + 16,0 \end{array} \right.$$

- Parcelle 9 buttes mossi

$$\text{Pluie f} \left[\begin{array}{l} R_x = 0,91 I - 2,7 \\ I_l = 3,0 \\ F_n = 0,09 I + 2,7 \end{array} \right.$$

- Parcelle 10 traitement standard

$$\text{Pluie f} \left[\begin{array}{l} R_x = 0,85 I - 3,4 \\ I_l = 4,0 \\ F_n = 0,15 I + 3,4 \end{array} \right.$$

- Cette série d'équations nous permet de formuler R_x et F_n de façon simple.

$$R_x = K (I - I_1)$$

$$F_n = (1 - K) I + K I_1$$

Bien que nous n'ayons pas assez de points, nous voyons que I_1 est fonction du n° de la pluie, tandis que K ne dépend que de la parcelle (même K pour la pluie f et g sur les parcelles où nous avons simulé ces deux pluies sauf pour la parcelle 2). Sur la parcelle 2 nous avons remarqué une augmentation de la couverture végétale entre les pluies f et g et notamment la germination de nombreuses dicotylédones.

PARCELLE		K
1	Sol nu	0,89
2	Végétation naturelle	0,64 - 0,43
3	Végétation naturelle	0,68
4	Sol nu	0,87
5	Billons	0,89
6	tr. standard	0,95
7	Végétation naturelle	0,80
9	Buttes mossi	0,91
10	tr. standard	0,85

CASENAVE et CHEVALLIER ont montré que I_1 est fonction de l'état d'humectation du sol et varie en sens inverse de IK .

Le protocole de pluie réalisé à BINNDE ne permet pas de mettre en évidence cette relation, les pluies b, c, d, e, n'ont que trois intensités différentes, et il ne nous est pas possible de déterminer I_1 avec précision pour chacune d'elles.

B) LE SCL

1) Profils hydriques

a) Avant la pluie a et après la pluie f.

Les figures 17 représentent pour chaque parcelle le profil hydrique avant toute pluie et celui après la pluie f.

L'humidité volumique en % H_v est en abscisse et la profondeur p en cm est en ordonnées; l'aire comprise entre la courbe a et f représente le "gain" hydrique durant le protocole de pluie pour la tranche de sol voisine du tube de sonde à neutrons. Ces courbes donnent une appréciation visuelle de la perméabilité de la parcelle.

b) Avant chaque pluie.

Sur la figure 18 nous avons dessiné les profils hydriques avant chaque pluie pour les parcelles 2 et 9 (végétation naturelle sur le site I, buttes mossi sur le site III). Ces courbes caractérisent l'état hydrique avant chaque pluie et sont à comparer à l'indice d'humectation IK (chap V, E, paragraphe 3).

c) Avant et après la même pluie.

Pour chaque pluie simulée sur les parcelles 2 et 9 nous avons tracé le profil hydrique avant la pluie et juste après la pluie, (fig 19). L'aire comprise entre les axes de coordonnées et chacune des courbes caractérise le stock hydrique du sol au moment de la mesure.

Le "gain" hydrique pendant la pluie est lié à la lame d'eau mesurée par différence entre la pluie utile et la lame ruisselée. Les figures 20 montrent que cette relation est linéaire.

La dispersion des points est négligeable pour la parcelle 2 si on élimine le point a (qui est particulier : la pluie a est différente des autres, avant la pluie a le sol présente un déficit hydrique à saturation, maximal).

La dispersion est légèrement plus importante pour la parcelle 9 et peut s'expliquer par les transformations importantes de l'état de surface de la parcelle (formation d'une pellicule de plus en plus indurée et limitant l'infiltration, érosion des buttes

Tableau n° 18.

Parcelle 8 Végétation naturelle sur le site I.

Fluie	S (mm) stock hydrique avant la pluie	G (mm) gain hydri- que	Li mm Lame infil- trée
a	-	29,0	32,0
b	37,4	32,8	46,4
c	63,8	16,2	39,5
d	81,6	18,0	40,3
e	93,2	22,8	45,8
f	101,2	54,8	54,9

Parcelle 9 Buttes mossi sur le site III.

a	61,6	21,4	26,0
b	81,6	4,2	31,0
c	89,6	8,6	29,4
d	100,2	6,0	23,3
e	86,8	14,2	17,6
f	81,2	23,4	21,9

2) Cinétique de ressuyage.

Nous avons mesuré la cinétique de ressuyage du sol après la pluie "f" sur toutes les parcelles munies du dispositif d'humidimétrie. Les figures 21 visualisent cette cinétique pour les horizons où la mesure d'humidité est accessible à la sonde à neutrons.

La figure 21 bis montre cette cinétique mesurée par la méthode des chocs thermiques dans l'horizon C, 10 cm de la parcelle 2 (végétation naturelle sur le site I).

a) Site I, parcelle 2. (végétation naturelle)

. Horizon 0 - 10 cm : l'humidité décroît de façon exponentielle en fonction du temps, très vite pendant les dix premières heures.

. Horizon 10 - 20 cm 20 - 30 cm, 40 - 50 cm : pendant les 5 premières heures l'humidité Hv "ondulé". On retrouve les mêmes maxima et minima plus ou moins atténués décalés dans le temps dans ces trois horizons. On a l'impression qu'un niveau doit se vidanger dans un niveau inférieur avant de recevoir lui même l'eau du niveau supérieur. Jusqu'à 30 heures après la pluie, Hv reste à peu près constante puis diminue plus sensiblement.

. Horizon 90 - 100 après 5 heures de ressuyage Hv croît sensiblement sans pour autant dépasser 3 %.

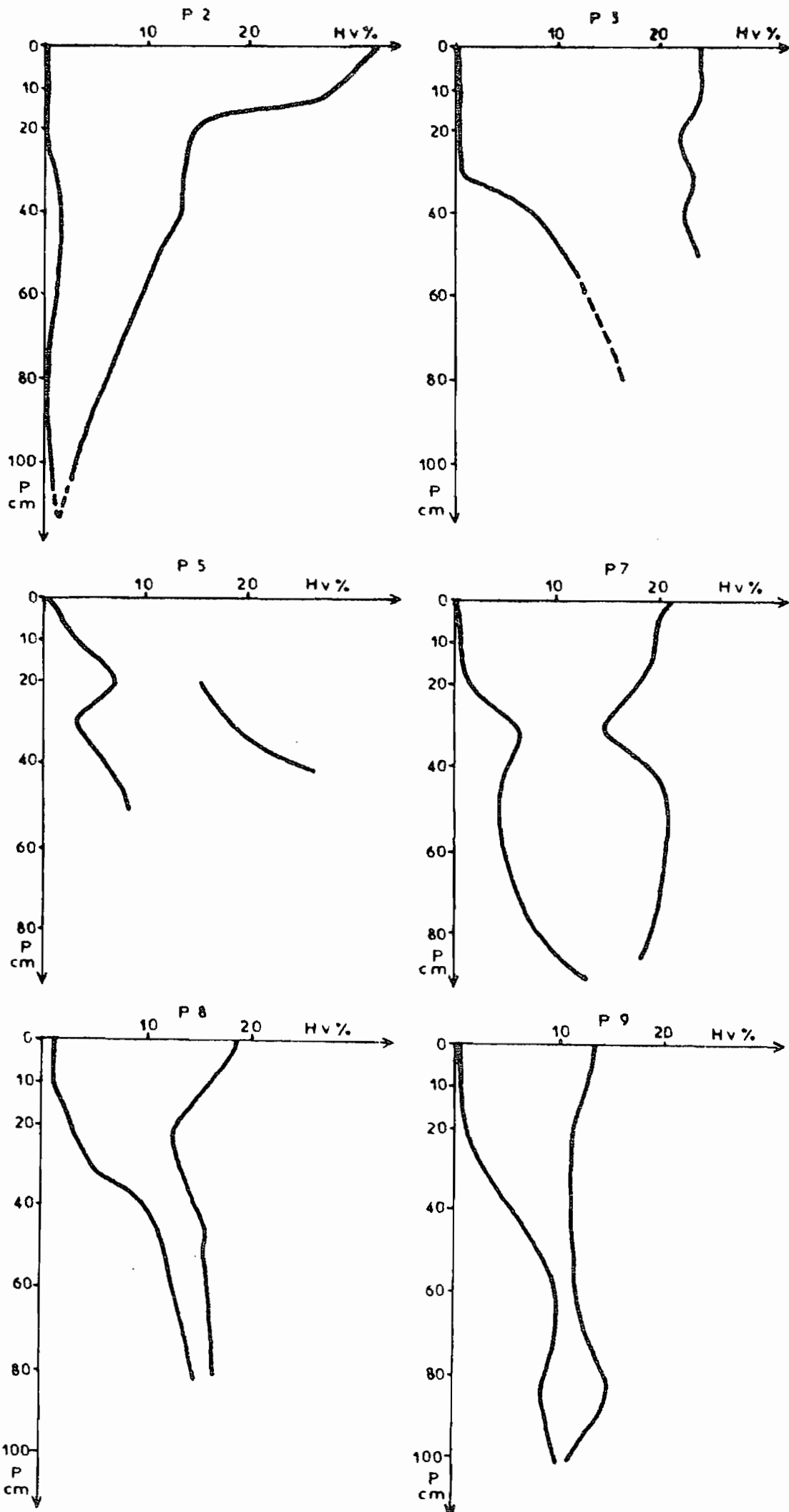
Après saturation des premiers horizons, l'infiltration se fait très lentement.

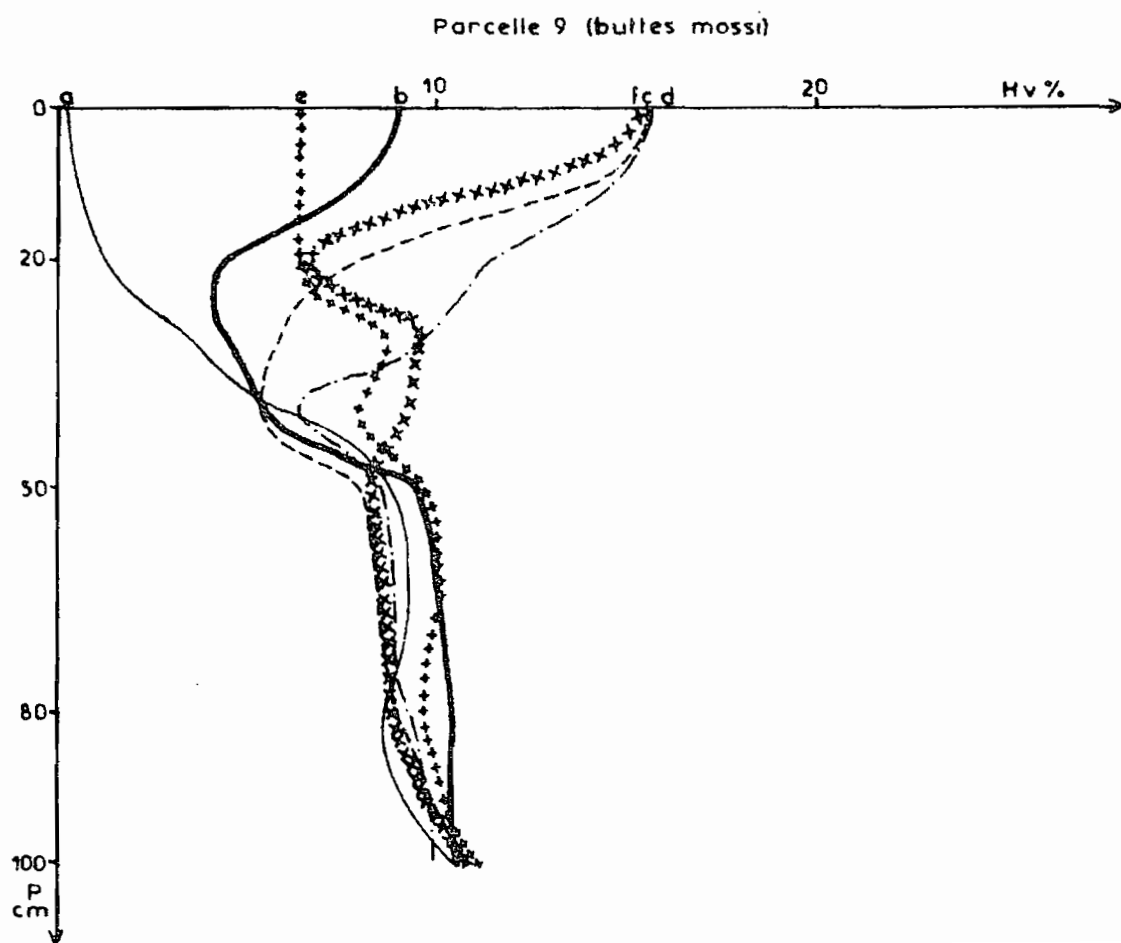
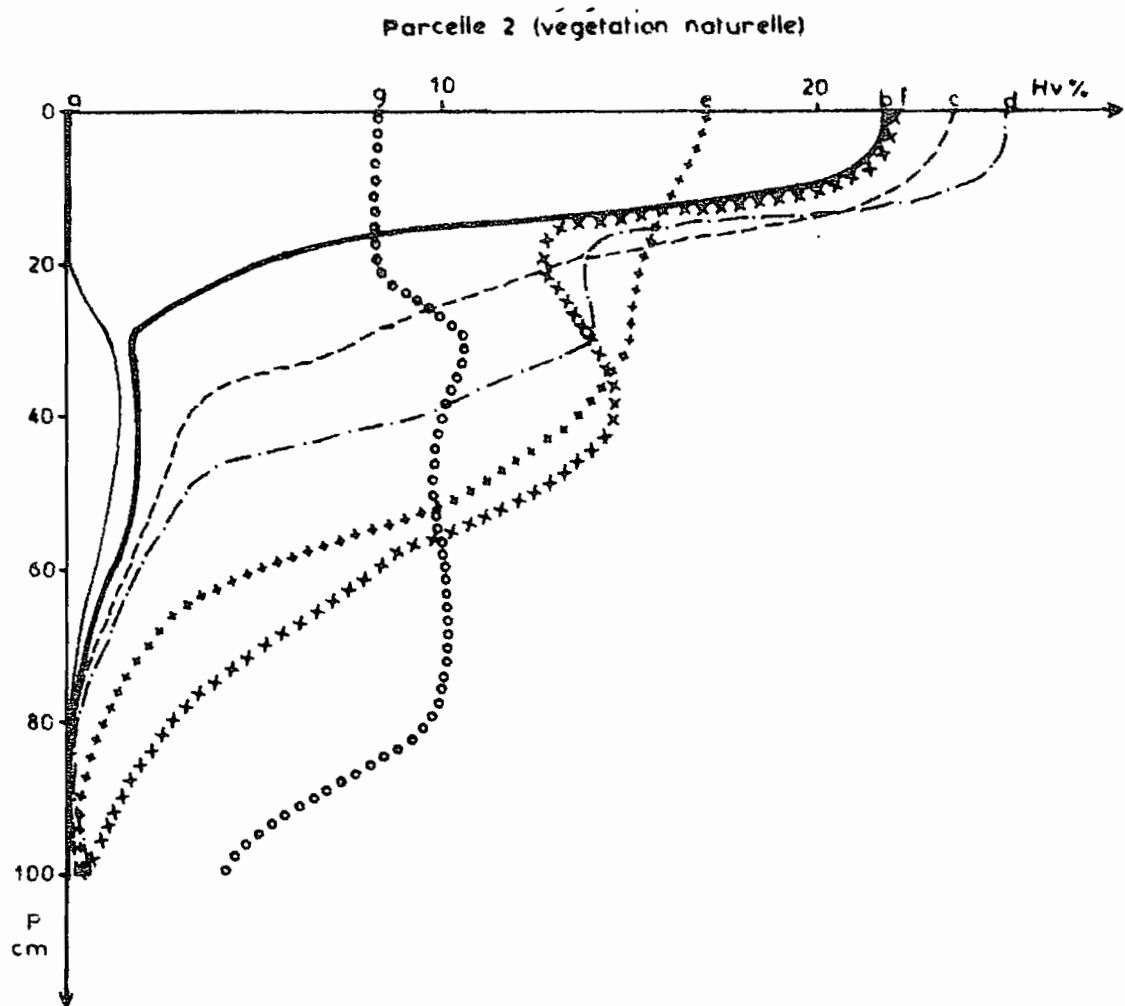
b) Site II.

- Parcelle 3 (végétation naturelle)

. Horizon 10 - 20 : humidité constante pendant les 45 premières minutes puis forte décroissance. Ensuite Hv augmente jusqu'à trois heures après la pluie, puis présente la décroissance exponentielle classique de la vidange d'un stock hydrique.

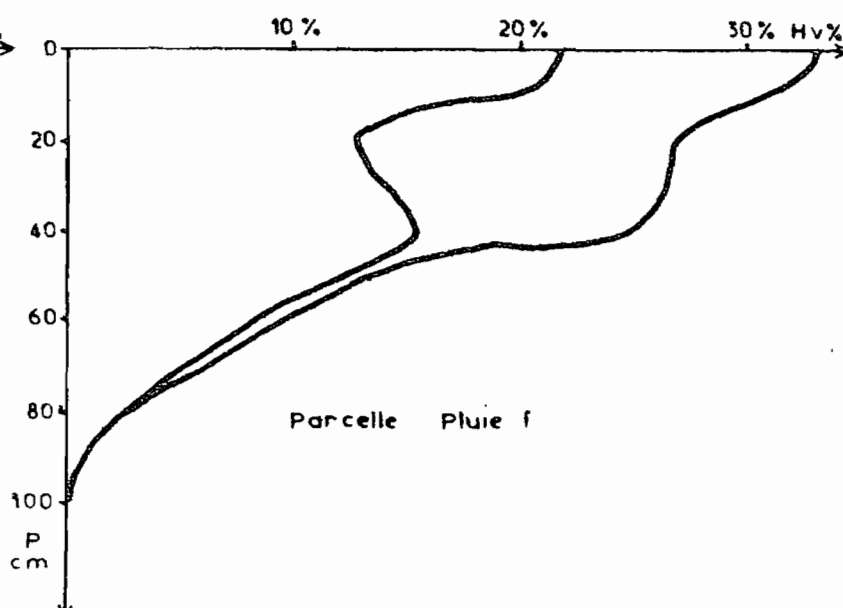
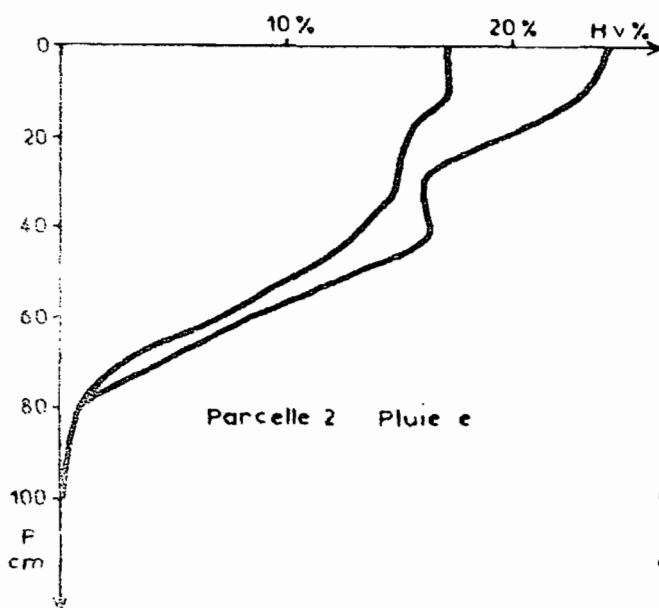
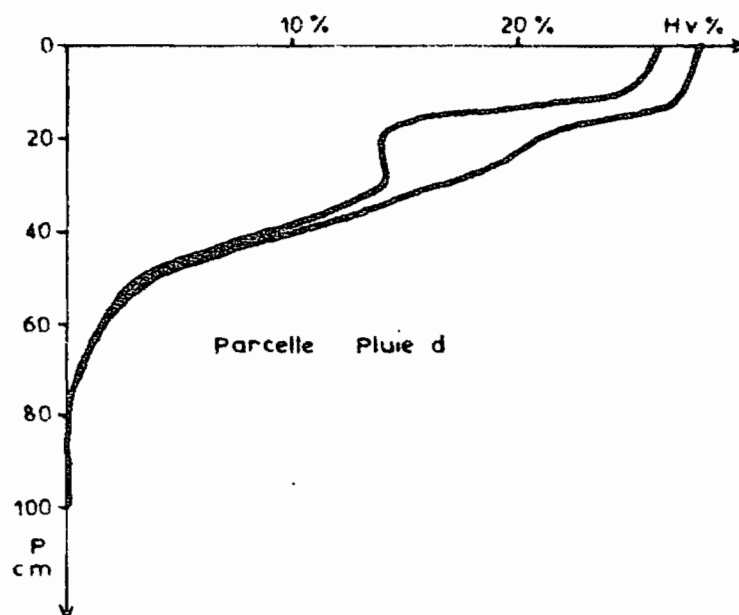
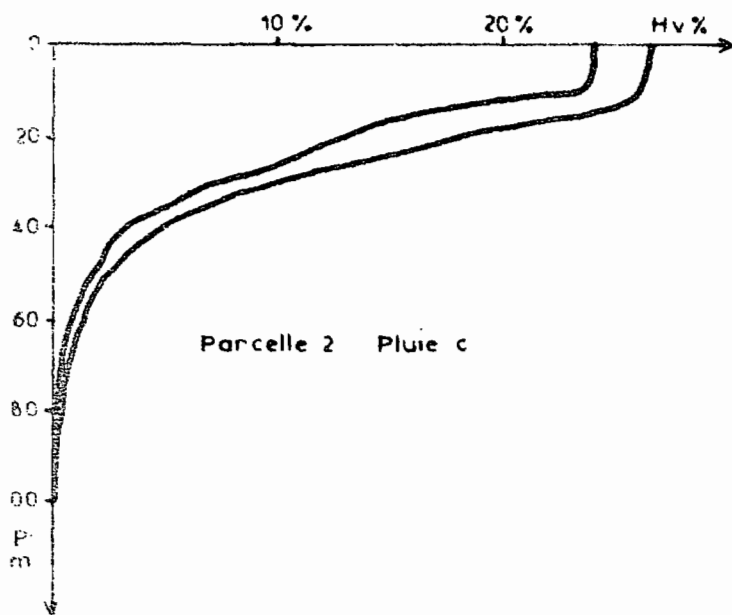
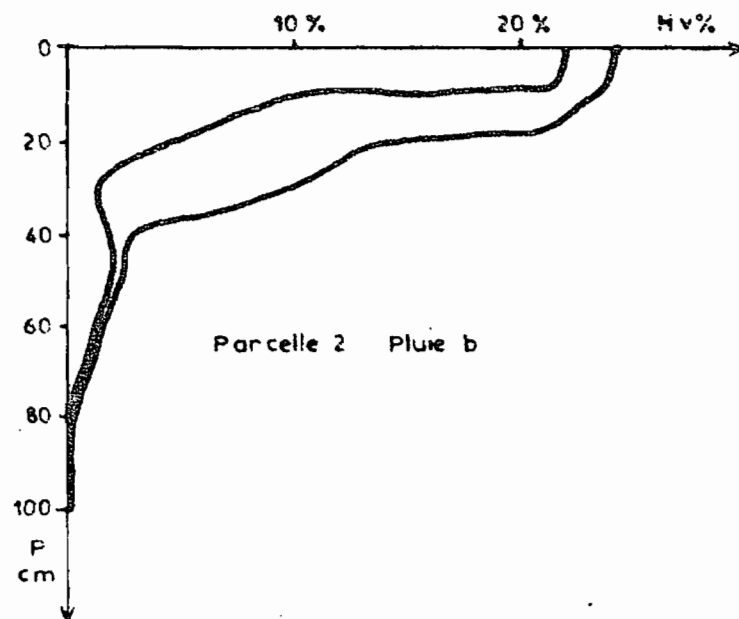
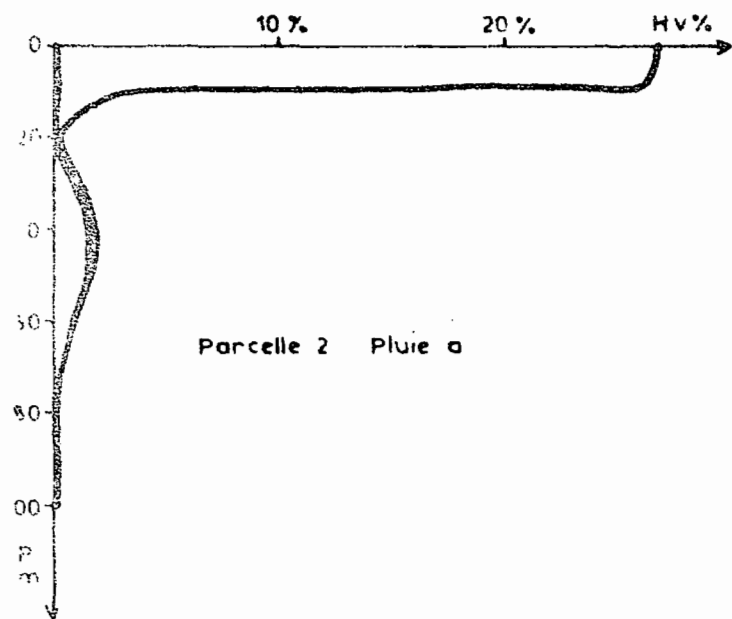
. Horizons 20 - 30, 30 - 40 : on retrouve "l'ondulation" décrite à l'horizon sus-jacent atténuée et décalée dans le temps pendant les 5 premières heures du ressuyage. Entre 5 et 25 heures après la pluie Hv présente deux "ondulations", dont l'amplitude est plus forte pour l'horizon le plus bas. On observe ensuite une légère décroissance.





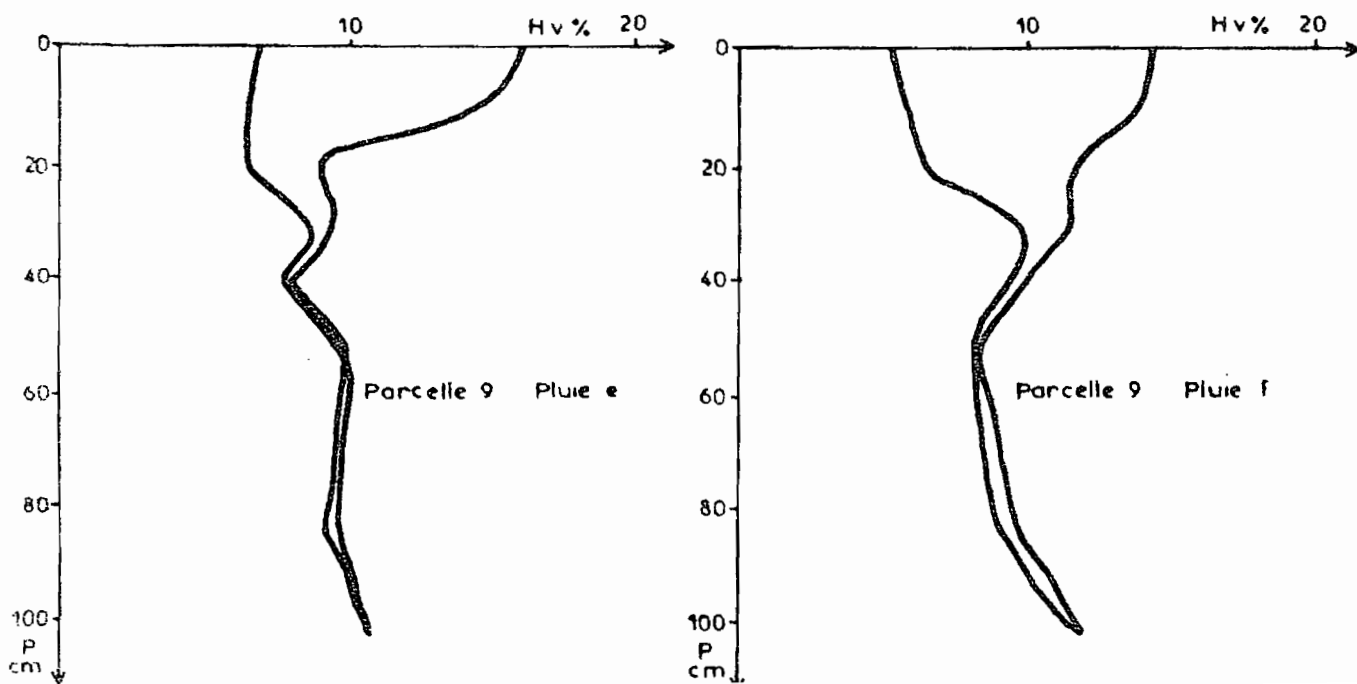
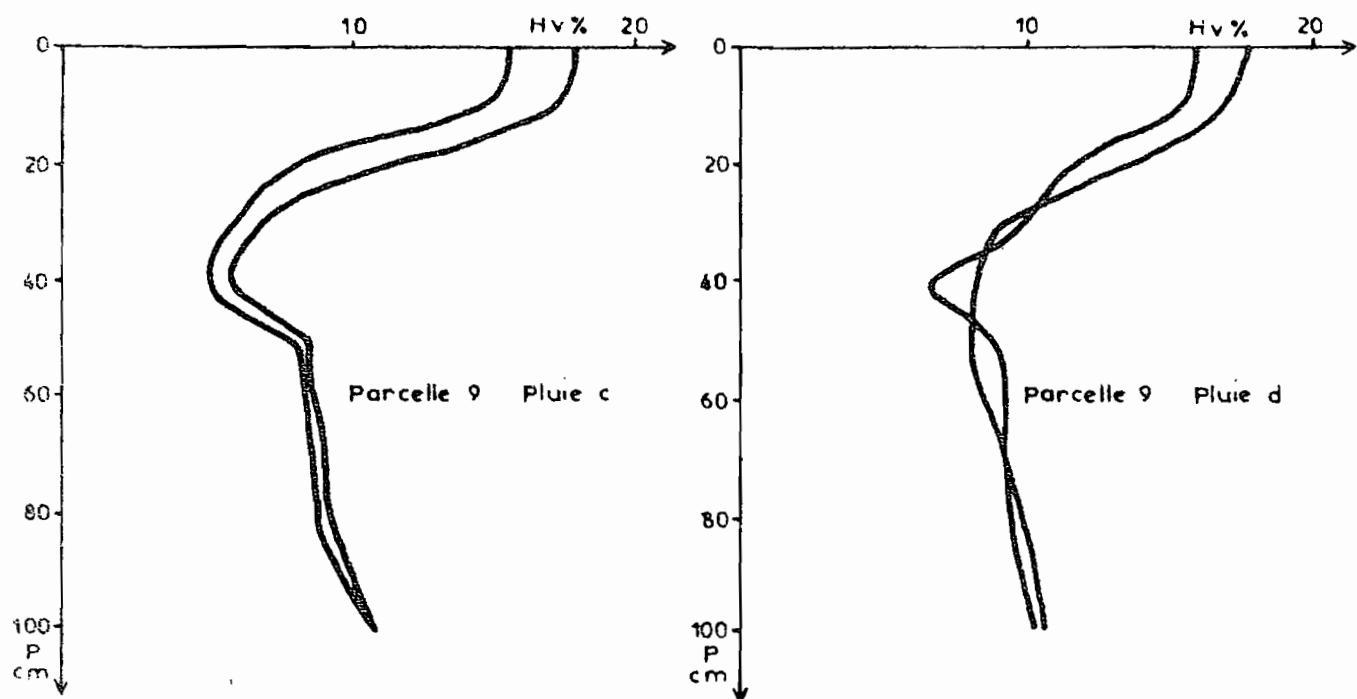
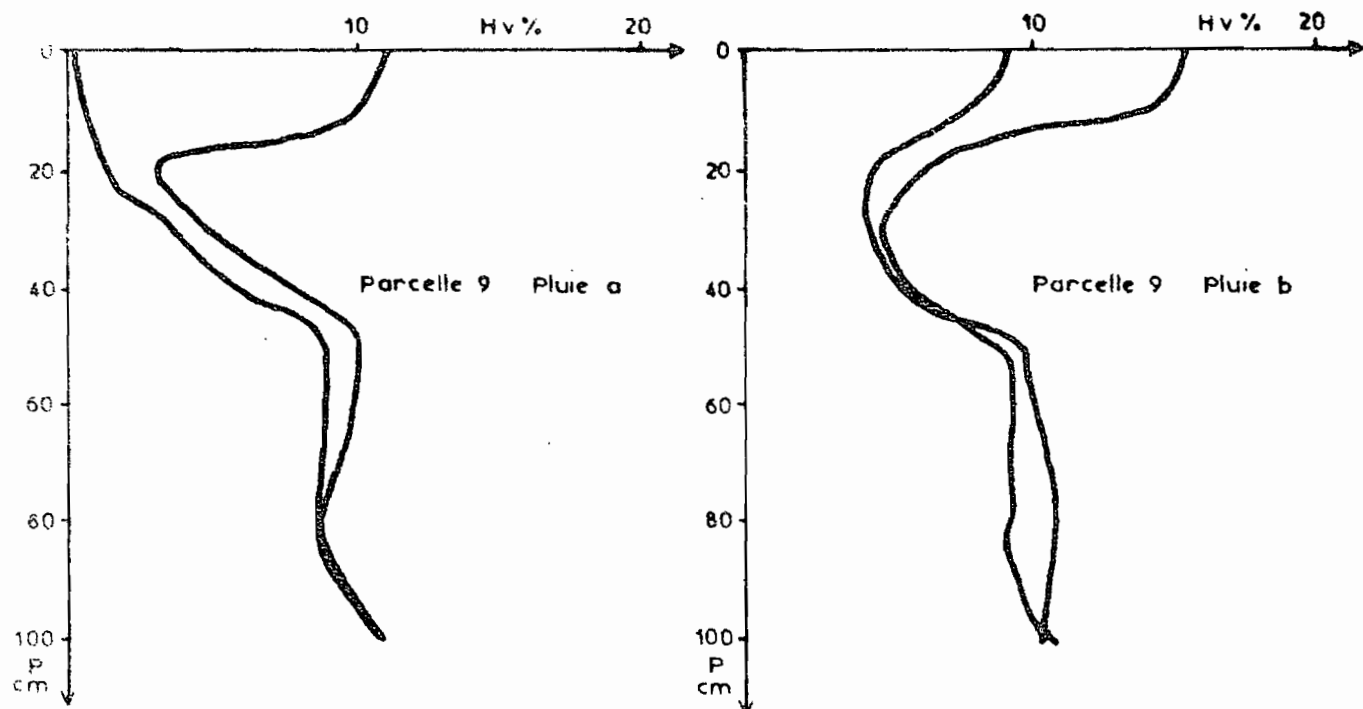
PROFILS HYDRIQUES AVANT ET APRES LA PLUIE

Fig. 19

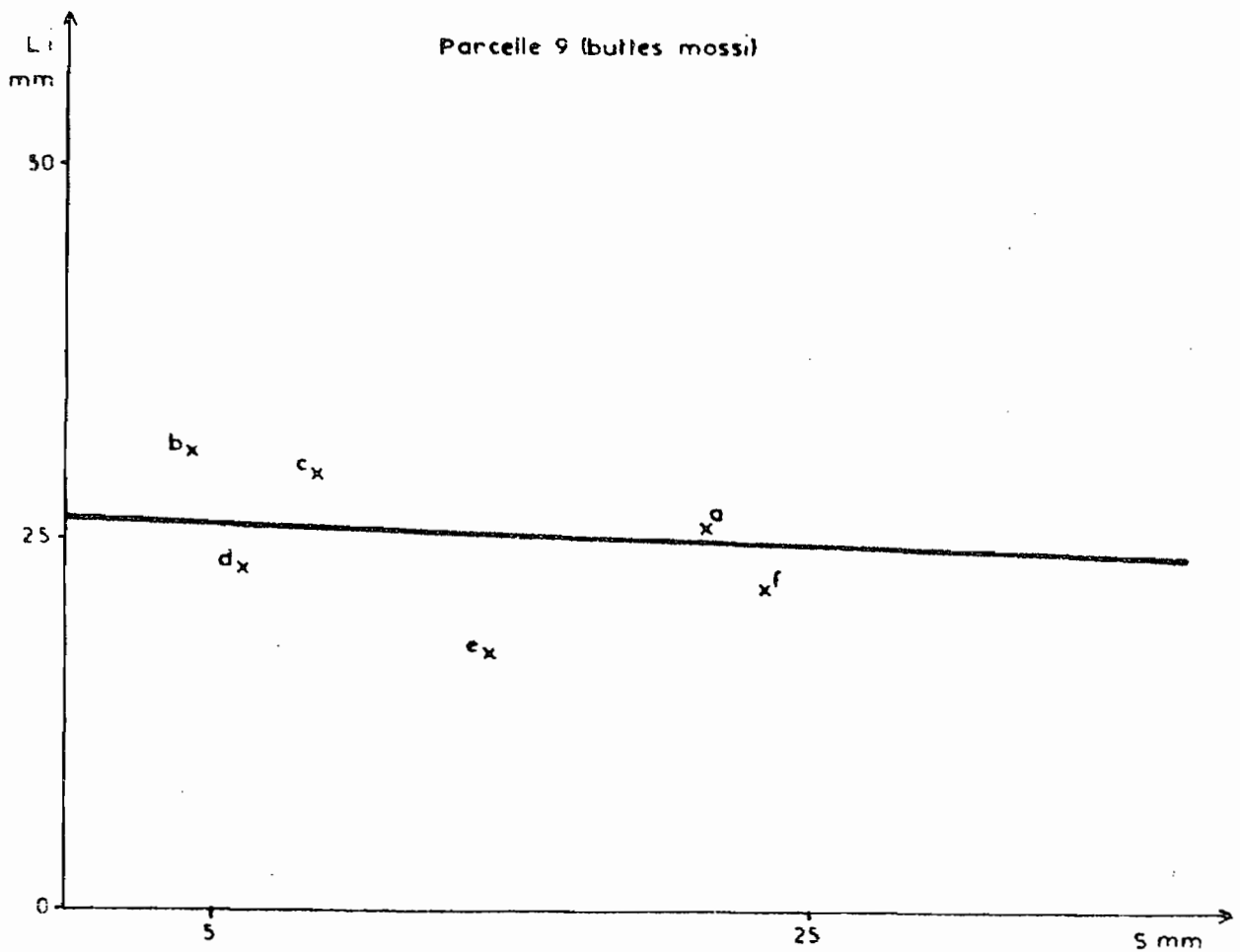
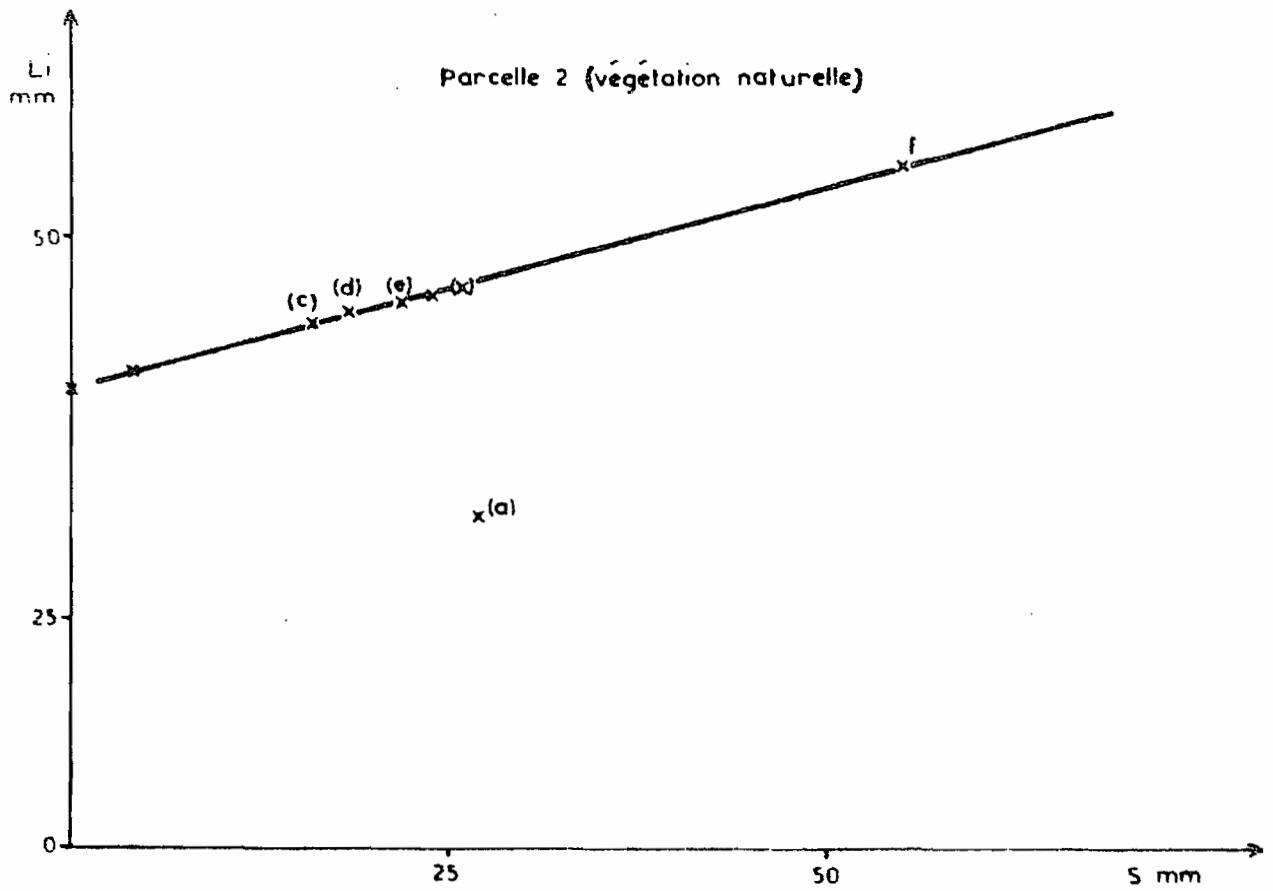


PROFILS HYDRIQUES AVANT ET APRES LA PLUIE

Fig. 19



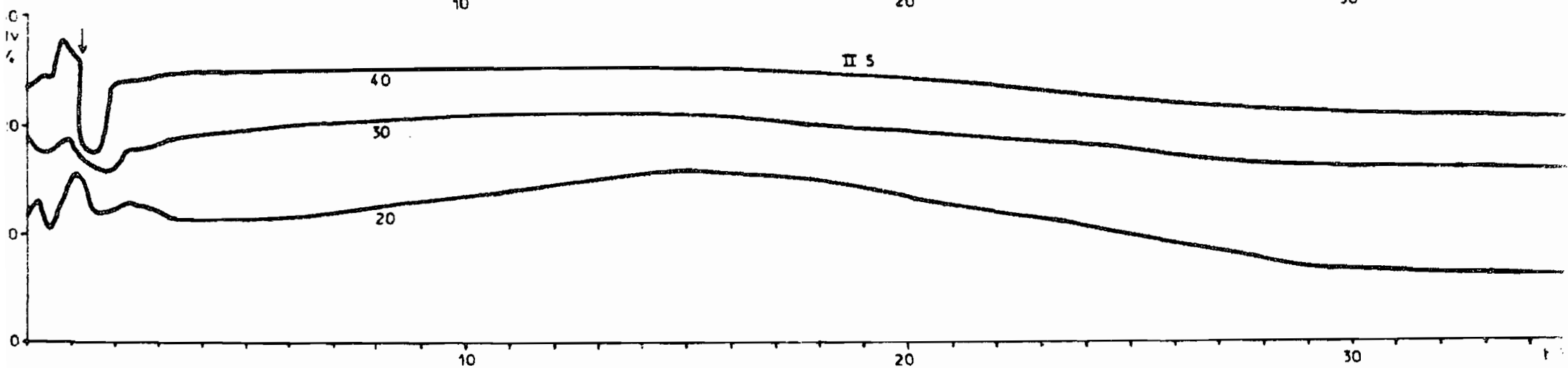
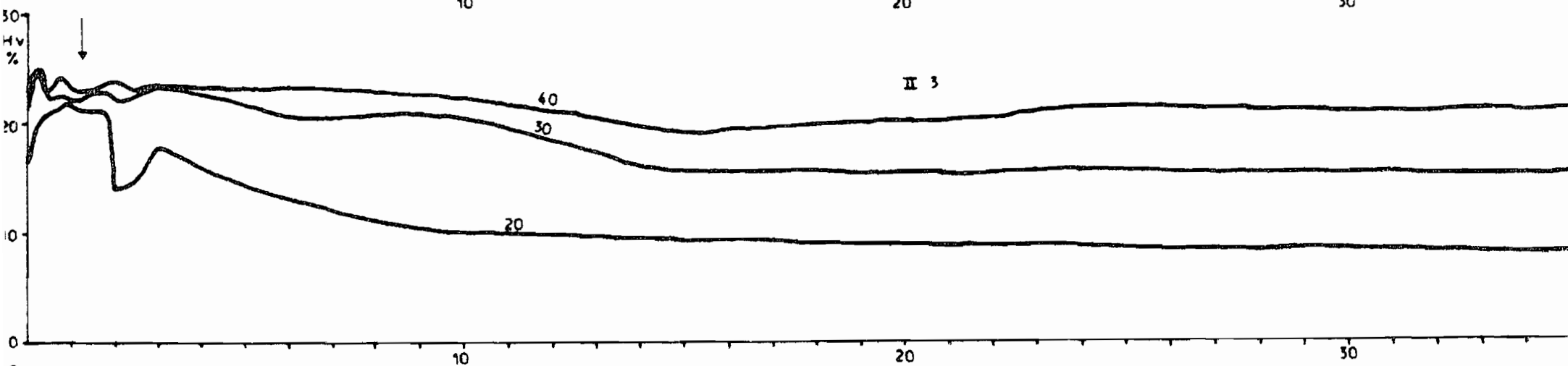
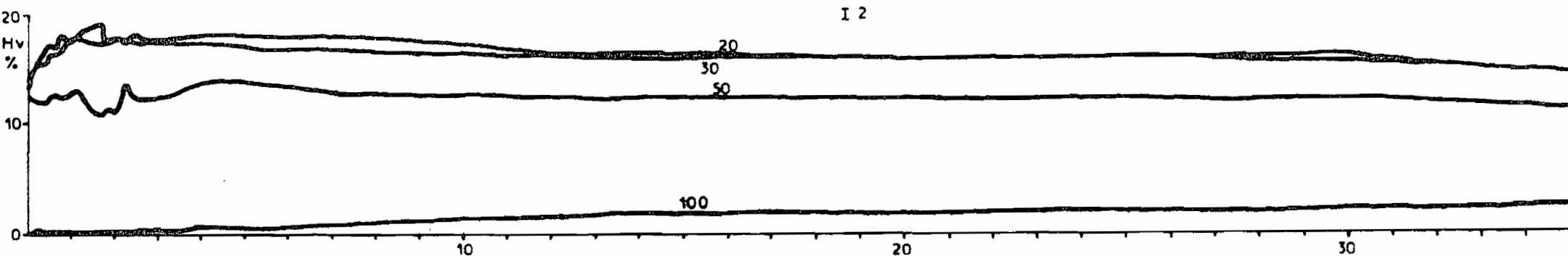
ENTRE LE DEBUT ET LA FIN D'UNE PLUIE



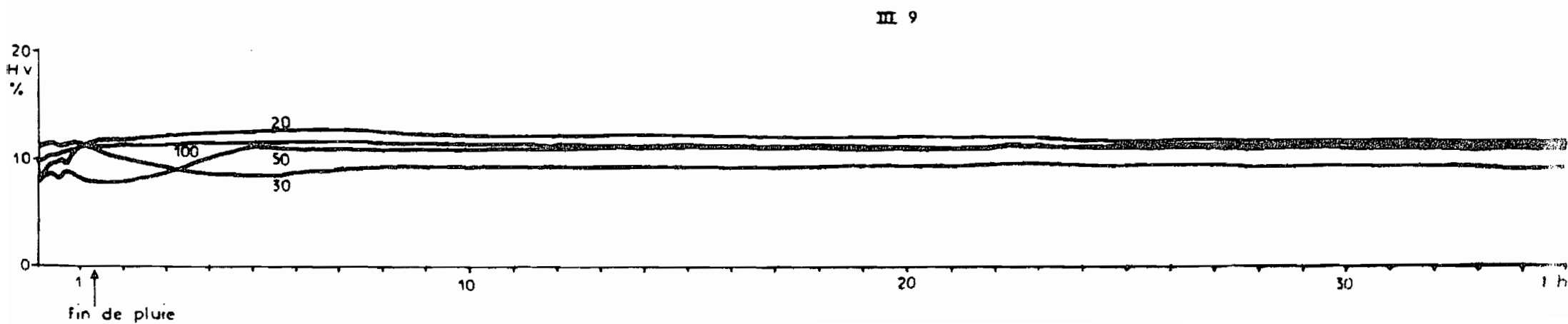
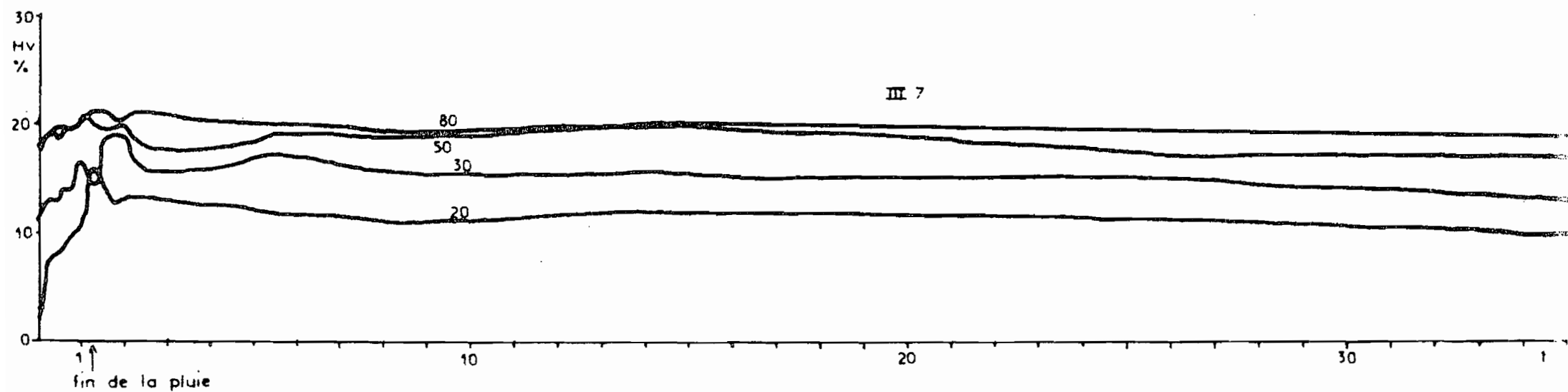
fin de pluie

CINETIQUE DE RESSUYAGE APRES LA PLUIE I

Fig. 21



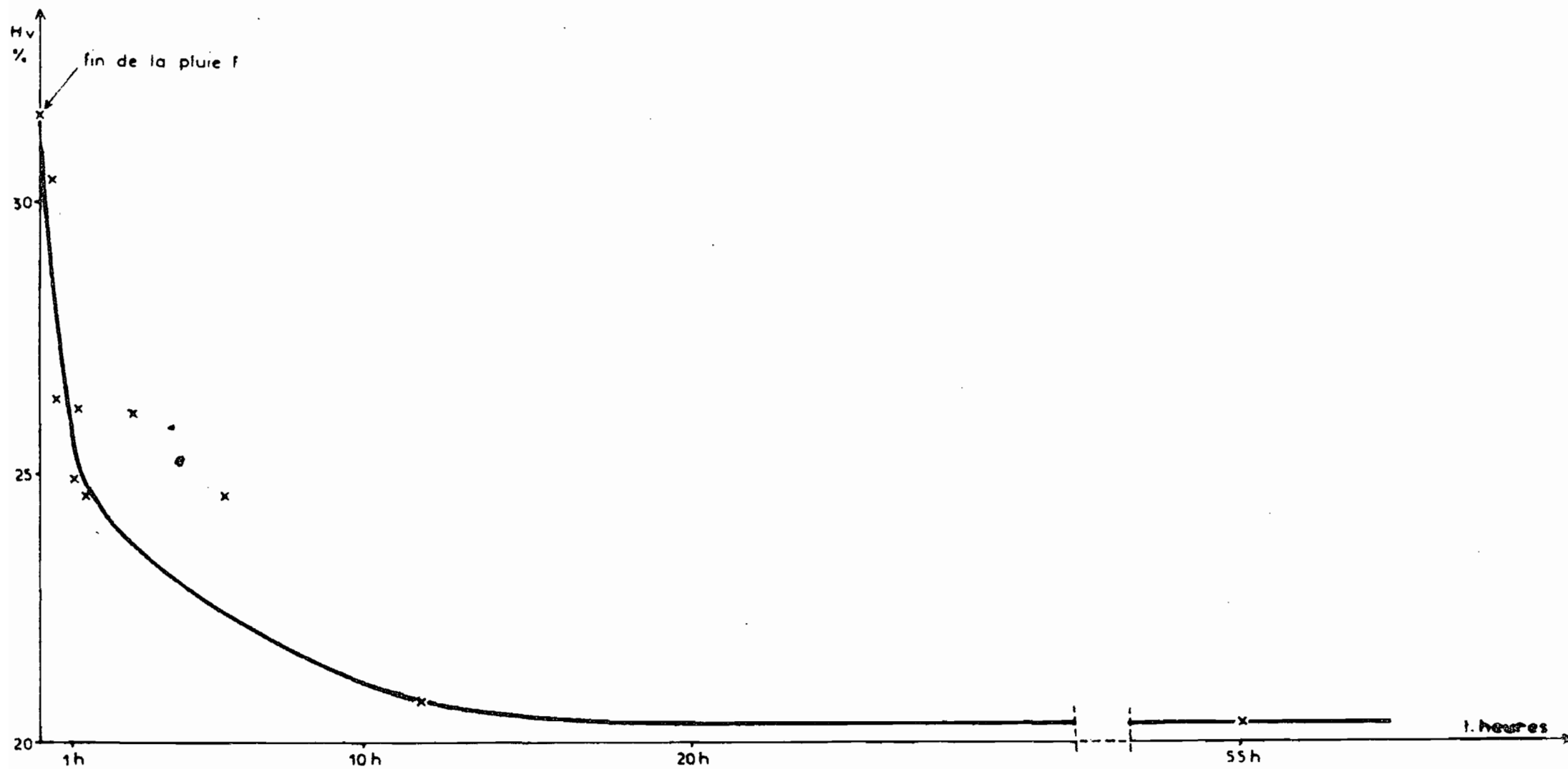
CINETIQUE DE RESSUYAGE APRES LA PLUIE I (suite)



CINETIQUE DE RESSUYAGE (Suite)

horizon 0-10 parcelle 2

$$H_v \% = f(t)$$



L'eau semble bloquée par l'horizon induré (prof 40 cm), elle s'accumule à la base de l'horizon sus-jacent, puis migre et permet la vidange des niveaux supérieurs.

- Parcelle 5 (billons isohypses)

on observe :

- une cinétique de ressuyage rapide où les trois horizons montrent une humidité qui décroît rapidement, passe par un minimum, croît et se stabilise.

. une cinétique de ressuyage lente présentant une ondulation puis une décroissance lente.

e) Site III.

- Parcelle 7 (végétation naturelle)

Dans les horizons 40-50 et 70-80 (les plus humides) les courbes des humidités sont très proches, l'infiltration est bloquée. A ces profondeurs, le sol se compose d'argile gonflantes.

- Parcelle 9 (buttes mossi)

L'infiltration est bloquée plus près de la surface, l'horizon 10-20 cm reste très humide, à cause des flaques qui restent longtemps à la surface entre les buttes.

La mesure de la cinétique de ressuyage confirme les conclusions de l'étude pédologique (ch III paragraphe 1) sur le comportement hydrodynamique de ces sols.

3) Comparaison de l'indice d'humectation IK au déficit hydrique à saturation (en surface).

Dans toute cette étude nous avons utilisé l'indice d'humectation IK (défini au ch V paragraphe 1) pour caractériser l'état hydrique du sol avant la pluie. Dans ce paragraphe nous cherchons à relier cet indice théorique à des mesures d'humidité et essayons par ce biais de justifier son utilisation.

La série des profils hydriques (fig 16) avant chaque pluie montre que les valeurs d'humidité volumique de l'horizon 0-10 cm suivent le même ordre que les IK bien que les intervalles de varia-

tions de ces deux variables soient différents. L'étude pédologique a montré que l'infiltration est surtout conditionnée par l'état de surface du sol et de la réserve hydrique du premier horizon. Pour ces deux raisons, nous nous proposons de comparer les valeurs de IK aux mesures d'humidités volumiques (obtenues par la méthode des chocs thermiques dans l'horizon 0-10 cm). Nous choisissons comme exemple d'étude la parcelle 2 du site I.

Les humidités mesurées dans l'horizon 0-10 après la pluie f nous permettent d'appréhender les variations de H_v en fonction du temps après une pluie, (fig 21). H_v décroît de façon exponentielle à partir de la valeur qu'elle prend à la fin de la pluie. La figure 22 montre les variations de H_v et de IK en fonction du temps, les décroissances de ces deux variables ont la même allure, prenant une valeur fixe après chaque pluie elles décroissent de façon exponentielle jusqu'à la pluie suivante.

Nous cherchons une relation F entre les variables IK et H_v satisfaisant les 3 conditions suivantes :

- lorsque $t \rightarrow \infty$ $IK \rightarrow 0$ (par définition) et $H_v \rightarrow 0,8\%$ (humidité volumique mesurée avant la pluie "a" et après un temps de ressuyage infini).

- au temps $t = 0$ après une pluie
 $IK_n = P_u n + IK_0 - 1, \forall P_u$

- au temps t

$H_v = f(P_u)$ si $P_u < P_s$

$H_v = H_{vs}$ si $P_u > P_s$

IK_n = indice d'humidité avant la pluie n .

H_v = humidité volumique

P_s = pluie utile suffisante pour saturer en eau le sol.

P_{un} = pluie utile $n^{\circ} n$

H_{vs} = humidité volumique à saturation

IK = $F(H_v)$ est une fonction croissante

F présente une branche asymptotique lorsque H_v prend la valeur H_{vs} .

Le rapport sur papier millimétré des valeurs de ces deux variables montre que F a un caractère exponentiel.

En considérant que la pluie "f" (100,5 mm) est suffisante pour saturer l'horizon 0-10 on obtient $H_{vs} = H_v$ mesurée juste après la pluie "f"

$$H_{vs} = 31,6 \%$$

$$F \text{ est de la forme } (H_v - 0,8) \exp \frac{c}{31,6 - H_v}$$

c est une constante d'ajustement que l'on détermine par itération

$$IK = (H_v - 0,8) \exp \frac{8,5}{31,6 - H_v}$$

Le terme $(31,6 - H_v)$ représente le déficit hydrique à saturation (Dhs) et F peut s'écrire de la façon suivante :

$$IK = (30,8 - D_{hs}) \exp \frac{8,5}{D_{hs}}$$

	Hv %	IK	Ik par F
avant la pluie a	0,8	0	0
avant la pluie b	21,8	35,6	50,0
avant la pluie c	23,5	70,0	64,8
avant la pluie d	25,4	97,8	96,9
(48) h après la pluie d	18,8	57,7	35,0
avant la pluie e	17,6	36,5	30,8
(20h) après la pluie (e)	22,0	58,5	51,4
avant la pluie f	21,0	45,1	45,0
(24h) après la pluie f	25,0	88,3	87,7
(55h) après la pluie f	20,4	46,2	41,9

Dans la pratique nous utilisons l'indice IK pour caractériser l'état hydrique du sol avant une pluie.

Deux averses successives sont considérées comme indépendantes lorsqu'elles sont séparées au moins de quelques heures, la fig 18 nous montre qu'après une averse qui a saturé le sol, Hv décroît très rapidement.

L'intervalle maximal de variation de IK pour une série pluviométrique naturelle ne peut dépasser (0,100).

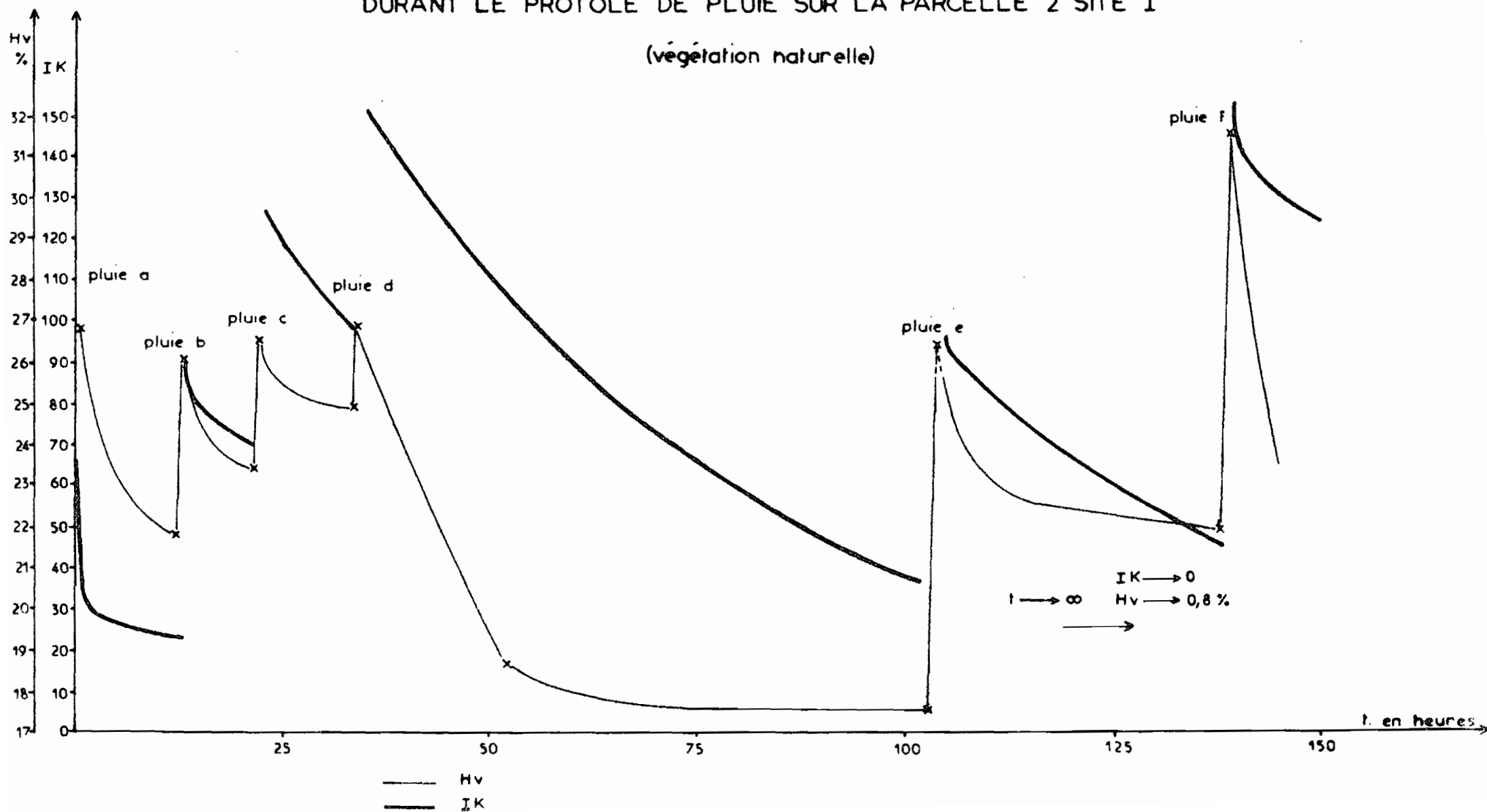
En conclusion, dans l'intervalle des IK naturels, IK caractérise le déficit hydrique à saturation de l'horizon superficiel.

Remarque.

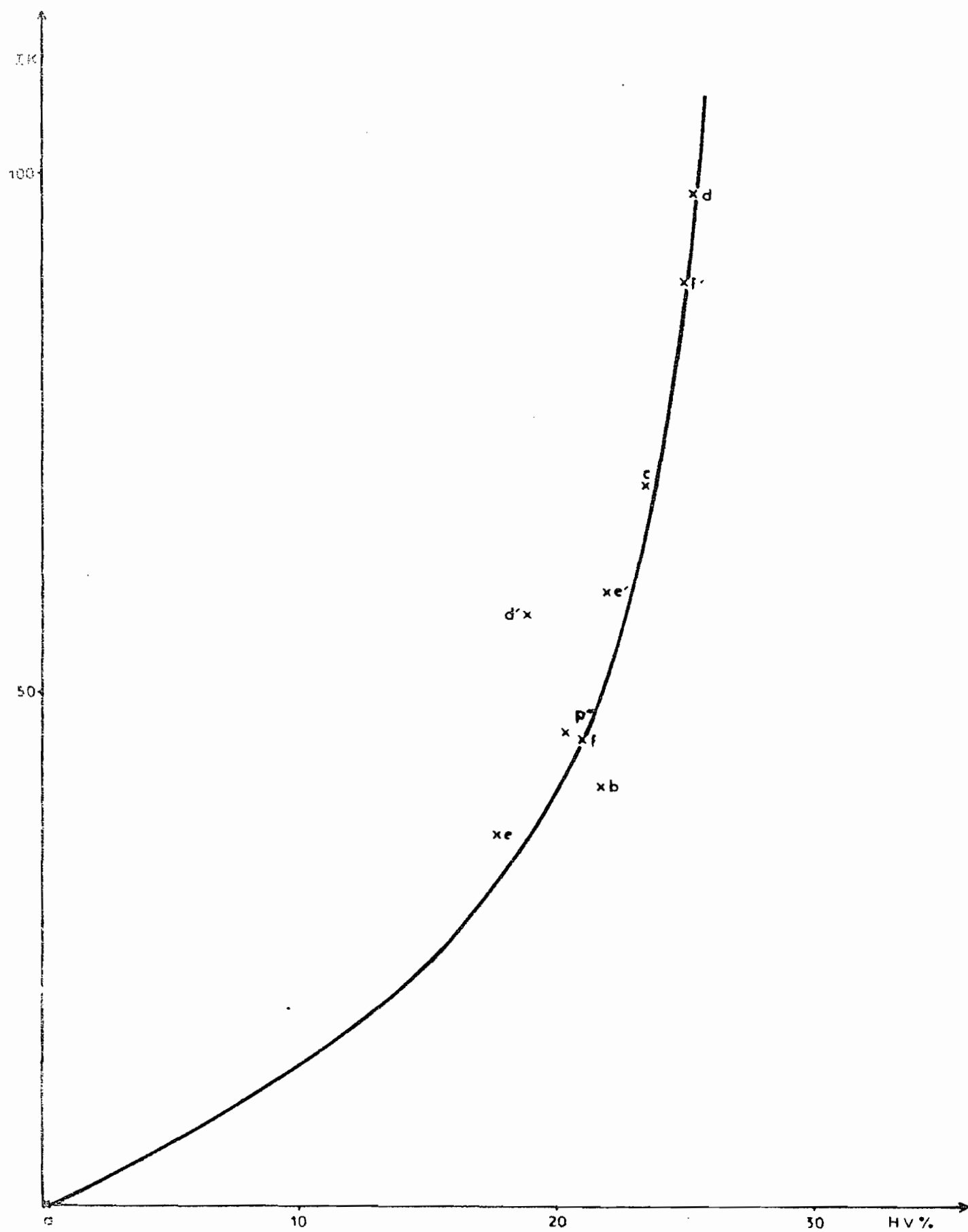
Dans cette étude nous n'avons pas pris en considération la pluie "g". Avant la pluie "g" IK est voisin de zéro, le déficit hydrique serait donc maximale ; or on mesure une humidité volumique en surface supérieure à Hv minimale (= 0,8 %). Si l'on compare les profils hydriques (fig 18) avant la pluie "a" et avant la pluie "g" on remarque qu'ils ont la même forme bien que décalés sur l'axe des Hv.

On peut donc penser que IK intègre d'autres facteurs que le déficit hydrique à saturation.

IK ET Hv% EN FONCTION DE t. en heure
DURANT LE PROTOLE DE PLUIE SUR LA PARCELLE 2 SITE I
(végétation naturelle)



$$IK = F(HV)$$



CHAPITRE VI

APPLICATIONS DES RESULTATS "SIMULATEUR" A L'ETUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN

Ce chapitre ne pourra être pleinement développé qu'après les observations de la saison de pluies en cours. Nous attendons d'avoir des mesures à l'échelle du bassin pour caler les extrapolations que l'on peut faire à partir des données "simulateur". Par soucis de présenter un rapport complet à la date prévue par le département "formation" de l'CRSTOM, nous avons utilisé les résultats des campagnes de J.C. KLEIN, (1963-1965) pour établir deux modèles d'estimation de la lame ruisselée sur le bassin.

Ces deux modèles sont basés sur le principe suivant :

Pour une pluie donnée, on calcule une lame ruisselée (L_{rc}) égale à la somme des lames ruisselées ($L_{r\alpha}$) déterminées sur chaque parcelle et pondérées par un facteur (C) égal au pourcentage de la surface du bassin représentée par chacune des parcelles. On cherche ensuite s'il existe une relation simple entre L_{rc} et la lame ruisselée (L_{ro}) réellement observée.

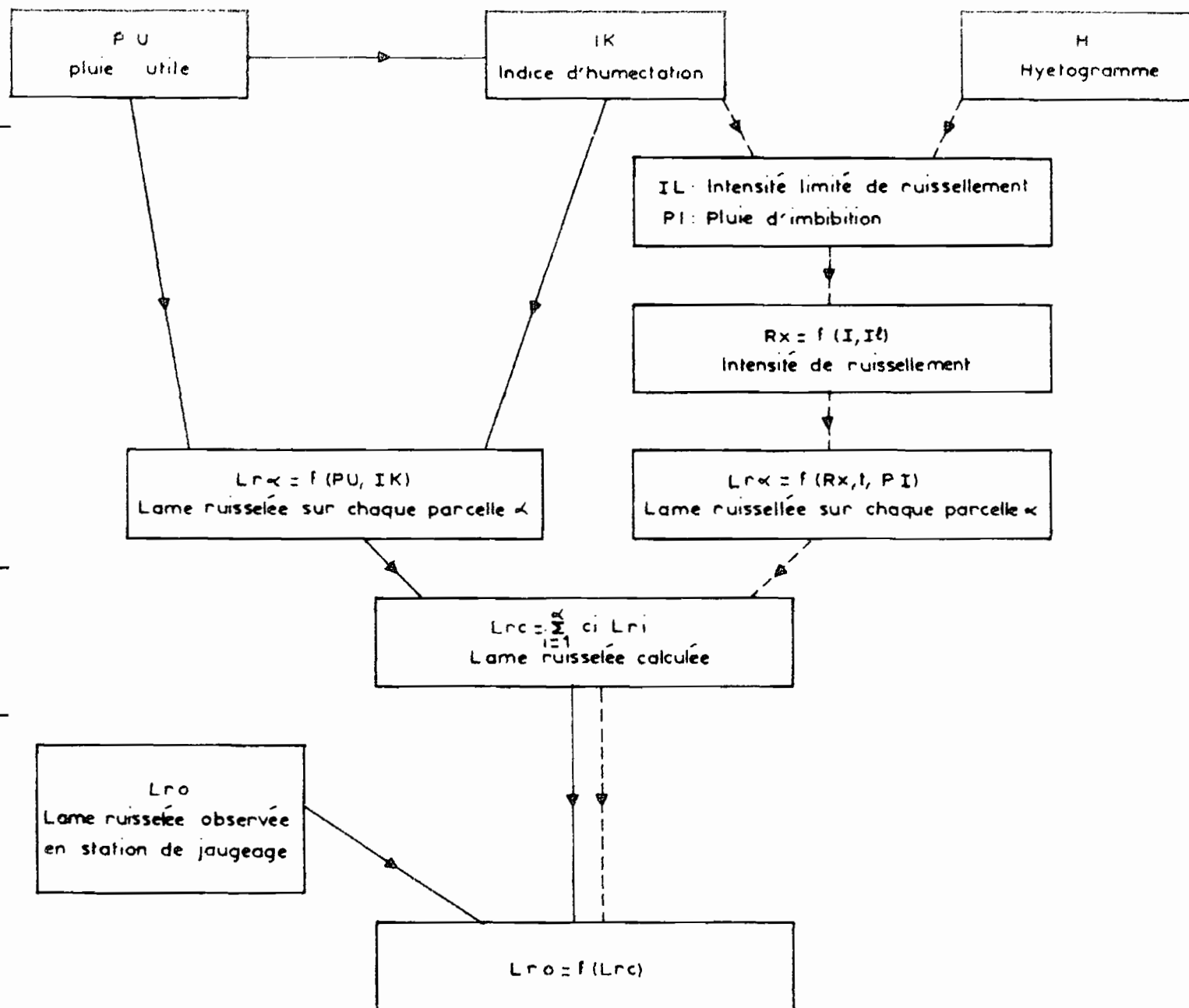
VARIABLES
D'ENTREES

FONCTION DE
TRANSFERT

VARIABLES DE
SORTIE

FONCTION DE
CALAGE

SORTIE



ORGANIGRAMME DES DEUX MODELES

—▶— Modèle 1
- - -▶- - - Modèle 2

Le premier modèle a comme variables d'entrée la pluie utile et l'indice IK, les fonctions de transferts sont les équations $L_r = f(PU, IK)$ établies pour chaque parcelle (chap. V paragraphe 4) et l'équation $L_{rc} = \sum_{i=1}^{i=N} C_i L_{ri}$ (N = nombre de parcelles utilisées) et $L_{rc} = R(L_{ro})$ en permet le calage.

Le second modèle a comme variables d'entrée le hyéto-gramme de l'averse, et l'indice IK, la première fonction de transfert est alors les équations $R_x = f(I, II)$ (chap. V paragraphe 5) la seconde fonction de transfert et le calage sont identiques au cas précédent.

1) Détermination des aires représentatives de chaque parcelle

Par planimétrage des trois unités cartographiées (ch. V paragraphe 5) on obtient les aires représentatives de chaque site :

Bas fonds (site I)	= 0,9 km ²	19,9 %
Surface à élément grossiers (site II)	= 4,8 km ²	49,2 %
Surface sans éléments grossiers (site II)		
	= 3,0 km ²	30,9 %

A cette carte des surfaces, nous avons surimposé une esquisse de l'occupation actuelle des sols (mission photographies aériennes au 1/50 000, de 1979).

La photo-interprétation a permis de distinguer deux unités et de dresser au 1/25 000 la carte de l'occupation des sols (fig n° 24).

Unité 1 : surfaces nues et/ou cultivées

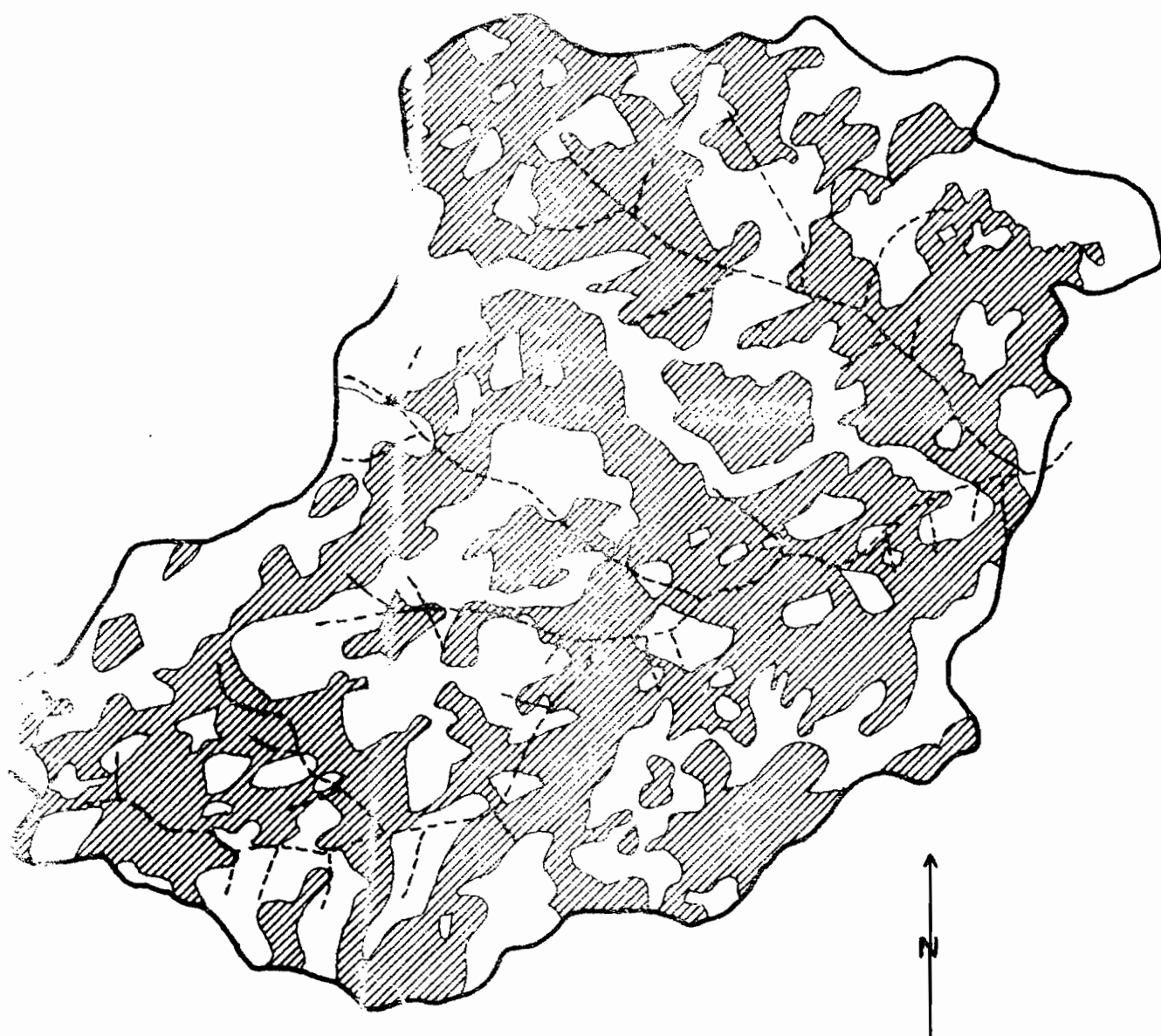
Unité 2 : surfaces couvertes de végétation naturelle ou de jachère.

Grâce à une grille de points distants de 5 mm nous avons évalué les surfaces de ces deux unités sur tout le bassin et sur chaque site.

Unité 1 :	4,3 km ²	43,9 %
Unité 2 :	5,4 km ²	56,1 %

BASSIN VERSANT DE BINNDE

OCCUPATION DES SOLS



surfaces nues ou cultivées



surfaces en jachères ou en végétation naturelle

0 250m 1km

Puis sur chaque site nous avons estimé par sondage sur le terrain la part de terrains nus et la part de terrains cultivés.

Site I 1,9 km²

Végétation naturelle ou jachère (parcelle 1)	61,6 %	1,2 km ²
nu (parcelle 2)	38,4 %	0,7 km ²

Site II 4,8 km²

Végétation naturelle ou jachère (parcelle 3)	51,4 %	2,4 km ²
nu ou cultivé	48,6 %	2,3 km ²

Par estimation sur le terrain

Cultivé (parcelle 5)	80 %	1,8 km ²
Nu (parcelle 4)	20 %	0,5 km ²

Site III 3,0 km²

Végétation naturelle ou jachère (parcelle 7)	57,6 %	1,7 km ²
nu ou cultivé	43,4 %	1,3 km ²

Par estimation sur le terrain

Cultivé (parcelle 9)	70 %	0,9 km ²
Nu (parcelle 8)	30 %	0,4 km ²

Pour calculer la lame ruisselée sur le bassin (Lrc) il suffit de faire la somme des lames ruisselées calculées sur chaque parcelle pondérées par un coefficient égal au pourcentage de la surface représentée.

Après les premières grosses pluies nous considérons que la végétation a poussé sur les sols nus (résultant de brulis ou de récoltes de chaumes).

Jusqu'aux premières grosses pluies nous utilisons la relation suivante :

$$Lrc = 0,08 Lr_1 + 0,12 Lr_2 + 0,26 Lr_3 + 0,05 Lr_4 + 0,18 Lr_5 + 0,18 Lr_7 + 0,04 Lr_8 + 0,09 Lr_9 \quad (1)$$

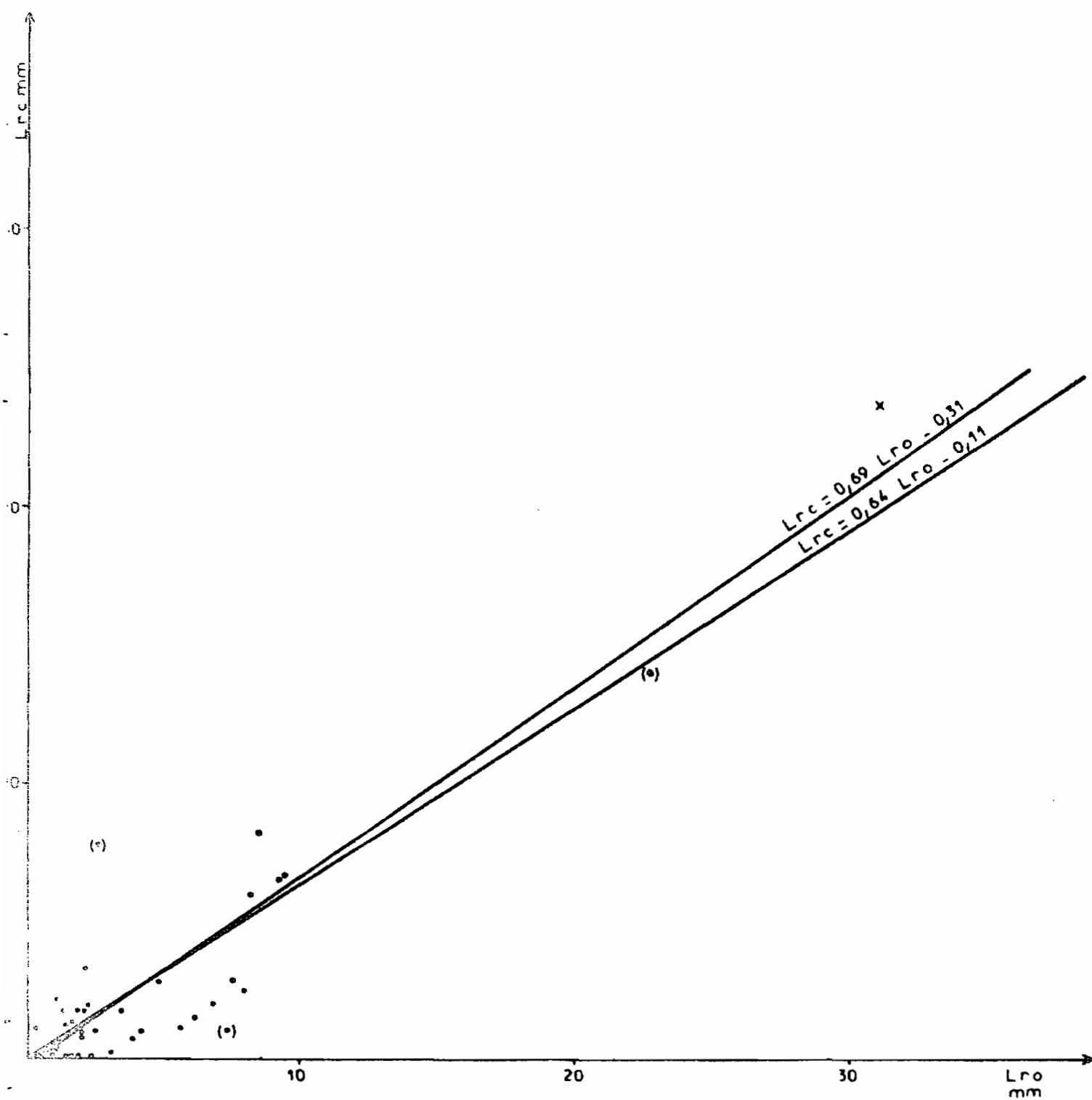
et après les premières grosses pluies :

$$Lrc = 0,20 Lr_2 + 0,31 Lr_3 + 0,18 Lr_5 + 0,22 Lr_7 + 0,09 Lr_9 \quad (2)$$

* Lri = lame ruisselée sur la parcelle i.

Fig. 25

$$L_{rc} = f L_{ro}$$



2) 1er modèle : estimation des lames ruisselées
à partir de la pluie utile.

a) en utilisant les pluies moyennes observées entre 1963 et 1965 et les IK correspondants comme variables d'entrées.

Nous avons calculé l'indice IK avant chaque averse en utilisant la série pluviométrique du poste de Manga. (1963 et 1964) ou les relevées pluviométriques du bassin (1965) (que nous ne disposions pas pour 1963 et 1964). Les relations $L_r = f(PU, IK)$ nous donnent les lames ruisselées sur chaque parcelle et l'équation 1 ou 2 nous permet d'obtenir la lame ruisselée sur le bassin (L_{rc}).

Tableau n° 18.

Date	Pluie utile	Indice IK	Lame ruisse- lée observée L_{ro}	Lame ruisse- lée calculée L_{rc}
1963				
22/ 6	41,3	16,7	8,8	6,0
23/ 6	20,3	35,2	2,5	1,0
6/ 7	25,3	17,0	2,1	3,3
16/ 7	23,3	23,5	1,8	1,7
21/ 7	47,1	3,9	9,2	6,6
22/ 7	47,1	30,9	10,4	11,9
1964				
3/ 6	18,6	0,6	0,3	1,1
7/ 6	19,2	4,6	2,2	1,3
28/66	21,0	2,0	1,3	1,7
13/ 7	29,4	1,1	3,5	1,7
18/ 7	[52,1]	2,5	[2,6]	7,9
21/ 7	[64,7]	12,2	[22,7]	14,1
22/ 7	18,0	46,6	3,9	0,7
24/ 7	33,0	23,8	2,5	4,3
28/ 7	12,5	7,7	1,6	0,0
31/ 7	24,7	4,5	5,7	1,1
4/ 8	33,7	4,0	2,0	2,5
6/ 8	43,7	13,9	9,4	6,7
9/ 8	28,3	13,8	6,8	2,0

Date	Pluie utile PU	Indice IK	Lame ruisse- lée observée Lro	Lame ruisse- lée calculée Lrc
1963				
17/ 8	30,6	1,2	2,2	1,9
20/ 8	18,4	7,1	(5,5)	0,2
24/ 8	16,9	0,8	2,3	0,1
25/ 8	32,2	10,7	(7,6)	2,8
28/ 8	18,5	3,6	(6,0)	0,3
29/ 8	17,8	17,0	3,0	0,2
31/ 8	[22,8]	12,8	[(7,4)]	1,0
1/ 9	29,0	21,6	(5,0)	2,8
2/ 9	5,2	30,7	2,4	0,0
11/ 9	23,4	0,4	2,0	0,8
17/ 9	24,6	3,4	4,2	1,0
19/ 9	36,6	10,3	10,7	3,9
1965				
9/ 5	23,4	1,4	-	2,2
16/ 5	25,7	6,0	-	2,9
7/ 6	38,4	0,0	7,6	2,9
15/ 6	64,4	0,8	11,5	11,7
26/ 6	29,1	3,8	2,1	1,7
1/ 7	26,4	2,4	1,4	1,2
20/ 7	32,9	2,0	1,1	2,1
23/ 7	30,6	10,5	4,9	2,8
28/ 7	12,7	5,2	0,8	0,0
30/ 7	29,9	7,0	2,0	1,9
1/ 8	(39,3)	16,4	(5,4)	5,4
2/ 8	(13,0)	33,8	-	0
7/ 8	25,9	4,2	1,6	1,3
12/ 8	21,0	10,0	6,2	1,5
17/ 8	15,8	6,1	1,9	0,1
18/ 9	18,1	6,4	1,1	0,2

()

valeurs douteuses

[]

averse à double-corps

- b) Variables d'entrées : la pluie décennale estimée, et un
 $IK \text{ moyen} = 20$

On a l'habitude de considérer que la crue décennale est engendrée par une pluie de récurrence décennale tombant sur un sol dont l'état d'humectation est médian et en général au milieu de la saison des pluies.

Nous caractérisons ces conditions par un indice $IK = 20$. Valeur un peu supérieure au IK moyen calculé sur la série pluviométrique de trois ans. Si l'on voulait arriver à une meilleure estimation de IK en milieu de la saison des pluies il faudrait reprendre la série pluviométrique de longue durée du poste de Manga, calculer les valeurs de IK correspondantes et la valeur moyenne de la série de IK est ainsi calculée.

Pour trouver la pluie décennale moyenne sur le bassin de BINNDE, Klein applique un coefficient d'abattement (0,84) à la pluie décennale ponctuelle à Manga et l'évalue à 84,5 mm.

Pour la méthode de l'hydrogramme unitaire il reconstitue trois crues décennales suivant que l'averse se présente avec un seul corps ou deux corps et estime la lame ruisselée décennale à 32,1 mm d'où $L_{ro} = 32,1 \text{ mm}$

Nous calculons avec notre modèle L_{rc} : $L_{rc} = 23,8 \text{ mm}$

- c) Calage du modèle.

Remarque préliminaire : La seconde fonction de transfert (équation 1 ou 2) a été établie à partir de documents photographiques récents (1979). Il n'est pas exclu que l'occupation des sols se soit modifiée entre 1965 et 1979 (proportion des terres cultivées, apparition de la charrue et culture en billons remplaçant les cultures par poquets). Néanmoins, nous nous proposons de confronter les L_{rc} , calculées à partir d'un modèle établi pour un état d'occupation des sols actuels et des L_{ro} , observées entre 1963 et 1965. Nous corrigerons, s'il y a lieu, la fonction de calage lorsque nous aurons les résultats de notre campagne de saison des pluies en cours.

Globalement les Lrc sont inférieures aux Lro. Nous avons calculé la corrélation linéaire entre Lrc et Lro. (fig. 25)

Sans prendre en compte la lame ruisselée décennale.

$$Lrc = 0,64 Lro - 0,11$$

$$R^2 = 0,817 \text{ pour } 38 \text{ valeurs}$$

en ajoutant la lame ruisselée décennale

$$Lrc = 0,69 Lro - 0,81 - Lro = 1,45 Lrc + 0,45$$

$$R^2 = 0,906 \text{ pour } 39 \text{ valeurs.}$$

Cette dernière corrélation est très significative, et nous la proposons comme fonction de calage du modèle.

Par cette corrélation on peut estimer la valeur de la lame ruisselée décennale :

$$Lrc = 23,8 \text{ mm} \Rightarrow Lro = 35,0 \text{ mm.}$$

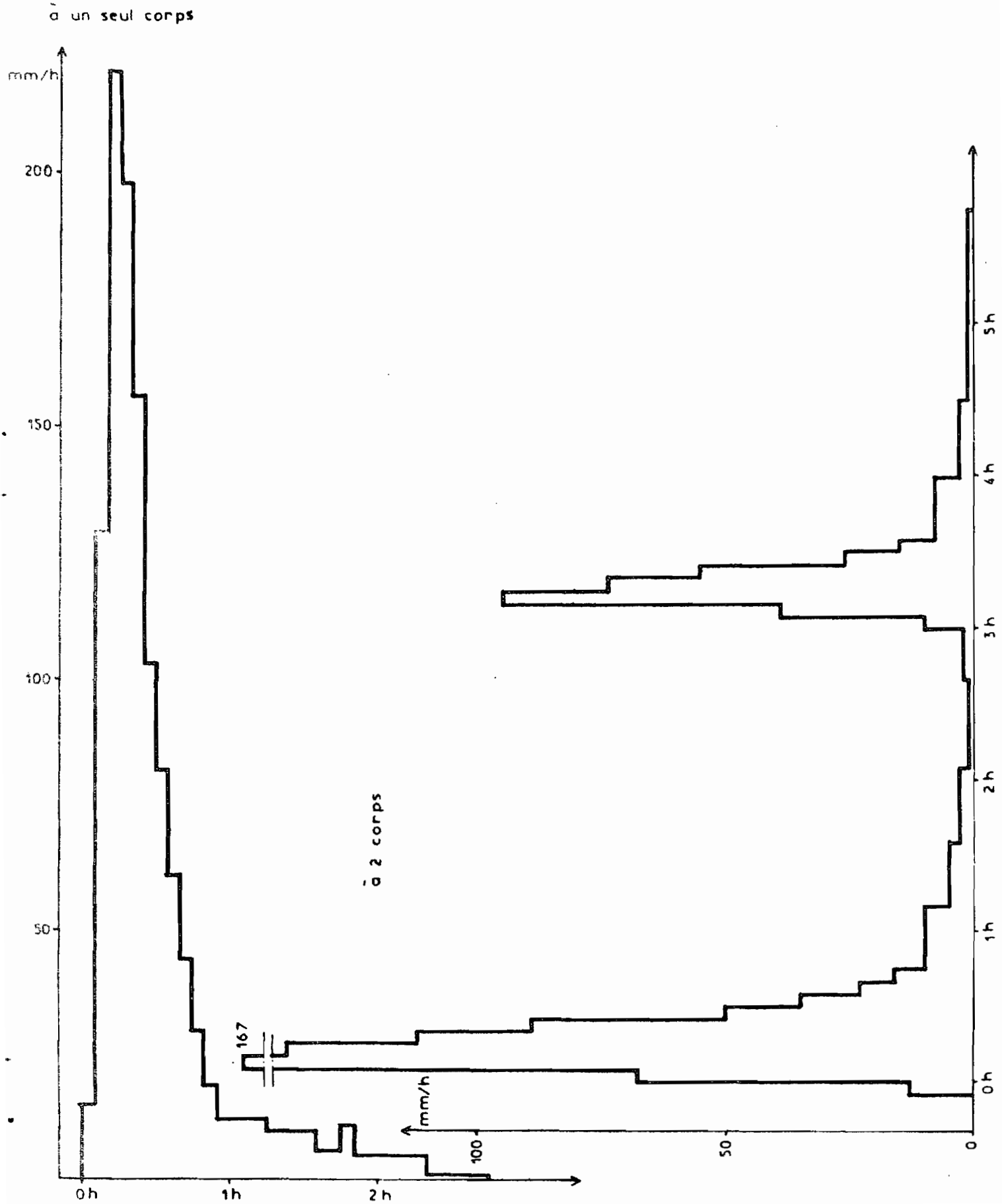
Si le bassin se comportait de façon identique aux parcelles, les points (Lrc, Lro) devraient s'aligner autour de la 1ère bissectrice.

Cette fonction de calage représente les facteurs de passage entre l'échelle de la parcelle et l'échelle du bassin. Ces facteurs englobent :

- l'effet de pente qui n'est pas ou peu pris en compte sur la parcelle,
- la répartition spatiale par rapport à l'exutoire des sols représentés par chaque parcelle. L'eau qui ruisselle de l'amont vers l'aval peut s'infiltrer, être captée par des petits endoreismes, non cartographiables, du bassin.
- l'homogénéité des averses sur le bassin
- la nature de la végétation qui était sèche lors des expériences de ruissellement au simulateur et qui est verte en saison des pluies
- bien d'autres paramètres : nature du réseau hydrographique, drains préférentiels que sont les pistes, affleurement du substratum géologique et de lambeaux de cuirassé qui ruissellent à 100 % et qui ne sont pas cartographiés etc...

HYETOGRAMMES TYPES DE L' AVERSE DECENNALE

(D'après KLEIN 1967)



3) Second modèle : estimation des lames ruisselées à partir du hyétogramme et de l'indice IK.

Pour chaque parcelle on calcule un hyétogramme de la pluie efficace en enlevant au hyétogramme de l'averse, la pluie d'imbibition et les hauteurs correspondant à des intensités inférieures à l'intensité limite de ruissellement. On détermine la pluie d'imbibition PI grace aux relations $PI = f(IK)$ (ch. V paragraphe 1) et l'intensité limite de ruissellement (Il) est estimée à partir des Il calculés avec les pluies f et g (ch. V paragraphe 6). On calcule ensuite pour chaque intensité (I) l'intensité de ruissellement (Rx) correspondante, à l'aide des équations $Rx = f(I, Il)$ (ch. V paragraphe 6) et la lame ruisselée en multipliant par le temps de I. En additionnant les lames ruisselées correspondant aux différentes intensités on trouve la lame ruisselée sur la parcelle (L_{rx}). Par l'équation (1) ou (2) on calcule Lrc, et le calage se fait de la même manière que pour le premier modèle.

a) En utilisant les hyétogrammes de la pluie décennale.

Klein propose trois hyétogrammes pour la pluie décennale suivant qu'elle possède un corps principal ou deux (fig n° 26). Nous choisissons de nouveau un indice IK moyen ($IK = 20$) caractérisant les conditions d'humectation du sol au milieu de la saison des pluies.

. averse à un seul corps.

Le hyétogramme se décompose de la façon suivante :

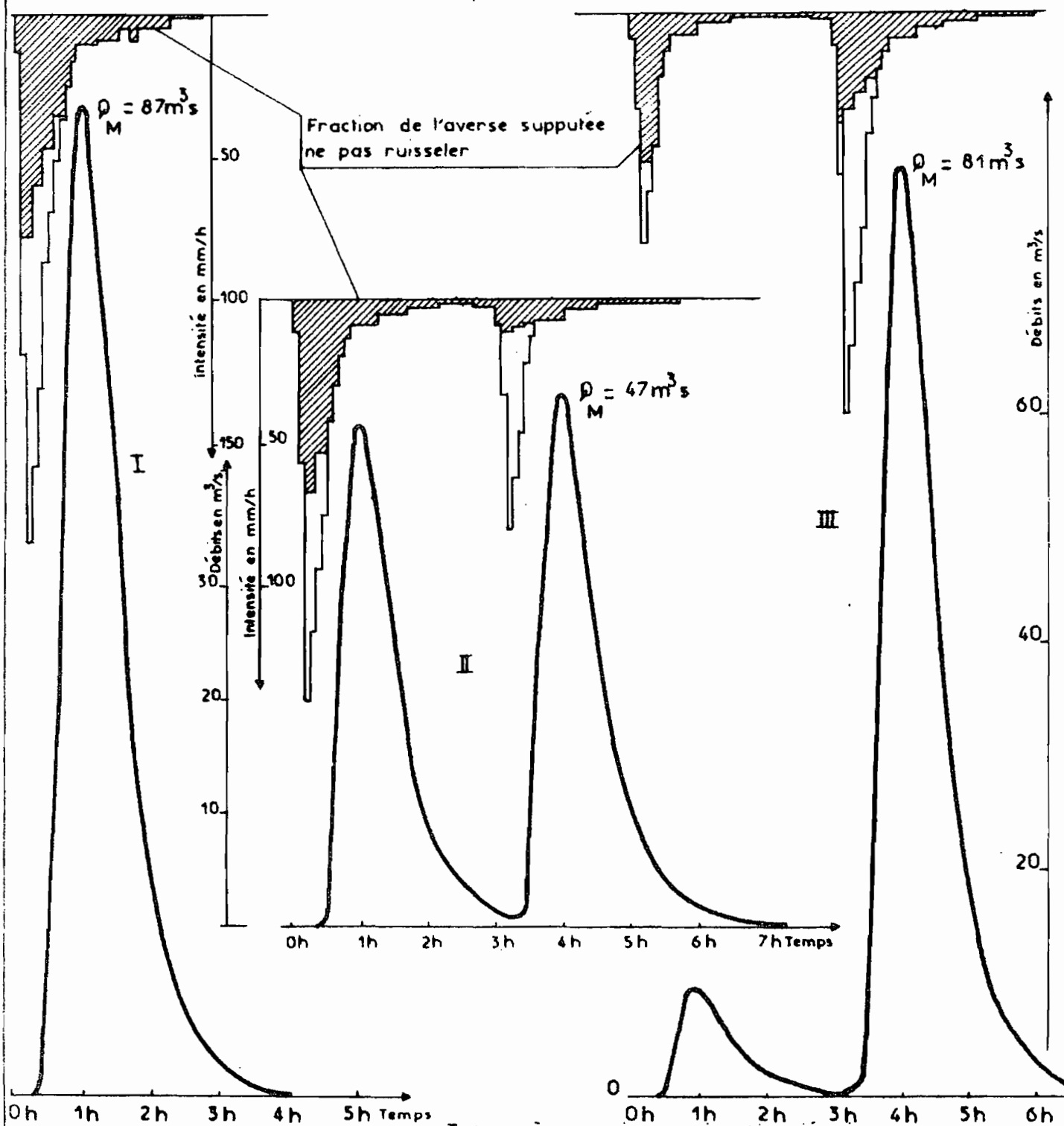
Tableau n° 19.

t min	I mm/h	P mm	t min	I mm/h	P mm
5	25	2,1	5	44	3,7
5	129	10,7	5	30	2,5
5	220	18,3	5	19	1,6
5	198	16,5	15	12	3,0
5	156	13,0	15	10	2,5
5	103	8,6	10	6	1,0
5	82	6,8	5	11	0,9
5	61	5,1	30	5	2,5
			25	1,5	0,6
				P Total	99,1mm

Crue DECENNALE

Détermination à partir du hyétogramme de l'averse décennale

D'après KLEIN 1967



Exemple du bassin de BINNDE

- I Averse à corps unique et pointe d'intensité unique
- II Averse à deux corps le plus important en premier
- III Averse à deux corps le plus important en dernier

Le tableau 20 donne les valeurs de :-Pe: Pluie efficace.

- PI : pluie d'imbibition, $-I_1$: intensité limite de ruissellement,
- K : coefficient de la relation $R_x : K (I - I_1)$, (chap. V paragraphe 6) pour chaque parcelle.

Les tableaux 21 montrent comment on calcule Lr_x .

Tableau n° 20.

Parcelle	P ₂ V. nat.	P ₃ V. nat.	P ₅ billons	P ₇ V. nat.	P ₉ Buttes mossi
Pe	74,4	59,4	66,9	65,4	84,3
PI	14	29	21,5	23	14
I ₁	12	13	13	17	3
K	0,43 *	0,68	0,89	0,80	0,91

* K correspondant au maximum de végétation.

Tableau n° 21.

Parcelle 2 Végétation naturelle				Parcelle 3 Végétation naturelle			
Pluie efficace		Rx mm/h	Lr mm	Pluie efficace		Rx mm/h	Lr mm
Tmn	I mm/h			tmn	I mm/h		
4,5	220	89,4	6,7	0,6	220	140,8	1,4
5	198	80,0	6,7	5	198	125,8	10,5
5	156	61,9	5,2	5	156	97,2	8,1
5	103	39,1	3,3	5	103	61,2	5,1
5	82	30,1	2,5	5	82	46,9	3,9
5	61	21,1	1,8	5	61	32,6	2,7
5	44	13,8	1,1	5	44	21,1	1,8
5	30	7,7	6,6	5	30	11,6	1,0
5	19	3,0	0,3	5	19	4,1	0,3
			28,2				34,8

Parcelle 5 billons				Parcelle 7 végétation naturelle			
Pluie efficace		Rx mm/h	Lr mm	Pluie efficace		Rx mm/h	Lr mm
tmn	I mm/h			tmn	I mm/h		
2,6	220	184,2	8,0	2,2	220	162,4	6,0
5	198	164,7	13,7	5	198	144,8	12,1
5	156	127,3	10,6	5	156	111,2	9,3
5	103	80,1	6,7	5	103	68,8	5,7
5	82	61,4	5,1	5	82	52,0	4,3
5	61	42,7	3,6	5	61	35,2	2,9
5	44	27,6	2,3	5	44	21,6	1,8
5	30	15,1	1,3	5	30	10,4	0,9
5	19	5,3	0,6	5	19	1,6	0,1
			51,7				43,1

Parcelle 9 Buttes mossi.			
Pluie efficace		Rx mm/h	Lr mm
tmn	I mm/h		
4,5	220	197,5	14,8
5	198	177,5	14,8
5	156	139,2	11,9
5	103	91,0	7,6
5	82	71,9	6,0
5	61	52,8	4,4
5	44	37,3	3,1
5	30	24,6	2,0
5	19	14,6	1,2
15	12	8,2	2,0
15	10	6,4	1,6
10	6	2,7	0,5
5	11	7,3	0,6
30	5	1,8	0,9
			71,1

La lame ruisselée décennale sur le bassin versant est obtenue en utilisant la relation.

$$Lrc = 0,20 Lr2 + 0,031 Lr3 + 0,18 Lr5 + 0,22 Lr7 + 0,09 Lr9$$

(1) soit $Lrc = 41,6 \text{ mm}$.

Averse à deux corps.

Le hyétogramme se décompose de la façon suivante :

Tableau n° 26.

Premier corps			entre les deux corps			second corps		
t min	Imm/h	P mm	t min	Imm/h	P mm	t min	Imm/h	P mm
5	13	1,1	25	10	4,2	5	10	0,8
5	68	5,7	25	5	2,1	5	39	3,2
5	167	13,9	30	3	1,5	5	95	7,9
5	138	11,5	35	1	0,6	5	74	6,2
5	112	9,3	20	2	0,7	5	55	4,5
5	99	8,3			9,1	5	26	2,2
5	50	4,2				5	15	1,3
5	35	2,9				25	8	3,3
5	23	1,9				30	3	1,5
5	16	1,3				75	1	1,2
		<u>60,1</u>						<u>34,1</u>

P. Total = 101,3 mm

* cas où le 1er corps est le plus important.

IK avant le 1er corps = 20 (estimé)

IK avant le 2ème corps = 84 (calculé)

Nous gardons les valeurs de PI et de Il pour le 1er corps et nous déterminons PI et Il pour le second corps.

Tableau n° 23

Parcelle	P ₂ V. nat.	P ₃ V. nat.	P ₅ billons	P ₇ V. nat.	P ₉ buttes mossi
PI	9	13	6	16	8
II	11	12	12	16	3
K	0,43	0,68	0,89	0,80	0,91

en procédant de la même façon qu'avant, pour chacun des corps on obtient :

Tableau n° 24.

Parcelle	P ₂	P ₃	P ₅	P ₇	P ₉
Lr corps 1	16,4	16,6	27,6	22,1	43,0
Lr corps 2	5,8	6,3	13,6	4,6	17,1
Lr averse	22,2	22,9	41,2	26,7	60,1

en extrapolant au bassin par la relation (1) nous obtenons :

$$Lrc = 30,3 \text{ mm}$$

* cas où le deuxième corps est plus important.

Nous gardons le même hyétogramme que précédemment en inversant la position des corps.

IK avant le 1er corps = 20 (estimé)

IK avant le 2ème corps = 50 (calculé)

Parcelle	P ₂	P ₃	P ₅	P ₇	P ₉
PI	9	20	10	16	12
II (corps 2)	11	12	12	16	3
K	0,43	0,68	0,89	0,80	0,91
Lr corps 1	3,6	0,1	1,9	0,6	10,5
Lr corps 2	19,0	22,5	37,8	27,5	45,5
Lr	22,6	22,6	39,7	28,1	55,5

En extrapolant au bassin on obtient p l'équation 1

$$Lrc = 29,8 \text{ mm}$$

En faisant la moyenne des trois lames ruisselées à partir des trois hyétogrammes on obtient la lame ruisselée décennale moyenne sur le bassin.

$$Lrc \text{ déc. moyenne} = 33,9 \text{ mm.}$$

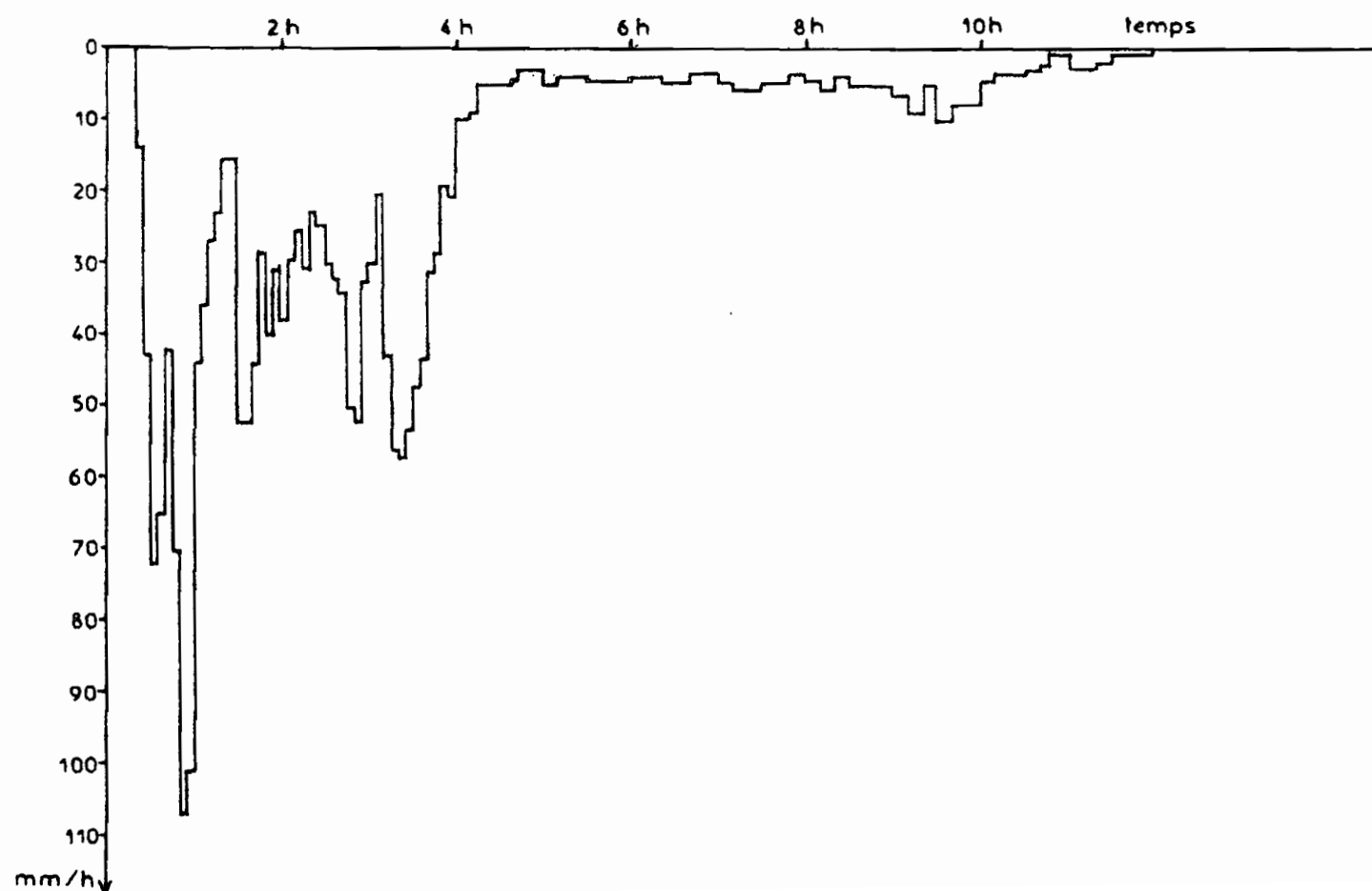
En planimétrant les hydrogrammes reconstitués par Klein (figure n° 27) pour ces différentes averses, nous obtenons les volumes ruisselés correspondant et nous en déduisons les lames ruisselées que l'on peut utiliser comme Lr₀.

	Lr ₀ (mm)	Lrc (mm)
Averse à un corps	33,3	41,6
Averse à 2 corps, le 1er étant le plus important.	32,1	30,3
Averse à 2 corps, le 2ème étant le plus important.	31,2	29,8
Moyenne	32,2	33,9

La fonction de calage semble être plus proche de la 1ère bissectrice que dans le 1er modèle, mais ne disposant que de trois points nous ne pouvons pas calculer.

Fig. 28

HYETOGRAMME MOYEN DE L' AVERSE TOMBEE LE 18 AOUT 1962
DANS LA REGION DE BOULSA



b) Lame ruisselée reconstituée à partir d'une averse réellement observée.

Nous avons cherché à reconstituer la lame ruisselée qu'aurait provoqué une averse exceptionnelle qui a été effectivement observée. Cette averse est celle enregistrée le 18 août 1962 sur les bassins de Boulssa ; (Nord-Est de Ouagadougou) elle est remarquable autant par son intensité et sa hauteur que par son extension spatiale. (fig 28).

Bien connue sur un bassin de 82 km², elle n'y atteint pas d'ailleurs ses valeurs extrêmes : sa hauteur moyenne est de 186 mm, répartie en un corps à pointes multiples qui dure un peu moins de 4 heures et d'une longue traîne de 8 heures où l'intensité varie entre 3 et 10 mm/h.

La probabilité d'apparition d'une telle averse est impossible à définir avec précision : peut être cinquantenaire plus sûrement centenaire, peut être plus rare encore si l'on tient compte de sa cohésion spatiale.

La crue qui lui correspond peut être qualifiée de "centenaire" à la seule fin de fixer les idées" / J.C. , KLEIN, CRSTOM 1967.

- décomposition du Hyétogramme.

Tableau n° 26.

t min	I mm/h	P mm	t min	I mm/h	P mm.
5	14	1,2	10	52	8,7
5	43	3,6	5	44	3,7
5	72	6,0	5	29	2,4
5	65	5,4	5	40	3,3
5	42	3,5	5	31	2,6
5	70	5,8	5	38	3,2
5	107	8,9	5	29	2,4
5	101	8,4	5	26	2,2
5	44	3,7	5	23	1,9
5	36	3,0	5	25	2,1
5	27	2,3	5	30	2,5
5	23	1,9	5	32	2,7
10	16	2,7	5	34	2,8

Tableau n° 26. (Suite)

T min	I mm/h	P mm	t min	I mm/h	P mm
5	50	4,2	20	5	1,7
5	52	4,3	20	3,5	1,2
5	32	2,7	10	5	0,8
5	30	2,5	20	6	2,0
5	20	1,7	17	5	1,4
5	43	3,6	13	3,5	0,8
5	56	4,7	10	4	0,7
5	57	4,8	10	6	1,0
5	53	4,4	10	4	0,7
5	42	4,0	25	5	2,1
5	43	3,6	10	6	1,0
5	32	2,7	10	9	1,5
5	29	2,4	10	5	0,8
5	19	1,6	10	10	1,7
5	21	1,8	20	7	2,3
10	10	1,7	10	5	0,8
5	9	0,8	20	3,5	1,2
25	5	2,1	10	3	0,5
5	4	0,3	10	2	0,3
20	3	1,0	15	1	0,2
7	5	0,6	20	3	1,0
23	4	1,5	10	0	0,3
30	4,5	2,3	25	1	0,4
20	4	1,3			

Durée de l'averse 11h 35

Hauteur totale de la pluie 181,5 mm.

Nous nous plaçons dans es conditions d'humidité moyennes au milieu de la saison des pluies et reprenons les mêmes valeurs de IK,

PI et II que pour la crue décennale.

Tableau n° 27.

Parcelle	P ₂	P ₃	P ₅	P ₇	P ₉
Lrc	39,4	52,2	74,1	55,6	122,6

En extrapolant au bassin Lrc = 60,7 mm, soit 1,6 fois la lame ruisselée décennale.

CONCLUSION.

Cette campagne de mesures sous pluies simulées a permis de mettre au point une méthode d'estimation du ruissellement sur un petit bassin de savane. Les deux modèles que nous proposons pour la reconstitution des lames ruisselées nous permettent déjà d'envisager l'utilisation du simulateur de pluie de façon opérationnelle.

Pratiquement, pour étudier un petit bassin, il faut :

- disposer d'une carte des états de surface et d'une carte de l'occupation des sols afin de définir les différentes unités dont on veut tester les propriétés hydrodynamiques, déterminer leur surface, et choisir l'emplacement des parcelles expérimentales.

- établir un protocole de pluies simulées en fonction d'un poste pluviométrique voisin.

- réaliser une campagne de "pluies simulées" de préférence en saison sèche pour que le protocole de pluies ne soit pas perturbé par des averses naturelles.

- définir pour chaque parcelle les caractéristiques hydrodynamiques des sols en utilisant les propriétés définies par A. LAFFORGUE en 1977. A ce sujet nous avons rencontré les mêmes difficultés que CHEVALLIER pour caractériser l'état d'humectation des sols par une mesure directe (chocs thermiques, sondes à neutrons, prélèvements) et avons utilisé, comme lui, un indice d'humidité qui a été plus efficace. On pourrait donc, dans un stade opérationnel, se passer de mesurer l'humidité.

- établir à partir des caractéristiques Hydrodynamiques des relations entre la pluie et le ruissellement permettant de calculer les lames ruisselées sur chaque parcelle.

- extrapoler au bassin les résultats de chaque parcelle en tenant compte de leur représentativité.

- caler ces extrapolations à partir de mesures en vraie grandeur en station de jaugeage (1 saison des pluies devrait suffire).

Ce modèle de calcul de lame ruisselée peut avoir comme finalité l'estimation du volume d'eau ruisselée correspondant à la crue décennale, estimation indispensable à la majorité des projets hydrauliques. Notons que connaissant le volume ruisselé de la crue décennale, ses autres paramètres (temps de montée, temps de base, débit moyen et maximal de ruissellement, débit de base) sont facilement déterminables en fonction des caractères morphologiques du bassin (RODIER 1965, et 1976). Cette estimation peut se faire sur une série statistique de lames ruisselées reconstituées, ou par approximation en calculant la lame ruisselée correspondante à une pluie de récurrence décennale ayant lieu dans des conditions d'humectation du sol moyenne et au milieu de la saison des pluies.

Nos deux modèles permettent d'estimer le volume d'eau ruisselé de la crue décennale, le second utilisant le hyétogramme reconstitué de la pluie décennale semble donner une estimation plus fine, mais le premier est plus commode d'emploi.

La pluie utile décennale est facilement calculable à partir d'une série pluviométrique de longue durée, tandis que la reconstitution de son hyétogramme demande une connaissance approfondie du régime pluviométrique.

Remarquons que pour le moment on ne saurait se passer d'observations à l'échelle du bassin pour caler les modèles de ruissellement à partir du simulateur mais on peut espérer que lorsque suffisamment de bassins auront été testés on pourra mieux appréhender la fonction de calage, la mettre en relation avec les caractéristiques physiques des bassins et les caractères climatiques de la région et peut-être la calculer à partir d'abaques pour n'importe quel bassin.

La méthode la plus fine pour étudier le ruissellement et en particulier la crue décennale sur un bassin consiste en un ajustement d'un modèle pluie-débit sur un échantillon observé de fortes crues, de reconstituer les crues à partir d'une série pluviométrique journalière de longue durée, puis de faire l'analyse statistique de l'échantillon de crues ainsi obtenu. Cette méthode demande une longue présence sur le terrain, souvent plus de trois ans, pour avoir un échantillon de crues observées statistiquement significatif et la chance de ne pas "rater" les événements exceptionnels dont l'apparition est aléatoire.

Les décideurs de projets d'aménagement n'ont souvent pas les moyens financiers ou le temps pour se permettre une telle étude. Jusqu'à présent, en Afrique, au sud du Sahara, il leur était proposé une seule méthode, de prédiction de la crue décennale facile d'emploi : celle établie par RODIER-AUVRAY (1964) et qui résulte de la synthèse des observations faites par l'ORSTOM sur de nombreux bassins versants représentatifs disséminés dans tous les pays de la zone intertropicale : il s'agit de transposer les résultats obtenus sur des bassins connus à celui qu'on étudie par une série d'abaques qui classent ce dernier dans des groupes en fonction de ses différents caractères morphologiques et climatiques.

Un bon nombre de ces caractères sont quantifiables /

- climat : statistique pluviométrique
- morphologie : surface, indice de compacité, indice de forme pente etc...

L'un d'eux, jusqu'à présent, restait uniquement subjectif : la perméabilité. Or ce paramètre a une importance-clef dans la détermination du coefficient de ruissellement, et peut être facilement quantifiable par le simulateur de pluie.

Pour conclure ce rapport nous nous proposons d'estimer la lame ruisselée décennale par la méthode RODIER-AUVRAY (annexe n° 7) et de comparer les valeurs obtenues pour la reconstitution de la lame ruisselée décennale sur le bassin de BINNDE par les trois méthodes suivantes :

- Modèle hydro-pluviométrique (hydrogramme unitaire) mis en oeuvre par Klein.
- Méthode Rodier Auvray.
- Simulateur.

	Modèle hydro-pluvio KLEIN	Rodier-Auvray	Simulateur, modèle $L_{rc} = f(PU.IK)$
LrD	32,1 mm	41,9 mm	35,0 mm

R E M E R C I E M E N T S

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation, qu'ils trouvent ici l'expression de notre reconnaissance et de nos remerciements.

Les hydrologues-chercheurs du Service Hydrologique à Bondy, dont MM ROCHE, PIEYNS... qui ont guidé avec bienveillance nos premiers pas en hydrologie, nous leur exprimons notre reconnaissance.

A. CAZENAVE, hydrologue-chercheur, chargé du programme-simulateur nous a fait profiter de sa large connaissance tant sur le plan pratique que théorique, qu'il veuille bien accepter nos remerciements.

Notre dette de reconnaissance est lourde envers le personnel du Centre de Ouagadougou.

J. CLAUDE, par ses conseils, remarques, et aussi par les facilités qu'il nous a accordées, a rendu un grand service à notre travail.

A. BERNARD est partie prenante dans ce programme-simulateur, nous lui devons l'organisation pratique et technique de cette campagne : l'installation du campement ; l'équipement du bassin ; les transformations mécaniques judicieuses sur le simulateur ; son assistance aux mesures et aux dépouillements, la mise en place de la campagne de saison des pluies et sa direction. Nous lui devons en grande partie ce mémoire et l'en remercions.

Nous n'oublions pas P. CHEVALLIER, qui n'est plus au Centre de Ouaga ; nous avons bénéficié largement de son étude et de son matériel.

C. VALENTIN, pédologue au Centre d'Abidjan, a bien voulu venir faire la pédologie du bassin.

Les agronomes ORSTOM, nous ont apporté leur concours.

Il est à mentionner également tous ceux qui ont contribué à la réalisation matérielle de cette étude : le personnel du garage, les hydrologues-techniciens, dont G. BILGO, ainsi que les dessinateurs, sans oublier la dame qui a assuré la frappe de ce mémoire.

Enfin, on ne saurait terminer ses remerciements sans parler de toutes les familles du personnel expatrié du Centre de Ouaga qui nous ont rendu le séjour agréable dans ce pays.

BIBLIOGRAPHIE

J. ASSELINE, C. VALENTIN - 1978

Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion.
Cahier CRSTOM ser. Hydrologique - Vol XV n° 4.

J. ASSELINE, - 1981

Construction d'un infiltromètre à Aspersion
Laboratoire de Pédologie expérimentale - Abidjan

Y. BRUNET-MORET - 1963

Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique
Occidentale, République de Haute-Volta - CIEH CRSTOM

H. CAMUS - 1973

Règles d'emploi de l'Humidimètre à neutrons à l'échelle
d'un bassin versant - Note interne.

D. CARDON - 1972

Analyse des facteurs responsables de la dispersion des
mesures neutroniques dans un sol donné et application à
la mesure de la variation du stock d'eau du sol -
cahier CRSTOM - série Hydrol. Vol IX n° 4.

A. CASENAVE, N. GUIGUEN, J.M. SIMON :

Etude des crues décennales des petits bassins forestiers
en Afrique Tropicale. Détermination des caractéristiques
hydrodynamiques des sols forestiers.

t. I : campagne 1977

t. 2 : campagne 1978

CIEH, CRSTOM, Abidjan.

A. CASENAVE - 1981

Etude des crues décennales des petits bassins forestiers
en Afrique tropicale - Rapport final
CRSTOM CIEH - Abidjan.

P. CHEVALLIER :

Etude du ruissellement sur deux bassins versants sahélien
JALAFANKA et POLAKA, Utilisation d'un infiltromètre à
aspersion - CRSTOM (à paraître)

J. COLLINET, C. VALENTIN - 1979

Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydro-
dynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applica-
tions agronomiques - CRSTOM, Abidjan.

G. GIRARD - 1975

Modèles Hydrologiques pour l'évaluation de la lame écoulée
en zone sahélienne et leurs contraintes - Cahier CRSTOM
série Hydro - Vol XI n° 3 - PARIS.

EL GREACEN, G. SCHRALE - 1976

The effect of Bulk Density on Neutron meter calibration
Reprint n° 1169 - Division of soil commonwealth
Scientific research organization

D. HILLEL - 1974

L'eau et le sol, principes et processus physiques
Department of soil science, The Hebrew University of
Jerusalem - Traduit de l'anglais par Louis W. DE BACKER
Edité par WANDER LOUVAINS

B. KALOGA - 1968

Carte pédologique de Reconnaissance de la Haute-Volta
centre Sud - CRSTOM PARIS

J.C. KLEIN - 1967

Etude Hydrologique de bassins Représentatifs dans le Sud-
Est de la Haute-Volta (Région de MANGA) (1963.1965)
CRSTOM PARIS

A. LAFFORGUE, E. NAAH - 1976

Exemple d'analyse expérimentale des facteurs de ruissel-
lement sous pluies simulées.
Cahier CRSTOM - série Hydrologique Vol XIII n° 3

A. LAFFORGUE - 1977

Inventaire et examen des processus élémentaires de ruis-
sellement et d'infiltration sur parcelles. Application à
une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies
simulées. Cahier CRSTOM, Ser. Hydrologie Vol XIV n° 4.

A. LAFFERGUE, A. CASENAVE - 1980

Derniers résultats obtenus en zone tropicale sur les modalités de transfert pluie débit par l'emploi de simulateur de pluie.

La Houille blanche n° 4-5 PP 243-249

F. MCNICD, B. PCUYAUD, P. SECHET - 1977

Le Bassin du Fleuve Volta - Monographies Hydrologiques
CRSTOM PARIS

P. POURRUT - 1968

Utilisation pratique de l'humidimètre à neutrons pour les mesures hydrologiques. Premiers résultats obtenus sur le bassin versant de la Tataïna (Rép. Malgache) campagne 1966-1967 - Cahier CRSTOM ser. Hydrol. Vol V n° 2

P. POURRUT, C. ZEBROWSKI - 1970

Détermination de certaines caractéristiques intrinsèques et hydrodynamiques de sols par utilisation des méthodes neutroniques en République Malgache.

Cahier CRSTOM Ser Hydrol. Vol VII n° 1

B. PCUYAUD - 1975

La mesure de l'humidité du sol par chocs thermiques, Cahier CRSTOM, ser. Hydrol. Vol XII n° 4

B. PCUYAUD, P. CHEVALLIER, C. VALENTIN - 1980

Notice d'utilisation de l'humidimètre à chocs thermiques construit par R. FRON - CRSTOM Abidjan

J.A. RODIER, C. AUVRAY - 1965

Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km²
CRSTOM - CIEH

M. SICOT - 1981

Analyse sommaire de la dynamique de l'eau dans les sols sahéliens sous pluies simulées - CRSTOM OUAGADOUGOU

C. VALENTIN - 1981

Organisations Pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique.

Thèse de 3ème cycle Université de Paris VII

C. VALENTIN - 1982

Esquisse au 1/25000 des organisations superficielles d'un petit bassin versant Soudanien
(BINNDE, centre Sud de la Haute-Volta) CRSTOM OUAGADOUGOU

BIBLIOGRAPHIE pour information générale sur les simulateurs, autre que celle directement utilisée dans ce rapport

C. TOEBES, V. CURYVAEV - 1970

Les Bassins représentatifs et expérimentaux.
Guide international des pratiques en matière de recherche - Etudes et rapport d'hydrologie, 4, UNESCO.

VEN TE CHOW et al. - 1964

Handbook of applied hydrology chapter 12.6
"Rainfall simulator" Mac Graw Hill Book Company

Publication n° 133 de l'I.A.H.S :

Erosion and Sediment Transport Measurement (Proceedings
of the Florence Symposium June 1981)

- . RORKE B. BRYAN : Soil erosion under simulated rainfall in the field and laboratory.
- . N.W. HUDSON : Instrumentation for studies of the erosive power of rainfall.
- . C.A. CNSTAD, J.K. RADKE, R.A. YOUNG : An outdoor portable rainfall erosion laboratory.
- . W.H. NEYBLING, G.R. FOSTER, R.A. NATTERMANN, J.D. NOWLIN, P.V. HOLBERT : Laboratory and field testing of a programmable plot sized rainfall simulator

A.R. BERTRAND, J.F. PARR :

Development of a portable sprinkling infiltrometer
tr. of the VII th. Int. Cong. of soil sci. MADISON 6, 4

J.A. RODIER - 1976

Estimation des débits de crues décennales pour les
petits bassins forestier en Afrique tropicale. Etude
préliminaire. Cah. CRSTOM Ser. Hydrol. Vol XIII, 4.

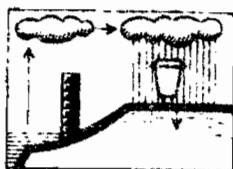
SEPTEMBRE 1982

RAPPORT D'ELEVE - ANNEE DE SPECIALISATION

- ANNEXES -

UN NOUVEL OUTIL POUR ESTIMER LE
RUISSELLEMENT SUR UN PETIT BASSIN VERSANT:
LE MINI-SIMULATEUR DE PLUIES.
EXPERIMENTATION SUR LE BASSIN DE BINNDE

Jean Hassane
ALBERGEL - TOURI



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER
SECTION HYDROLOGIE
CENTRE DE OUAGADOUGOU



- ANNEXE n° 1 Limites et effectifs des classes de la serie pluviométrique journalière à MANGA.
- ANNEXE n° 2 Dépouillement des hydrogrammes de ruissellement
- ANNEXE n° 3 Mesures gravimétriques de l'humidité et densités
- ANNEXE n° 4 Mesures neutroniques de l'humidité
- ANNEXE n° 5 Mesures thermiques de l'humidité
- ANNEXE n° 6 Etalonnage des sondes : chocs thermiques
sonde à neutrons
- ANNEXE n° 7 Calcul de crue decennale par la méthode Rodier -
Auvray.
- ANNEXE n° 8 Moyens mis en oeuvre pour la réalisation d'une
campagne simulateur.

A N N E X E n° 1

Limites et effectifs des classes de la serie pluviométrique
journalière à Manga.

TABLEAU :

MANGA (1949 - 1980)

CLASSIFICATION DES AVERSES JOURNALIERES. (en mm)

Années	0 à 05	05 à 10	10 à 15	15 à 20	20 à 25	25 à 30	30 à 35	35 à 40	40 à 45	45 à 50	50 à 55
1949	8	15	8	2	4		3	1	1	1	1
1950	9	14	3	10	4	2	4	3	1		
1951	9	20	6	12	3	3	1	1	2	1	2
1952	19	15	5	8	5	3	5	2	1	1	
1953	32	15	6	8	2	2	1	2	1	1	1
1954	48	12	13	6	1		2			1	
1955	42	7	7	6	4	6		2	1	2	
1956	31	11	10	6	3	4	1	2	1		2
1957	34	16	7	9	7	3	2	2	3		2
1958	28	13	7	7	6	3	2	1	1		
1959	21	9	9	11	3	2	1			1	1
1960	24	5	11	6	4	1	2	4	2	3	1
1961	33	8	6	7	4	3	4		2		
1962	41	23	12	6	2	4	3	0	1		1
1963	37	12	7	6	4	6	1	1	4	1	
1964	25	15	10	6	2	4	1	1	1		2
1965	31	10	7	7	7	4	1	1	1		1
1966	33	18	11	6	7	2	1	1	0	1	1
1967	34	9	17	8	4	1	4	2	2		
1968	35	14	8	6	4	3	3	2	2	1	
1969	27	17	11	8	1	6	2		1	3	
1970	25	15	11	5	3	1	2	1	2		
1971	21	21	10	7	2	4		3	2	1	1
1972	43	7	12	5	3	1	3	1	1	1	
1973	23	11	4	5	4	4	1	2	1	1	1
1974	29	14	6	12	7	3	2		1	2	
1975	25	9	10	4	1	1	2		4	1	
1976	10	12	12	5	5	2	3	1	1	2	1
1977	14	13	5	6	8		1		1	2	1
1978	22	15	5	6	4	2	5	1	1		1
1979	23	8	12	9	2	4	1	2	1		1
1980	12	11	11	7	4	4	3	1	1	3	
Total	848	414	279	222	124	88	67	40	44	30	21
Total cumulé	2225	1377	963	684	462	338	250	183	143	99	69

TABLEAU N°

(Suite et Fin)

Années	55 à 60	60 à 65	65 à 70	70 à 75	75 à 80	80 à 85	85 à 90	90 à 95	95 à 100	100 à 110	110 à 138	
1949							1					45
1950		1							1			52
1951							1				1	62
1952				1								65
1953	1	1										73
1954		1	1	1								86
1955	1	1						1				80
1956	2						1					74
1957	1				1	1						88
1958			2									70
1959	1											59
1960												63
1961	1						1					69
1962		1										94
1963												79
1964		1	1									69
1965			1		0							71
1966				1								82
1967	1											82
1968	1											79
1969				1					1			78
1970		1									1	67
1971		1				1						74
1972												77
1973				1								58
1974			2									78
1975					1							58
1976		1										55
1977							1					52
1978												62
1979		2										65
1980			1				1					59
Total	9	11	8	5	2	2	6	1	2	0	2	2225
Total cumulé	48	39	28	20	15	13	11	5	4	2	2	

A N N E X E n° 2

Dépouillement des hydrogrammes de ruissellement.

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
a	30,0	60,0	20,8	1,1	-	28,9	13,3	46,7	28,9	28,9	3,6	9,2	11,9
b ₁	15,0	60,0	7,3	2,4		12,6	(26,4)	(33,6)					
	10	120,0		7,3		2,7	103,6	16,4					
	5,7	90,0		4,1	0,3	1,6	76,8	13,2					
b ₂	6,8	90,0		2,9		3,9	(42,0)	(48,0)					
	10,0	60,0		4,5	0,4	5,5	27,6	32,4	21,9	25,6	36,5	52,7	41,6
c	15,0	60,0	4,1	6,6		8,4	50,4	9,6					
	22,3	134,0		20,6		1,7	127,9	6,1					
	15,0	90,0		12,5		2,5	73,2	16,8					
	10,0	6,0		9,6	0,3	0,4	52,8	7,2	49,6	12,7	79,6	58,2	85,2
d ₁	15,0	60,0	2,5	8,5		6,5	54,2	5,2					
	20,0	120,0		15,3		4,7	100,8	17,2					
	5,1	90,0		4,8	0,7	0,3	75,6	14,4					
d ₂	5,7	90,0		4,3		1,4	(73,0)	(17,0)					
	10,0	60,0		9,8	0,5	0,2	53,4	6,6	43,9	11,9	78,7	53,3	82,2
e	15,0	60,0	2,2	7,5		7,5	40,8	19,2					

PARCELLE : I₁

(2)

n° pluie	P.U	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
	20,0	120,0		13,3		6,7	79,2	40,8					
	15,0	90,0		10,4		4,6	57,6	32,4					
	10,0	60,0		6,8	0,8	3,2	39,6	20,4	38,8	21,2	64,7	57,8	67,1
f	15,0	60,0	2,0	6,1		8,9	38,4	21,6					
	22,6	135,6		15,7		6,9	105,6	30,0					
	18,8	112,8		13,5		5,3	91,2	21,6					
	7,5	90,0		6,0		1,5	63,6	26,4					
	16,8	67,2		12,4		4,4	45,6	21,6					
	13,1	52,6		9,1	2,1	4,0	33,6	19,0	64,9	28,9	62,2	91,8	70,7
g	15,0	60,0	4,5	3,2		11,8	(28,8)	(31,2)					
	20,3	122,0		12,4		7,9	98,4	23,6					
	18,4	110,4		15,7		2,7	93,6	16,8					
	15,0	90,0		13,2		1,8	76,8	13,2					
	11,2	67,2		10,2		1,0	55,2	12,0					
	12,5	50,0		10,0	1,1	2,5	36,0	14,0	65,6	26,8	71,0	87,9	74,6

PARCELLE : I 2

()

(1)

Végétation naturelle

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
a	32,0	64,0	32,0	0	0	32,0	0	(64,0)	0	32,0	0	0	0
b	19,2	76,8	12,7	0,7		18,5	(9,6)	(67,2)					
	18,4	110,4		5,2		13,2	44,4	66					
	14,0	84,0		5,5		8,5	28,8	55,2					
	10,0	60,0		3,3	0,3	6,7	19,2	40,8	15,0	46,4	24,3	48,9	30,7
c	15,0	60,0	9,1	0,9		14,1	(9,6)	(50,4)					
	18,4	110,4		5,7		12,7	48,0	62,4					
	14,0	84,0		6,6		7,4	42,0	42,0					
	10,0	60,0		4,3	0,3	5,7	19,2	40,8	17,8	39,6	31,0	48,3	36,9
d	15,0	60,0	10,5	0,6		14,4	(8,4)	(51,6)					
	18,4	110,4		6,1		12,3	51,6	58,8					
	14,0	84,0		6,4		7,6	38,4	45,6					
	10,0	60,0		3,8	0,2	6,2	19,2	40,8	17,1	40,3	29,8	46,9	36,4
e	15,0	60,0	9,4	0,7		14,3	(4,8)	(55,2)					
	20,0	119,8		5,1		14,9	48,8	71,8					
	15,0	30,0		5,4		9,6	30,0	60,0					

PARCELLE : I₂

(2)

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
	10,0	60,0		2,8	0,2	7,2	12,0	48,0	14,2	45,8	23,7	50,6	28,1
f	15,0	60,0	8,4	1,0		14,0	(12,0)	48,0					
	22,8	136,8		9,4		13,4	(76,8)	(60,0)					
	18,8	112,8		12,1		6,7	72,0	40,8					
	15,0	90,0		8,8		6,2	50,4	39,6					
	11,7	70,0		5,9		5,8	32,4	37,6					
	17,2	51,6		7,8	0,6	9,4	24,0	27,6	45,6	54,9	45,4	92,1	49,5
g	15,0	60,0	21,9	0		15,0	0	60,0					
	22,0	132,0		2,0		20,0	(24,0)	(108,0)					
	18,4	110,4		4,5		13,9	33,6	76,8					
	15,0	90,0		4,9		10,1	28,8	61,2					
	11,2	67,2		4,1		7,1	24,0	43,0					
	12,5	50,0		3,8	0,2	8,7	12,0	38,0	19,5	74,6	20,3	72,2	27,0

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
a	30,0	60,0	30,0	0	0	30,0	0	(60,0)	0	30,0	0	0	0
b	45,0	60,0	23,3	3,5	0,1	41,4	11,4	48,6	3,6	41,4	8,0	21,3	16,5
c	15,0	60,0	15,0	0		15,0	0	(60,0)					
	20,0	120,0	6,3	5,9		14,1	55,2	64,8					
	15,0	90,0		5,6		9,4	31,2	58,9					
	10,0	60,0		2,5	0,1	7,5	12,0	48,0	14,1	45,9	23,5	38,7	36,4
d	15,0	60,0	15,0	0		15,0	0	(60,0)					
	20,0	120,0	1,9	9,5		10,5	78,0	42,0					
	15,0	90,0		9,2		5,8	43,2	46,8					
	10,0	60,0		4,6	0,6?	5,4	36,0	24,0	23,3	(36,1)?	38,8	43,1	54,1
e	15,0	60,0	15,0	0		15,0	0	(60,0)					
	20,0	120,0	6,9	3,2		16,8	40,8	79,2					
	15,0	90,0		4,6		10,4	33,6	56,4					
	10,0	60,0		3,5	0,4	6,5	20,4	39,5	11,7	43,8	19,5	38,1	30,7
f	15,0	60,0	15,0	0		15,0	0						
	23,3	140,0	2,3	9,4		13,9	86,4	53,6					
	18,8	112,8		11,6		7,2	67,2	45,6					
	15,0	90,0		9,3		5,7	52,8	37,2					
	11,7	70,0		7,0		4,7	39,6	30,4					
	12,5	50,0		6,6	0,4	5,9	24,0	26,0	44,3	52,0	46,0	79	56,1
g	15,6	62,5	15,6	0		15,6	0						
	23,3	140,0	23,3	0		23,3	0						
	18,2	109,2	6,0	0,4		17,8	(14,4)	(94,8)					

PARCELLE : II₃

(2)

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
	14,0	84,0		2,3		11,7	15,6	68,4					
	12,4	74,4		1,7		10,7	9,6	64,8					
	12,5	50,0		0,5	0	12,0	00	>50	4,9	91,1	5,3	51,1	9,6

(?) Dr bruitée par une vidange.

PARCELLE : II₄ Sol nu

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
a	30,0	60,0	5,8	8,1	0,6	21,9	27,6	32,4	8,7	21,3	29,0	21,9	35,9
b	15,0	60,0	4,4	4,0		11,0	(33,6)	(26,4)					
	20,0	120,0		18,6		1,4	112,8	7,2					
	15,0	90,0		14,9		0,1	87,6	2,4					
	10,0	60,0		7,6	0,6	2,4	50,4	9,6	45,7	14,3	76,2	55,6	82,2
c	30,0	60,0	3,1	21,9	1,0	8,1	55,2	4,8	22,9	7,1	76,3	26,9	85,1
d	15,0	60,0	3,9	7,2		7,8	50,4	9,6					
	20,0	120,0		17,9		2,1	112,8	7,2					
	15,0	90,0		14,7		0,3	84,0	6,0					
	10,0	60,0		9,4	1,2	0,6	52,8	7,2	50,4	9,6	84,0	56,1	89,8
e	15,0	15,0	5,8	4,0		11,0	33,6	26,4					
	20,0	35,0		11,8		8,2	86,4	33,6					
	15,0	50,0		10,1		4,9	58,8	31,2					
	10,0	60,0		6,9	1,8	3,1	42,0	18,0	34,6	25,4	57,7	54,2	63,8
f *	15,0	60,0	5,4						66,7	28,9	69,8	90,2	73,9
g	14,7	58,8	3,8	5,2		9,5	(37,2)	(31,6)					
	22,6	135,6		15,0		8,3	92,4	43,2					
	18,3	110,0		16,4		1,9	82,8	27,2					
	15,0	90,0		12,3		2,7	72,0	18,0					
	11,7	70,0		10,5		1,2	57,6	12,4					
	12,5	50,0		10,0	1,0	2,5	40,8	9,2	70,4	25,1	73,7	91,7	76,8

* trous d'évacuation d'eau de la parcelle bouchés par des particules de végétaux brûlés.

Bilan global de la pluie.

PARCELLE : II5 billons

(1)

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
a	30,0	60,0	28,2	0,2	0,3	29,8	-	(60,0)	0,5	29,5	1,6	1,8	27,7
b	15,0	60,0	15,0	0		15,0	0	(60,0)					
	20,0	120,0		6,0		14,0	(43,2)	(76,9)					
	15,0	90,0		6,2		8,8	43,2	46,8					
	10,0	60,0		5,0	0,7	5,0	33,6	26,4	17,9	42,1	29,8	45,0	39,8
c	15,0	60,0	11,6	0,8		14,2	(26,4)	(33,6)					
	20,0	120,0		8,4		11,6	(55,2)	(64,8)					
	15,0	90,0		8,2		6,8	55,2	34,8					
	10,0	60,0		6,7	0,9	3,3	40,8	19,2	25,0	35,0	41,7	48,4	51,7
d	15,0	60,0	12,5	0,2		14,8	(8,4)	(51,6)					
	20,0	120,0		7,2		12,8	(50,4)	(69,6)					
	15,0	90,0		8,4		6,5	64,8	25,2					
	10,0	60,0		7,2	0,5	2,8	36,0	24,0	23,5	36,5	39,2	47,5	49,5
e	15,6	62,4	15,6	0		15,6	(0)	(60,0)					
	20,0	120,0	4,2	3,7		16,3	(30,6)	(89,4)					

PARCELLE : II₅

(2)

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
	15,2	91,2		4,3		10,9	38,4	51,6					
	10,4	62,4		5,1	0,7	4,6	28,8	33,6	13,6	47,4	22,2	41,4	32,9
f	15,0	60,0	15,0	0		15,0	(0)	(60,0)					
	23,3	140,0	1,1	7,2		16,1	(66,0)	(74,0)					
	18,3	110,0		13,9		4,4	88,8	21,2					
	15,0	90,0		12,0		3,0	67,2	22,8					
	12,8	76,8		9,5		3,3	52,8	24,0					
	13,5	54,0		10,2	1,4	3,0	40,8	9,2	54,2	42,7	54,2	81,8	67,1
g	15,0	60,0	15,0	0		15,0	(0)	(60,0)					
	23,3	140,0	8,3	5,6		17,7	98,4	41,6					
	18,3	110,0		12,0		6,3	72,0	38,0					
	14,3	85,8		8,9		5,4	50,4	35,4					
	11,7	70,0		5,6		6,1	37,2	32,8					
	12,5	50		6,5	0,8	6,0	25,8	24,2	39,4	55,7	41,4	71,8	54,9

PARCELLE : II₆

Traitement standard

(1)

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
a	30,0	60,0	17,5	5,1	0,7	24,9	36,0	24,0	5,8	24,2	19,3	12,5	46,4
b	15,0	60,0	6,6	5,0		10,0	(45,6)	(14,4)					
	20,0	120,0		17,3		2,7	108,0	12,0					
	15,0	90,0		13,2		1,8	79,2	11,0					
	10,0	60,0		9,1	1,7	0,9	48,0	12,0	46,3	13,7	77,2	53,4	86,7
c	15,0	60,0	5,2	3,7		11,3	(28,8)	(31,2)					
	20,0	120,0		18,3		1,7	93,7	26,3					
	15,0	90,0		13,3		1,7	79,7	10,3					
	10,0	60,0		8,3	2,3	1,7	50,2	9,8	45,9	14,1	76,5	54,8	83,8
d	15,0	60,0	6,3	5,7		9,3	(49,2)	(10,8)					
	20,0	120,0		16,7		3,3	109,2	10,8					
	15,0	90,0		13,0		2,0	81,6	8,4					
	10,0	60,0		9,3	2,1	0,7	55,2	4,8	46,8	13,2	78,2	57,9	80,8
e *	14,4	57,6	7,2	4,2		10,2	(40,8)	(19,2)					
	19,2	115,2		0,5		18,7	-						

* Formation d'un trou au milieu de la parcelle drainant tout le ruissellement.

PARCELLE : II₆

(2)

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
	15,0	90,0		0,6		14,4	-						
	9,6	57,6		0,5	0	9,1	-		5,8	52,4	-	-	-
f	15,0	60,0	4,7	8,1		6,9	50,4	9,6					
	23,3	140,0		20,4		2,9	127,2	12,8					
	18,8	112,8		16,8		2,0	100,8	12,0					
	15,0	90,0		12,8		2,2	79,2	10,8					
	11,7	70,0		10,8		0,9	60,0	10,0					
	12,5	50,0		10,6	2,0	1,9	40,8	9,2	81,5	14,8	84,6	91,6	89,0
g	15,0	60,0	7,7	4,1		15,9	(40,8)	(19,2)					
	23,3	140,0		20,3		3,0	129,6	10,4					
	18,3	110,0		17,6		0,7	100,8	9,2					
	15,0	90,0		14,9		0,1	84,0	6,0					
	11,7	70,0		10,9		0,8	64,8	5,2					
	5,0	50,0		4,3	1,8	0,7	45,6	3,4	63,9	19,4	72,4	80,6	79,3

PARCELLE : III₇

Végétation naturelle

(1)

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
a	15,0	60,0	>30	0	0	0	0	0	(60,0)	(30,0)	0	0	0
b*	14,5	58	24,1	0		14,5	16,8	58					
	19,2	115,0		1,1		18,1	12,4	98,2					
	13,3	80,0		0,4		12,9	0	67,6					
	9,6	58,0		0	0	9,6	0	58,0	1,5	55,1	2,7	32,5	4,6
c	14,5	58,0	15,3	0		14,5	0	58					
	19,2	115,0		7,8		11,4	64,8	50,2					
	13,3	80,0		7,2		6,1	40,8	39,2					
	9,7	58,0		3,8	0,4	5,9	21,6	36,4	19,2	37,5	33,9	41,4	46,4
d	14,5	5,8	23,3	0,2		14,3	15	43					
	19,2	115,2		11,8		7,2	86,4	28,8					
	13,3	80		9,4		3,9	50,4	29,6					
	9,6	5,8		4,2	0,4	5,4	26,4	31,6	26,0	30,4	45,9	33,3	78,1
e	15,0	60,0	19,2	0,0		15,0	0	60					
	21,0	126,0		5,6		15,4	48	78					

b* : crapaud bouchant la gulotte

PARCELLE : III₇ (2)

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
	14,5	87,0		6,6		7,9	43	44					
	10,0	60,0		4,0	0,3	6,0	22	38	16,5	44,0	27,3	41,3	40,0
f	15,5	62,0	12,0	0,3		15,2	(5)	(57)					
	22,3	134,0		10,3		12,0	98	36					
	18,3	110,0		11,8		6,5	72	38					
	14,6	88,0		8,8		5,8	53	35					
	11,3	68,0		6,7		4,6	38	30,0					
	8,3	50,0		7,5	0,5	0,8	31	19	45,9	44,4	50,8	78,3	58,6

PARCELLE III₈

Sol nu

(1)

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
a	33,5	67,0	3,9	8,0	0,2	25,5	28,8	38,2	8,0	25,5	23,9	29,4	27,2
b	16,8	67,0	3,6	6,6		10,2	42,0	25,0					
	20,0	120,0		15,5		4,5	97,8	22,2					
	16,0	96,0		11,9		4,1	68,4	27,6					
	11,2	67,0		8,5	1,1	2,7	45,6	21,4	43,6	20,4	68,1	60,4	72,2
c	16,7	67,0	3,7	7,9		8,8	48	19					
	20,0	120,0		14,0		6,0	96	24					
	16,0	96,0		13,1		2,9	77	19					
	11,2	67,0		8,6	1,5	2,6	50	17	45,1	18,8	70,6	60,2	74,9
d	16,7	67,0	3,7	8,9		7,8	48	19					
	20,0	120,0		16,4		3,6	(120)	(0)					
	16,0	96,0		14,6		1,4	84	12					
	11,2	67,0		9,4	0,9	1,8	55	12	50,2	13,7	78,6	60,2	83,4
e	15,5	62,0	3,6	4,8		10,7	34	28					

PARCELLE : III₈

(2)

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
	22,0	132,0		14,3		7,7	91	41					
	14,7	88,0		10,3		4,4	62	26					
	10,3	62,0		6,6	0,3	3,7	38	24	36,7	26,2	58,7	55,9	65,7
f *	15,0	60,0	2,3	3,9		11,1	20,4	39,6					
	23,3	140,0		12,3		11,0	84,0	56					
	15,0	90,0		8,5		6,5	48,0	42					
	11,7	70,0		4,6		7,1	26,4	43,6					
	18,8	112,8		10,6		8,2	64,8	48,0					
	120	48,0		4,6	0,2	7,4	18,0	30,0	44,7	51,1	46,7	93,5	47,8

f* : inversion dans la séquence de la pluie.

PARCELLE : III₉

Buttes mossi

(1)

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
a	31,5	63,0	13,1	5,5	8	26,0	34,	29	5,5	26,0	17,5	18,4	29,9
b	16,2	65,0	15,3	0,3		14,9	14	51					
	20,0	120,0		12,6		7,4	79	41					
	15,2	91,0		8,8		2,4	55	36					
	10,8	65,0		4,3	0,2	6,5	26	39	26,2	31,0	42,2	46,9	55,9
c	16,2	65,0	16,2	0,0		16,2	0	65					
	20,0	120,0		13,1		6,9	98	22					
	15,2	91,0		11,9		3,3	72	19					
	10,8	65,0		7,5	0,3	3,3	46	19	32,8	29,4	52,7	46	71,3
d	16,2	65,0	4	4,0		12,2	38,4	26,6					
	20,0	120,0		15,8		4,2	96,0	24,0					
	15,2	91,0		11,6		3,6	69,6	21,4					
	10,8	65,0		7,0	0,5	3,8	43,2	21,8	38,9	23,3	62,5	58,2	66,8
e	15,8	63,0	9,5	3,9		11,9	(48,0)	(15)					

PARCELLE : III₉

(2)

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
	20,2	121,0		17,2		3,0	111,6	9,4					
	14,8	89,0		13,2		1,6	76,8	12,2					
	10,5	63,0		8,8	0,6	1,7	52,8	10,2	43,7	17,6	71,3	51,8	84,4
f	150	60,0	7,5	4,1		10,9	(45,6)	(14,4)					
	23,2	139,2		18,1		5,1	120,0	19,2					
	18,2	109,2		16,4		1,8	97,2	12,0					
	14,6	87,6		12,9		1,7	76,8	10,8					
	11,4	68,4		9,7		1,7	57,6	10,8					
	12,5	50,0		10,8	1,0	1,7	43,8	6,2	73,0	21,9	76,9	87,4	83,5

PARCELLE III₁₀ traitement standard (1)

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
a	30,0	60,0	15,9	4,2	0,4	25,8	15,6	44,4	4,2	25,8	14,0	14,1	29,8
b	15,0	60,0	3,9	7,1		7,9	43,2	17					
	20,0	120,0		17,5		2,5	109,2	11,0					
	14,8	88,8		14,4		0,4	84,4	2,4					
	10,0	60,0		8,0	0,9	2,0	48,0	12,0	47,0	12,8	78,6	55,9	84,1
c	15,0	60,0	3,1	7		8,0	42	18					
	20,0	120,0		17,2		2,8	108	12					
	14,8	88,8		14,2		0,6	84	4,4					
	10,0	60,0		9,5	1,2	0,5	50	9,6	49,1	11,9	82,1	60,7	80,9
d	15,0	60,0	4,2	6,7	2,3	8,3	45,6	14,4					
	20,0	120,0		17,2		2,8	112,8	7,2					
	15,0	90,0		14,2		0,8	81,6	8,4					
	10,0	60,0		9,1		0,9	45,6	14,4	49,5	12,8	82,5	55,8	88,7

PARCELLE III₁₀ (2)

n° pluie	P.U.	Ic	Pi	Lr	Dr	Li	Rx	Fn	SLr	SLi	Kru	Pe	Kre
e	15,0	60,0	3,1	7,5		7,5	46,8	13,2					
	20,0	120,0		16,2		3,8	108,0	12,0					
	15,0	90,0		13,4		1,6	80,4	9,6					
	10,0	60,0		8,0	1,2	2,0	46,8	13,2	46,3	14,9	77,2	56,9	81,4
f	15,0	60,0	3,1	8,5		6,5	48	12					
	23,3	140,0		18,1		5,2	120	20					
	18,2	109,0		16,8		1,4	102	07					
	15,0	90,0		10,9		4,1	77	13					
	11,7	70,0		9,9		1,8	58	12					
	13,0	52,0		10,5	1,5	2,5	41	9	84,7	21,5	88,0	93,1	91,0

A N N E X E n° 3

Mesures gravimétriques de l'humidités et densités.

Date	Parcelle	Profondeur cm	Hp med	HV	Date	Parcelle	Profondeur cm	Hp med	HV
14-02-82	I ₁	10	0,60	0,74	18-02-82	I ₂	40	7,96	10,43
		20	1,25	1,36			50	3,07	3,68
		30	2,23	2,23			80	1,99	2,21
		40	2,41	2,65			100	1,89	2,06
		50	1,87	2,21	20-02-82	I ₂	10	16,82	20,18
		80	1,59	1,86			20	12,38	12,38
20-02-82	I ₁	100	1,94	2,44			30	12,71	14,11
							40	10,99	14,40
		10	21,05	25,89	21-02-82	I ₂	50	3,40	4,08
		20	22,65	24,69			80	2,08	2,31
		30	16,04	16,04			100	1,84	2,01
		40	3,96	4,35			10	18,34	22,01
15-02-82	I ₂	50	3,11	3,67	20-02-82	I ₂	20	14,46	14,46
		80	1,65	1,93			30	13,74	15,25
		100	1,94	1,26			40	13,20	17,29
		10	0,70	0,84			50	10,12	12,14
		20	0,59	0,59	22-02-82	I ₂	80	8,09	8,98
		30	0,89	0,99			100	2,53	2,76
18-02-82	I ₂	40	1,06	1,39			10	22,34	26,81
		50	1,10	1,32			20	16,72	16,72
		80	1,46	1,62			30	15,39	17,08
		100	1,46	1,59			40	13,18	17,27
					22-02-82	I ₂			

Date	Parcelle	Profondeur cm	Hp med	HV	Date	Parcelle	Profondeur cm	Hp. med	HV
09-03-82	I ₂	10	19,41	23,29	27-02-82	II ₃	50	13,07	15,68
		20	13,7	13,70			80	6,65	7,38
		30	13,33	14,80			100	1,60	1,74
		10	7,10	8,52			50	11,0	
		20	5,49	5,49			10	12,36	17,18
		30	7,18	7,97			20	14,66	20,08
		40	6,77	8,87			30	12,18	17,17
		50	5,16	6,19			40	10,68	13,03
		80	1,89	2,10			50	10,00	
		100	1,31	1,43					
		10	18,49	22,19	01-03-82	II ₃	10	14,72	20,46
		20	10,42	10,42			20	14,80	20,28
		30	8,24	9,15			30	15,11	21,31
		40	8,84	11,58			40	13,57	16,56
		50	8,65	10,38			50	11,49	
		80	4,08	4,53					
		100	3,98	4,34					
24-02-82	II ₃ xII ₄	10	0,75	1,04	02-03-82	II ₃	10	11,34	15,76
		20	0,91	1,25			20	10,58	14,49
		30	1,74	2,45			30	10,51	14,82
		40	4,04	4,93			40	10,87	13,26
		50	4,68	(5,71)			50	11,10	
		80	8,25	(10,07)			80	14,01	
							100	13,08	
							10	15,03	20,89
							20	13,52	18,52
							30	18,49	26,07
26-02-82	II ₃	10	11,51	16,00	03-03-82	ap "f"	40	21,61	26,36
		20	12,96	17,76			50	23,10	
		30	12,17	18,27					
		40	10,61	12,94					
ap "d"		10	19,41	23,29			50	13,07	15,68
		20	13,7	13,70			80	6,65	7,38
		30	13,33	14,80			100	1,60	1,74
		10	7,10	8,52			50	11,0	
		20	5,49	5,49			10	12,36	17,18
		30	7,18	7,97			20	14,66	20,08
		40	6,77	8,87			30	12,18	17,17
		50	5,16	6,19			40	10,68	13,03
		80	1,89	2,10			50	10,00	
		100	1,31	1,43					
av "g"		10	18,49	22,19			10	14,72	20,46
		20	10,42	10,42			20	14,80	20,28
		30	8,24	9,15			30	15,11	21,31
		40	8,84	11,58			40	13,57	16,56
		50	8,65	10,38			50	11,49	
		80	4,08	4,53					
		100	3,98	4,34					
ap "g"		10	0,75	1,04			10	11,34	15,76
		20	0,91	1,25			20	10,58	14,49
		30	1,74	2,45			30	10,51	14,82
		40	4,04	4,93			40	10,87	13,26
		50	4,68	(5,71)			50	11,10	
		80	8,25	(10,07)			80	14,01	
							100	13,08	
							10	15,03	20,89
							20	13,52	18,52
							30	18,49	26,07
av "a"		10	11,51	16,00			40	21,61	26,36
		20	12,96	17,76			50	23,10	
		30	12,17	18,27					
		40	10,61	12,94					
ap "c"		10	11,51	16,00			10	11,34	15,76
		20	12,96	17,76			20	10,58	14,49
		30	12,17	18,27			30	10,51	14,82
		40	10,61	12,94			40	10,87	13,26
							50	11,10	
							80	14,01	
							100	13,08	
							10	15,03	20,89
							20	13,52	18,52
							30	18,49	26,07

Date	Parcelle	Profondeur cm	Hp med	HV	Date	Parcelle	Profondeur cm	Hp med	HV
03-03-82 14h50 ap "f"	II ₃	10	13,13	18,25	02-03-82	II ₅	5	13,00	17,03
		20	15,94	21,84			10	11,39	14,92
		30	12,07	17,02			15	6,98	9,56
		40	10,85	13,24	06-03-82	II ₅	10	11,94	15,64
		50	10,83				20	14,90	20,41
27-03-82 av "g"		80	10,33				30	14,78	19,21
		100	12,70				40	14,81	19,70
		10	4,12	5,73			50	16,01	
		20	7,41	10,75	28-03-82	II ₅	10	2,84	3,72
27-03-82 ap "g"		30	5,57	7,85			20	6,41	8,78
		40	6,80	8,30	28-03-82		10	12,02	15,75
		10	13,37	18,58			20	9,77	13,38
		20	12,53	17,17	11-03-82	III 7-8 9-10	10	2,70	3,13
		30	14,63	20,63			20	4,87	6,67
25-02-82	II5x6	40	14,75	18,00			30	5,15	6,70
		50	15,09				40	7,20	9,07
		60	13,94				50	7,38	9,30
		70	17,24				80	9,05	9,14
		80	15,48				90	8,85	12,83
		10	2,66	3,48					
		20	5,30	7,26					

Date	Parcelle	Profondeur cm	Hp med	HV	Date	Parcelle	Profondeur cm	Hp med	HV
av "a"	III ₇	30	2,74	3,56	22-03-82	III ₇	Surf. av Surf. ap	14,55 14,48	16,88 16,80
40		40	4,64	6,17					
50		50	6,37						
14-03-82		10	14,09	16,34					
20		20	13,68	18,74					
av "c"	III ₇	30	10,40	13,52	22-03-82		10	15,37	17,83
		40	10,83	13,65					
		10	14,62	16,96			20	14,38	19,70
17-03-82		20	13,71	18,78			30	14,83	19,28
		30	14,34	18,64			40	15,43	19,44
ap "c"		40	13,72	17,29	24-03-82	II ₇	50	15,06	18,98
		50	13,55	17,07			80	15,72	15,88
		80	11,43	11,54			10	10,95	12,70
		10	14,55	16,88			20	10,82	14,82
18-03-82		20	14,24	19,51			30	12,80	16,64
		30	15,72	20,44			40	13,66	17,21
(9h30)		40	15,86	19,98			50	14,30	18,02
		50	15,18	19,13			80	14,28	14,42
		80	15,38	15,53			10	14,31	16,60
							20	11,94	16,36
20-03-82	III ₇	Surf. av	12,16	14,11	24-03-82	III ₈	30	10,26	13,34
		Surf. ap	15,20	17,63			40	9,31	11,73
21-03-82		10	11,85	13,75					
15h ap		20	13,53	18,54					
"e"		30	13,43	17,46					
		40	13,35	16,82					
		50	14,93	18,81					
		80	15,46	15,61					

Date	Parcelle	Profondeur cm	Hp med	HV	Date	Parcelle	Profondeur cm	Hp med	HV
20-03-82 b	III ₉	Surf. av	7,69	8,92	31-03-82 f	III ₁₀	10	13,68	15,87
		Surf. ap	13,30	15,43			20	13,43	18,40
21-03-82 c	III ₉	Surf. av	13,44	15,59			30	12,80	16,64
		Surf. ap	15,36	17,82			40	11,16	14,06
21-03-82 d		Surf. av	13,57	15,74			50	10,49	13,22
		Surf. ap	15,06	17,47			70	10,78	10,89
22-03-82 e	III ₉	10	9,23	10,71					
		20	6,68	9,15					
		30	5,32	6,92					
24-03-82 e	III ₉	Surf. av	5,43	6,30					
24-03-82 f	III ₉	Surf. av	13,70	15,89					
25-03-82 15h ap e	III ₉	10	7,03	8,15					
		20	6,75	9,25					
		30	5,99	7,79					
26-03-82	III ₉	Surf. av	4,56	5,29					
		Surf. ap	18,10	14,04					
26-03-82 ap "f"	III ₉	10	7,26	8,42					
		20	5,75	7,88					
		30	4,69	6,10					
		40	6,45	8,13					

Site IDENSITOMETRIE

Profondeur	Parcelle 1	Parcelle 2
	d	d
0 - 10	1,23	1,20
10 - 20	1,09	1,01
20 - 30	1,01	1,11
30 - 40	1,10	1,31
40 - 50	1,18	1,20
70 - 80	1,17	1,11
90 - 100	1,26	1,09

Site II

Profondeur	Parcelle 3	Parcelle 5
	d	d
0 - 10	1,39	1,31
10 - 20	1,37	1,37
20 - 30	1,41	1,30
30 - 40	1,22	1,33

Site III

Parcelle 7, 8 et 9			
Profondeur	d	Profondeur	d
0 - 10	1,16	30 - 40	1,26
10 - 20	1,37	40 - 50	1,26
20 - 30	1,30	70 - 80	1,01
		90 - 100	1,45

A N N E X E n° 4

Mesures neutroniques de l'humidité.

Date	pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv
15-02-82		18h00 (av)	20	52	0,01	17-02-82	c	6h 16 (av)	20	180	13,14
			30	69	1,19				30	130	7,69
			40	72	1,52				40	90	3,33
			50	72	1,52				50	76	1,81
			80	58	0,05				80	61	0,17
			100	63	0,52				100	62	0,28
16-02-82	a	8h30 (ap)	20	66	0,85			15 mn ap	20	197	14,99
			30	70	1,30				30	132	7,91
			40	75	1,85				50	76	1,81
			50	74	1,74				100	62	0,28
			80	59	0,08			25 mn ap	20	212	16,62
			100	61	0,30				30	137	8,45
	b	20h36 (av)	20	107	5,16				50	78	2,03
			30	76	1,79				100	58	0,05
			40	77	1,90			35 mn ap	20	226	18,15
			50	77	1,90				30	143	9,11
			80	61	0,16				50	83	2,57
			100	59	0,10				100	61	0,17
		15 mn ap	20	84	2,66			45 mn ap	20	225	18,04
			30	78	2,01				30	150	9,87
			50	78	2,01				40	100	4,42
			100	61	0,16				50	81	2,35
									80	63	0,39
									100	61	0,17
		25 mn ap	20	141	8,86		d	19h09 (av)	20	187	13,90
			30	88	3,10				30	188	14,01
			50	78	2,01				40	145	9,32
			100	58	0,08				50	89	3,22
									80	59	0,10
									100	61	0,17
		35 mn ap	20	169	11,90			15 mn ap	20	224	17,93
			30	93	3,64				30	199	15,21
			50	76	1,79				50	97	4,10
			100	61	0,16				100	66	0,72
		45 mn ap	20	180	13,10				20	224	17,93
			30	104	4,84				30	199	15,21
			50	76	1,79				50	97	4,10
			100	64	0,49				100	66	0,72

Site I, Parcelle 2. (2)

Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv
18-02-82		25 mn ap	20	229	18,47			15 mn ap	20	218	17,68
			30	201	15,42				30	207	16,46
			50	96	3,99				50	171	12,47
			100	62	0,28				100	61	0,29
		35 mn ap	20	238	19,45			25 mn ap	20	232	19,23
			30	207	16,08				30	209	16,68
			50	97	4,10				50	174	12,80
			100	61	0,17				100	60	0,18
		45 mn ap	20	248	20,54			35 mn ap	20	234	19,45
			30	215	16,95				30	219	17,79
			40	149	9,76				50	175	12,92
			50	97	4,10				100	60	0,18
			80	60	0,07			45 mn ap	20	223	19,45
			100	61	0,17				30	200	15,68
		10h35	20	209	16,13			40	205	16,24	
			30	195	14,61			50	175	12,92	
			40	151	9,86			80	65	0,73	
			50	108	5,21			100	60	0,18	
80	58		0,01	21-02-82	8h00	20	211	16,30			
100	60		0,02			30	209	16,09			
20-02-82	9h00	20	196			15,24	40	185	19,50		
		30	193			14,91	50	164	11,23		
		40	171			12,47	80	68	0,87		
		50	144			9,48	100	62	0,22		
		80	63	0,51	22-02-82	f	6h00 (av)	20	185	12,76	
		100	60	0,18				30	196	13,90	
e	16h25 (av)	20	197	15,35				40	203	14,63	
		30	193	14,91				50	183	12,55	
		40	181	13,58				80	88	2,68	
		50	155	10,70				100	65	0,28	
		80	67	0,95							
		100	57	0,01							

Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv
		15 mn	20	216	15,98			110mn	20	231	17,54
		ap	30	212	15,56			ap	30	229	17,33
			50	179	12,13				50	173	11,51
			100	62	0,05				100	64	0,18
		25 mn	20	228	17,22			120mn	20	236	18,06
		ap	30	209	15,25			ap	30	227	17,12
			50	179	12,13				50	170	11,20
			100	65	0,28				100	66	0,39
		35 mn	20	223	16,70			2h 10	20	232	17,64
		ap	30	222	16,60			ap	30	232	17,64
			50	185	12,76				50	176	11,82
			100	64	0,18				100	66	0,39
		45 mn	20	235	17,95			2h 20	20	234	17,85
		ap	30	221	16,50			ap	30	234	17,85
			50	183	12,55				50	193	13,59
			100	65	0,28				100	61	0,01
		55 mn	20	231	17,54			2h 30	20	238	18,26
		ap	30	233	17,74			ap	30	230	17,43
			50	183	12,55				50	182	12,44
			100	64	0,18				100	66	0,39
		70 mn	20	240	18,47			2h 40	20	234	17,85
		ap	30	236	18,06			ap	30	232	17,64
			40	229	17,33				50	182	12,44
			50	188	13,07				100	68	0,60
			80	85	2,35			3h 10	20	235	17,95
			100	65	0,28			ap	30	229	17,33
		100mn	20	247	19,20				40	206	14,94
		ap	30	230	17,43				50	182	12,44
			50	167	10,89				80	80	1,84
			100	62	0,01				100	67	0,49

Site 1, Parcelle 2.

(4)

Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv	
23-02-82		4h 10 ap	20	229	18,29	09-03-82	g	9h 30 (av)	20	128	8,29	
			30	220	17,32				30	148	10,60	
			40	207	15,91				40	144	10,14	
			50	188	13,86				50	141	9,79	
			80	85	2,72				80	114	9,79	
			100	67	0,77				100	94	4,37	
		7h 10 ap	20	227	18,07			15 mn ap	20	121	7,49	
			30	215	16,78				30	144	10,14	
			40	206	15,80				50	140	9,68	
			50	179	12,88				100	93	4,26	
			80	91	3,37				25 mn ap	20	131	8,64
			100	68	0,88					30	144	10,14
		13h10 ap	20	212	16,45			50		139	9,56	
			30	209	16,13			100		89	3,79	
			40	106	14,72			35 mn ap	20	140	9,68	
			50	174	12,34				30	145	10,25	
			80	105	4,88				50	147	10,48	
			100	78	1,96				100	94	4,37	
		30h10 ap	20	205	15,70			45 mn ap	20	151	10,95	
			30	209	16,13				30	145	10,25	
			40	187	13,75				50	148	10,60	
			50	175	12,45				100	91	4,03	
			80	112	5,64			55 mn ap	20	169	13,02	
			100	78	1,96				30	160	11,98	
24-02-82	38h00 ap	20	187	14,24	70 mn ap	20	145	10,25				
		30	183	13,80		30	166	12,68				
		40	175	12,92		40	147	10,48				
		50	160	11,25		50	144	10,14				
		80	112	5,94		80	109	6,10				
		100	86	3,06		100	89	3,79				

Date	Pluie	Heure	Profondeur	N med	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	N med	Hv	
25-02-82	a	6h 10 (av)	20	104	0,01			35 mn	20	199	3,99	
			30	169	0,02			ap	30	213	5,97	
			40	224	7,88				40	255	11,92	
		30 mn ap	20	133	0,01			45 mn	20	217	6,54	
			30	181	1,73			ap	30	256	12,06	
			40	229	8,59				40	266	13,47	
	b	20h 30	20	148	0,01			d	9h 25	20	239	9,65
			30	193	3,44					30	272	14,32
			40	231	8,88					40	303	18,71
		15 mn ap	20	152	0,01				19h10 (av)	20	238	9,59
			30	200	4,44					30	292	17,15
			40	229	8,59					40	300	18,28
	25 mn ap	20	156	0,01	15 mn ap			20	247	10,22		
		30	204	5,02				30	292	17,15		
		40	236	9,59				40	297	17,86		
	35 mn ap	20	163	0,01	25 mn ap			20	265	13,33		
		30	200	4,44				30	315	20,40		
		40	235	9,45				40	319	20,97		
	45 mn ap	20	169	0,01	35 mn ap		20	290	16,87			
		30	200	4,44			30	330	22,53			
		40	235	9,45			40	320	21,11			
26-02-82	c	6h 20 (av)	20	182	1,59		45 mn ap	20	316	20,55		
			30	194	3,29			30	336	23,38		
			40	230	8,38			40	317	20,69		
		15 mn ap	20	184	1,87		27-02-82	20h00	20	231	8,52	
			30	203	4,56				30	294	17,43	
			40	235	9,09				40	306	19,13	
		25 mn ap	20	180	1,30		1-03-82	e	17h05 (av)	20	212	5,83
			30	203	4,56					30	290	16,87
			40	238	9,51					40	304	18,85

Date	Pluie	Heure	Profondeur	N med	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	N med	Hv
3-03-82	f	15 mn	20	298	18,00	27-03-82	g	70 mn	20	323	21,70
		ap	30	307	19,27			ap	30	332	22,98
			40	309	19,50				40	325	21,99
		25 mn	20	260	12,62			1h 50	20	321	21,42
		ap	30	296	17,72			ap	30	332	22,98
			40	307	19,27				40	339	23,97
		35 mn	20	276	14,89			2h 10	20	270	14,18
		ap	30	319	20,97			ap	30	326	22,13
			40	314	20,26				40	337	23,69
		45 mn	20	263	13,05			2h 30	20	275	14,89
		ap	30	305	18,99			ap	30	329	22,55
			40	328	22,24				40	331	22,84
		6h10 (av)	20	285	16,31			2h 50	20	297	18,01
			30	309	19,71			ap	30	335	23,41
			40	320	21,28				40	333	23,12
		15 mn	20	309	19,71			5h 50	20	265	13,47
		ap	30	346	24,97			ap	30	317	20,85
			40	347	25,11				40	335	23,41
		25 mn	20	297	18,01			8h 50	20	242	10,42
		ap	30	330	22,70			ap	30	318	20,99
			40	328	22,41				40	330	22,70
		35 mn	20	319	21,13			14h 50	20	237	9,49
		ap	30	338	23,83			ap	30	281	15,74
			40	333	23,12				40	307	19,43
		45 mn	20	321	21,42			24h 00	20	232	8,78
		ap	30	342	24,40			ap	30	282	15,88
			40	330	22,70				40	321	21,42
		55 mn	20	325	21,99			17h 50 (av)	20	231	9,81
		ap	30	342	24,40				30	289	18,34
			40	329	22,55				40	300	19,95

Site II, Parcelle 3.

(3)

Date	Pluie	Heure	Profondeur	N med	Hv
		15 mn ap	20	238	10,84
			30	295	19,22
			40	313	21,87
		25 mn ap	20	267	15,10
			30	307	20,98
			40	327	
		35 mn ap	20	282	17,31
			30	327	23,93
			40	328	24,07
		45 mn ap	20	288	18,19
			30	326	23,78
			40	327	23,93
		55 mn	20	294	19,07
			30	323	23,34
			40	326	23,78
		70 mn ap	20	308	21,13
			30	325	23,63
			40	330	24,37

Site II, Parcelle 5.

(1)

Date	Pluie	Heure	Profondeur	N med	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	N med	Hv
28-02-82	a	6h 00 (av)	20 30 40	134 231 284	7,26 3,56 6,17			45 mn ap	20 30 40	291 216 261	16,12 16,00 22,08
1-03-82	b	20h45 (av)	20 30 40	189 253 284	12,36 21,00 25,18		d	18h55 (av)	20 30 40	226 263 286	17,35 22,35 25,45
		15 mn ap	20 30 40	194 258 294	13,04 21,67 26,53			15 mn ap	20 30 40	228 268 285	17,62 23,02 25,31
		25 mn ap	20 30 40	197 261 287	13,44 22,08 25,58			25 mn ap	20 30 40	224 271 289	17,08 23,43 25,85
		35 mn ap	20 30 40	200 272 282	13,85 23,56 24,91			35 mn ap	20 30 40	226 269 284	17,35 23,16 25,18
		45 mn ap	20 30 40	216 262 287	16,00 22,21 25,58			45 mn ap	20 30 40	233 270 285	18,30 23,29 25,31
2-03-82	c	6h 10 (av)	20 30 40	259 213 259	21,81 15,60 21,81	5-03-82	e	19h35 (av)	20 30 40	147 201 247	7,79 15,48 22,04
		15 mn ap	20 30 40	292 214 266	26,26 15,73 22,75			15 mn ap	20 30 40	165 213 261	10,36 17,19 24,03
		25 mn ap	20 30 40	293 219 265	26,39 16,41 22,62			25 mn ap	20 30 40	190 239 262	13,92 20,90 24,17
		35 mn ap	20 30 40	291 217 269	26,12 16,14 23,16			35 mn ap	20 30 40	196 241 305	14,77 21,18 30,29

Date	Pluie	Heure	Profondeur	N med	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	N med	Hv
6-03-82		45 mn	20	216	17,62			90 mn	20	185	12,10
		ap	30	261	24,03			ap	30	218	16,60
			40	333	34,28				40	224	17,42
		ap	20	209	15,63			2h 00	20	185	12,10
			30	225	17,84			ap	30	213	15,92
			40	271	24,17				40	252	21,24
7-03-82	f	9h 15 (av)	20	191	12,91			2h 15	20	191	12,91
			30	235	18,92			ap	30	224	17,42
			40	269	23,55				40	271	23,83
		15 mn	20	192	13,05			3h 15	20	181	11,55
		ap	30	228	17,96			ap	30	233	18,64
			40	274	24,24				40	279	24,92
		25 mn	20	197	13,73	7-03-82		18h00	20	208	15,82
		ap	30	226	17,69				30	249	21,52
			40	277	24,65				40	277	25,42
		35 mn	20	174	10,60	8-03-82		8h 00	20	144	6,91
		ap	30	224	17,42				30	210	16,10
			40	275	24,37				40	246	21,11
		45 mn	20	189	12,64	28-03-82	g	7h 30 (av)	20	167	10,20
		ap	30	225	17,55				30	248	21,51
			40	299	27,65				40	300	28,78
		55 mn	20	201	14,28			15 mn	20	172	10,89
		ap	30	235	18,92			ap	30	237	19,98
			40	293	26,83				40	343	34,79
		70 mn	20	212	15,78			25 mn	20	159	9,08
		ap	30	229	18,10			ap	30	275	25,29
			40	288	25,15				40	343	34,79
		75 mn	20	159	8,55			35 mn	20	183	12,43
		ap	30	206	14,96			ap	30	286	26,82
			40	234	18,78				40	367	38,14

Site II, Parcelle 5.

(3)

Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv
		45 mn	20	203	15,23
		ap	30	298	28,50
			40	367	38,14
		55 mn	20	184	12,57
		ap	30	307	29,76
			40	380	39,96
		70 mn	20	209	16,07
		ap	30	282	26,27
			40	370	38,56

Date	Pluie	Heure	Profondeur	N med	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv
16-03-82	a	6h 05 (av)	20	169	0,01	17-03-82	c	6h 10 (av)	20	204	4,21
			30	218	6,27				30	232	8,33
			40	211	5,24				40	239	9,36
			50	204	4,21						
			80	231	8,18						
		30 mn ap	20	250	10,98			25 mn ap	20	264	13,04
			30	257	12,01				30	285	16,13
			40	236	8,92				50	281	15,54
			50	216	5,97				80	268	13,63
			80	245	10,24						
	b	20h40 (av)	20	190	2,15			35 mn ap	20	248	10,68
			30	235	8,77				30	284	15,98
			40	231	8,18				50	294	17,45
			50	220	6,56				80	276	14,80
			80	233	8,47						
		15 mn ap	20	216	5,97			45 mn ap	20	255	11,71
			30	228	7,74				30	283	15,83
			50	221	6,71				40	293	17,31
			80	220	6,56				50	286	16,28
									80	276	14,80
		25 mn ap	20	216	5,97	17-03-82	d	19h00 (av)	20	282	15,69
			30	233	8,47				30	286	16,28
			50	221	6,71				40	294	17,45
			80	221	6,71				50	288	16,57
		25 mn ap	20	220	6,56	18-03-82		15h ap c	20	262	12,32
			30	232	8,33				30	288	16,11
			50	222	6,86				40	309	19,16
			80	227	7,59				50	306	18,73
									80	310	
		45 mn ap	20	223	7,00	20-03-82	e	17h10 (av)	20	188	8,55
			30	238	9,21				30	264	12,61
			40	237	9,06				40	290	16,40
			50	228	7,74				50	294	16,98
			80	222	6,86				80	297	17,42

Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv
21-03-82		15 mn ap	20	199	3,15			35 mn ap	20	234	8,18
			30	257	11,59				30	276	14,29
			50	297	17,42				50	312	19,52
			80	295	17,12				80	313	19,66
		25 mn ap	20	206	4,17			45 mn ap	20	245	9,78
			30	273	13,92				30	275	14,14
			50	298	17,56				50	313	19,66
			80	292	16,69				80	313	19,66
		35 mn ap	20	228	7,37			55 mn ap	20	248	10,22
			30	259	11,88				30	291	16,47
			50	299	17,71				50	319	20,53
			80	301	18,00				80	315	19,95
		45 mn ap	20	239	8,97			70 mn ap	20	301	17,92
			30	267	13,05				30	278	14,58
			40	296	17,27				40	308	18,94
			50	302	18,14				50	321	20,82
			80	301	18,00				80	321	20,82
		15h ap e	20	254	11,16			90 mn ap	20	275	14,14
			30	289	16,25				30	307	18,79
			40	303	18,29				40	322	20,97
			50	314	19,89				50	313	19,66
			80	316	20,18				80	324	21,26
22-03-82	f	6h 05 (av)	20	186	7,21			1h 50 ap	20	266	12,83
			30	257	11,52				30	308	18,94
			40	282	15,16				40	322	20,97
			50	302	18,06				50	315	19,95
			80	307	18,79				80	316	20,10
		15 mn ap	20	229	7,46			2h 10 ap	20	270	13,41
			30	267	12,98				30	292	16,61
			50	310	19,23				40	322	20,97
			80	310	19,23				50	308	18,94
		25 mn ap	20	231	7,75				80	322	20,97
			30	267	12,98						
			50	308	18,94						
			80	314	19,81						

Site III, Parcelle 7.

(3)

Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv
		5h 10 ap	20	262	12,25
			30	297	17,34
			40	304	18,35
			50	307	18,79
			80	316	20,10
		8h 10 ap	20	255	11,23
			30	286	15,74
			40	296	17,19
			50	308	18,94
			80	311	19,37
		14h10 ap	20	261	12,11
			30	287	15,88
			40	310	19,23
			50	317	20,24
			80	316	20,10
		26h10 ap	20	256	11,38
			30	282	15,16
			40	300	17,77
			50	297	17,34
			80	312	19,52
		51h10 ap	20	226	7,02
			30	276	14,29
			40	298	17,48
			50	296	17,19
			80	299	17,63

Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv
18-03-82	a	7h 05 (av)	20	109	2,91	19-03-82	c	7h 20 (av)	20	195	12,04
			30	126	4,71				30	183	10,77
			40	186	11,08				50	208	13,42
			50	197	12,25				80	235	16,29
			80	226	15,33						
		30 mn ap	20	123	4,39			15 mn ap	20	204	13,00
			30	130	5,14				30	190	11,51
			40	173	9,70				50	201	12,68
			50	203	12,89				80	239	16,71
			80	230	15,76						
	b	21h00 (av)	20	170	9,38			25 mn ap	20	210	13,63
			30	153	7,58				30	191	11,62
			40	176	10,02				50	208	13,42
			50	203	12,89				80	241	16,93
			80	226	15,33						
		15 mn ap	20	179	10,34			35 mn ap	20	201	12,68
			30	159	8,22				30	185	10,98
			50	196	12,15				50	202	12,78
			80	230	15,76				80	232	15,97
		25 mn ap	20	182	10,66			45 mn ap	20	207	13,31
			30	165	8,85				30	194	11,93
			50	202	12,78				50	208	13,42
			80	234	16,18				80	236	16,39
		35 mn ap	20	183	10,77	19-03-82	d	19h50 (av)	20	194	11,90
			30	159	8,22				30	206	13,17
			50	198	12,36				50	202	12,74
			80	234	16,18				80	226	15,29
		45 mn ap	20	185	10,98			15 mn ap	20	201	12,64
			30	160	8,32				30	207	13,27
			40	178	10,23				50	206	13,17
			50	203	12,89				80	231	15,82
			80	238	16,61						
								25 mn ap	20	205	13,06
									30	198	12,32
									50	203	12,85
									80	228	15,50

Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv
22-03-82	e	35 mn ap	20	204	12,96	24-03-82	f	9h 15 (av)	20	182	11,20
			30	206	13,17				30	195	12,62
			50	208	13,38				40	222	15,57
			80	237	16,46				50	218	15,13
									80	230	16,45
		45 mn ap	20	212	13,80			15 mn ap	20	181	11,09
			30	205	13,06				30	198	12,95
			50	207	13,27				50	226	16,01
			80	220	14,65				80	230	16,45
		19h30 (av)	20	173	9,67			25 mn ap	20	199	13,06
			30	186	11,05				30	224	15,79
			40	217	14,33				50	219	15,24
			50	237	16,46				80	228	16,23
			80	232	15,93						
		15 mn ap	20	164	8,72			35 mn ap	20	187	11,75
			30	185	10,94				30	200	13,17
			50	232	15,93				50	216	14,92
			80	240	16,77				80	230	16,45
		25 mn ap	20	174	9,78			45 mn ap	20	188	11,86
			30	187	11,15				30	203	13,50
			50	233	16,03				50	217	15,03
			80	235	16,24				80	233	16,77
		35 mn ap	20	175	9,88			55 mn ap	20	190	12,08
			30	187	11,15				30	203	13,50
			50	234	16,14				50	212	15,13
			80	236	16,35				80	232	16,66
		45 mn ap	20	179	10,31			70 mn ap	20	196	12,73
			30	190	11,47				30	205	13,71
			40	230	15,71				40	222	15,57
			50	236	16,35				50	224	15,79
			80	234	16,14				80	234	16,88

Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv
20-03-82	a	6h 00 (av)	20	82	1,25	21-03-82	c	6h 10 (av)	80	164	8,80
			30	105	3,37				100	183	10,55
			40	132	5,85				20	155	7,97
			50	164	8,80				30	133	5,94
			80	162	8,61				40	127	5,39
			100	184	10,64				50	156	8,06
		30 mn (ap)	20	102	3,09				80	167	9,07
			30	121	4,84				100	187	10,91
			40	150	7,51			15 mn ap	20	173	9,62
			50	179	10,18				30	133	5,94
			80	162	8,61				50	159	8,34
			100	188	11,01				100	179	10,18
	b	20h40 (av)	20	117	4,47	21-03-82	d	25 mn ap	20	179	10,18
			30	117	4,47				30	136	6,22
			40	125	5,21				50	156	8,06
			50	172	9,53				100	171	9,44
			80	183	10,55			35 mn ap	20	185	10,73
			100	179	10,18				30	142	6,77
		15 mn ap	20	137	6,31				50	166	8,98
			30	121	4,84				100	187	10,91
			50	158	8,24			45 mn ap	20	192	11,37
			100	169	9,26				30	140	6,59
		25 mn ap	20	137	6,31				40	132	5,85
			30	119	4,66				50	161	8,52
			50	164	8,80				80	171	9,44
			100	185	10,73				100	180	10,27
		35 mn	20	139	6,50			18h55 (av)	20	193	11,47
			30	125	5,21				30	175	9,81
			50	172	9,53				40	138	6,40
			100	179	10,18				50	162	8,61
		45 mn	20	139	6,50				80	169	9,26
			30	121	4,84				100	178	10,08
			40	126	5,30						
			50	164	8,80						

Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv		
22-03-82		15 mn ap	20	202	12,29	25-03-82		25 mn ap	20	184	11,15		
			30	173	9,62				30	162	9,06		
			50	160	8,43				50	167	9,53		
			100	163	8,70				100	179	10,67		
		25 mn ap	20	202	12,29			35 mn ap	20	159	8,78		
			30	169	9,26				30	161	8,97		
			50	154	7,88				50	171	9,91		
			100	182	10,45				100	160	8,87		
		35 mn ap	20	212	13,21			45 mn ap	20	162	9,06		
			30	177	9,99				30	165	9,34		
			50	162	8,61				40	152	8,11		
			100	177	9,99				50	166	9,44		
		45 mn ap	20	219	13,86				80	164	9,25		
			30	167	9,07				100	178	10,58		
			40	140	6,59			15hap e	20	158	8,68		
			50	154	7,88				30	155	8,40		
			80	173	9,62				40	154	8,30		
			100	181	10,36				50	173	10,10		
		24h ap c	20	203	12,39				80	162	9,06		
			30	172	9,53				100	177	10,48		
			40	149	7,42			26-03-82	f	10h (av)	20	134	6,41
			50	183	10,55						30	169	9,72
			80	166	8,98						40	163	9,15
			100	186	10,82						50	153	8,21
20h10 (av)	20	134	6,41	80	160	8,87							
	30	158	8,68	100	185	11,24							
	40	150	7,92	15 mn ap	20	168	9,63						
	50	170	9,82		30	176	10,39						
	80	169	9,72		50	158	8,68						
	100	179	10,67		100	188	11,52						
24-03-82	e	15 mn ap	20	142	7,16	25 mn ap	20	172	10,01				
			30	164	9,25		30	176	10,39				
			50	169	9,72		50	153	8,21				
			100	183	11,05		100	184	11,15				

Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv	Date	Pluie	Heure	Profondeur	Nmed	Hv
26-03-82		35 mn ap	20	169	9,72	27-03-82		25h30 ap	20	176	10,54
			30	179	10,67				30	164	9,25
			50	159	8,78				40	159	8,78
			100	182	10,96				50	189	11,62
		45 mn ap	20	176	10,39				80	158	8,68
			30	181	10,86				100	185	11,24
			50	156	8,49						
			100	188	11,52						
		55 mn ap	20	184	11,15						
			30	188	11,52						
			50	154	8,30						
			100	186	11,33						
		70 mn ap	20	188	11,52						
			30	186	11,33						
			40	169	9,72						
			50	151	8,02						
			80	166	9,44						
			100	184	11,15						
		5h00 ap	20	184	11,15						
			30	157	8,59						
			40	156	8,49						
			50	186	11,33						
			80	166	9,44						
			100	186	11,33						
		8h00 ap	20	180	11,01						
			30	167	9,53						
			40	160	8,87						
			50	182	10,96						
			80	164	9,25						
			100	188	11,52						

Mesures point- eau de la sonde à neutrons

Date	Ne med	Date	Ne med
15.02.82	530	26.02.82	554
16.02.82	541	03.02.82	552
17.02.82	540	05.03.82	523
18.02.82	544	05.03.82	541
20.02.82	531	07.03.82	546
21.02.82	545	07.03.82	535
		09.03.82	510
22.02.82	566	17.03.82	542
22.02.82	554		
23.02.82	540	18.03.82	548
24.02.82	501	20.03.82	549
25.02.82	548	26.03.82	533

$$n = 22$$

$$\bar{x} = 541$$

$$s = 11,96$$

$$Var = 136,59$$

A N N E X E n° 5

Mesures thermiques de l'humidité.

Parcelle 2, Site I, Végétation naturelle

Voie 1 profondeur 10 cm.

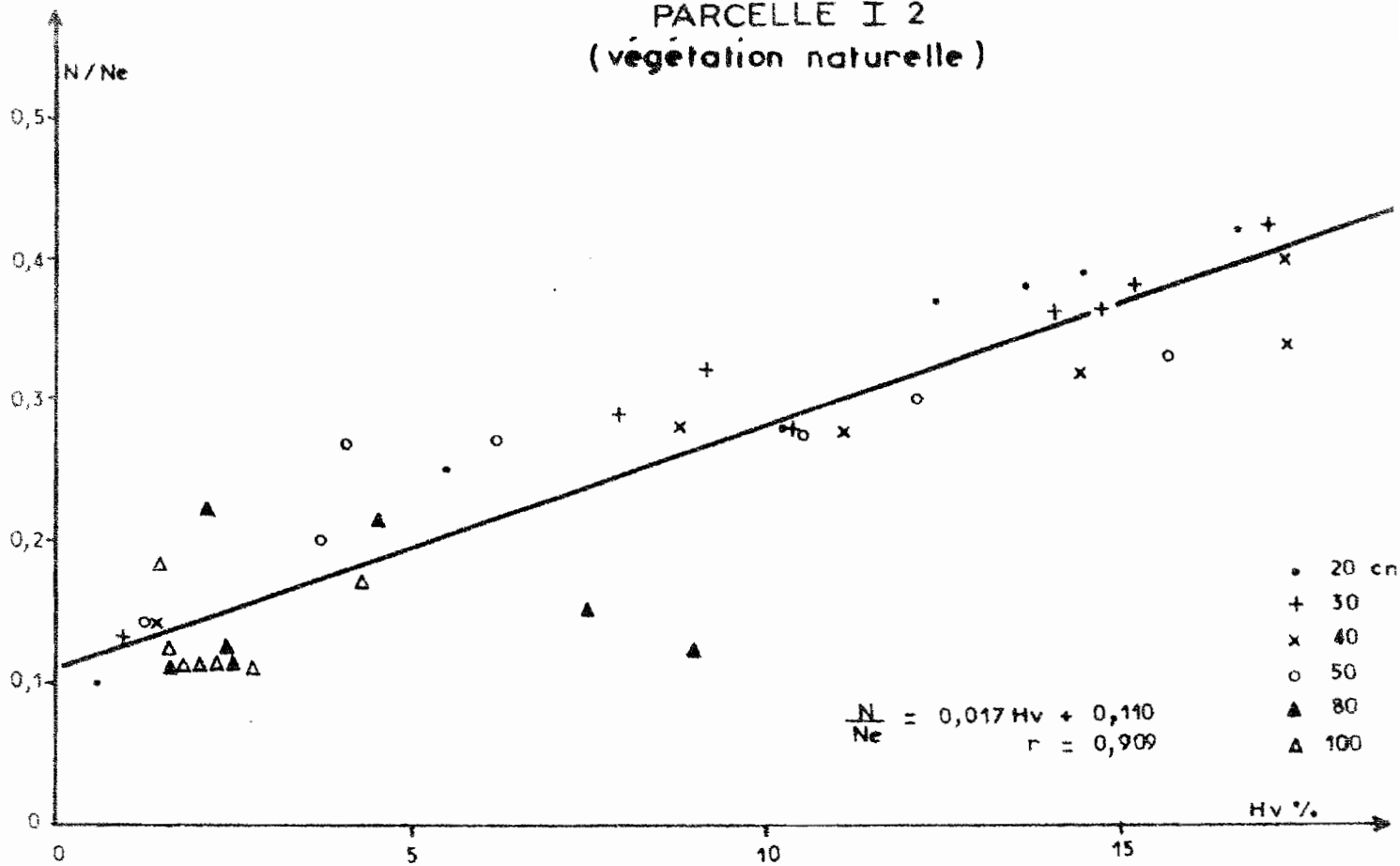
	1/st	Hv	DHs
avant a	5,7	0,8	30,8
après a	14,7	26,8	4,8
avant b	10,8	21,8	9,8
après b	11,9	23,3	8,3
avant c	12,1	23,5	8,1
après c	14,5	26,6	5,0
avant d	(14,1)	(25,0)	(6,6)
après d	(15,6)	(27,1)	(4,6)
16h après d	12,3	23,8	7,8
48h après d	8,3	18,8	12,8
avant e	7,4	17,6	14,0
après e	-	-	-
24h après e	10,1	22,0	10,6
avant f	(10,9)	(21,0)	(9,6)
après f	18,5	31,6	0
25 min après f	17,5	30,4	1,2
35 min après f	14,4	26,4	5,2
45 min après f	14,2	26,2	5,4
1h 5 après f	13,2	24,9	6,7
1h 15 après f	14,2	26,2	5,4
1h 25 après f	12,9	24,6	7,0
1h 45 après f	-	-	-
2h 45 après f	14,1	26,1	5,5
5h 45 après f	12,9	24,6	7,0
11h 45 après f	9,9	20,8	10,8
23h 05 après f	9,4	25,1	6,7
55h après f	9,6	20,4	11,2

() Valeur mesurée sur une autre voie.

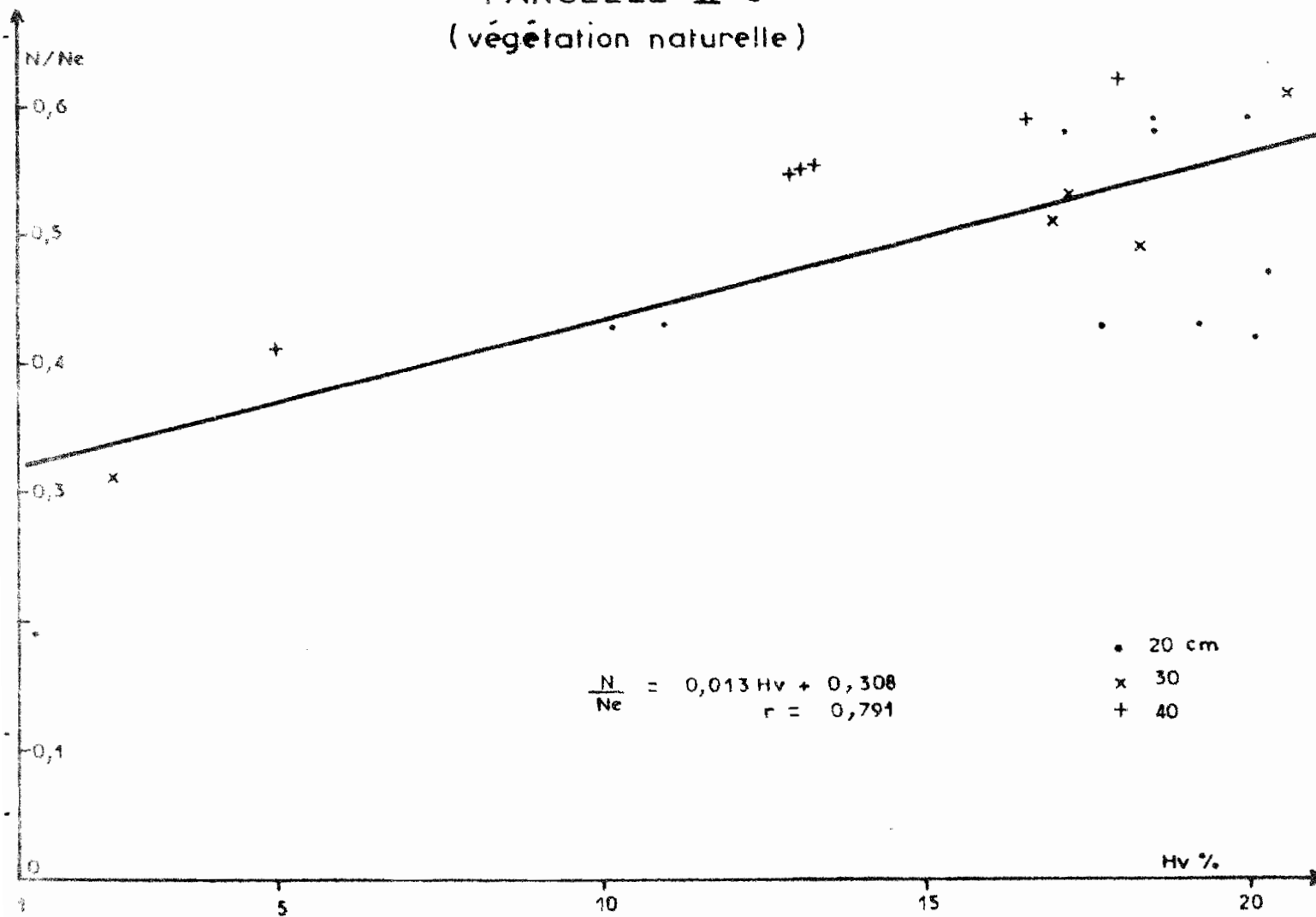
A N N E X E n° 6

Etalonnage des sondes : chocs thermiques, sonde à neutrons.

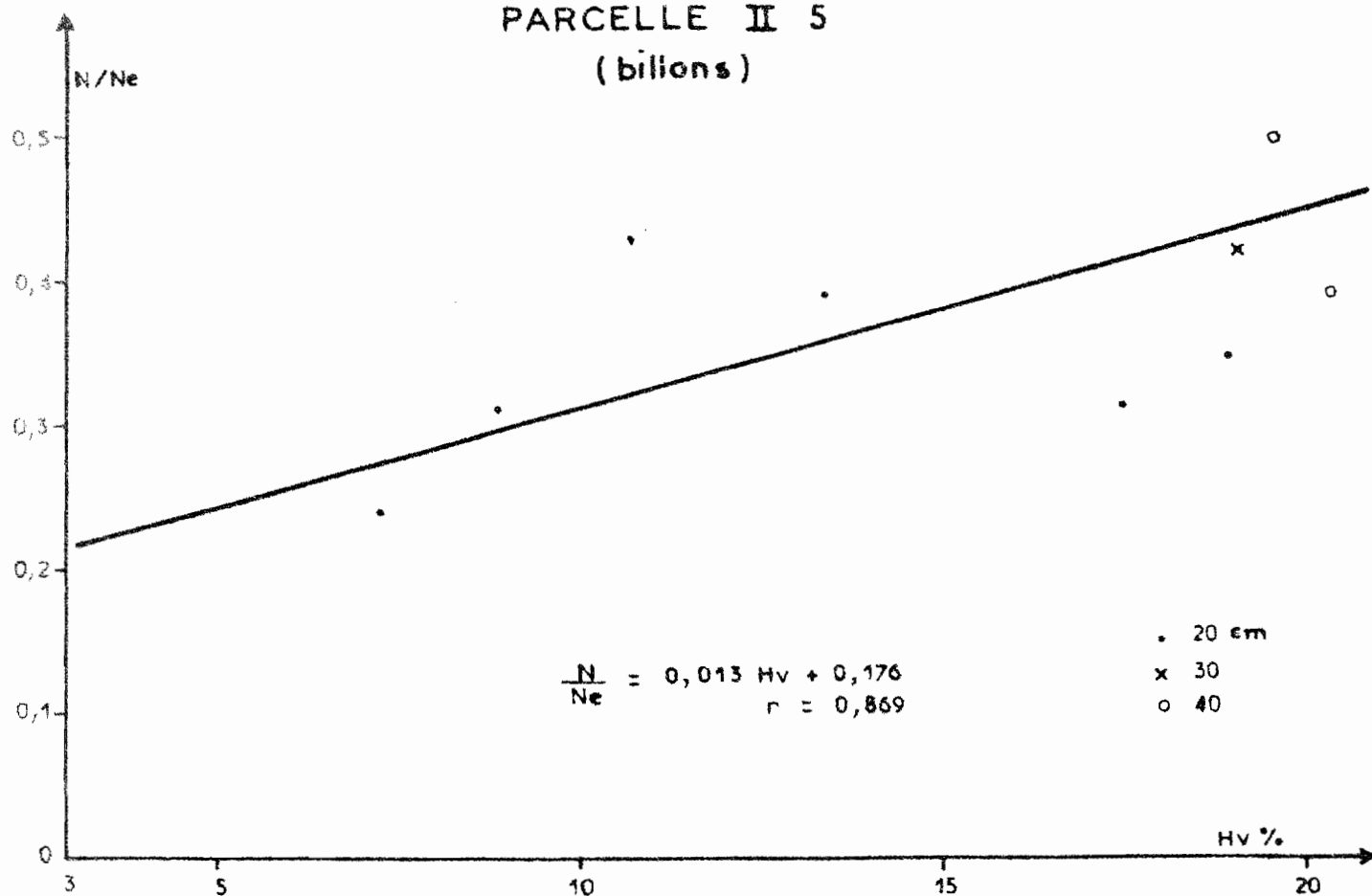
PARCELLE I 2 (végétation naturelle)



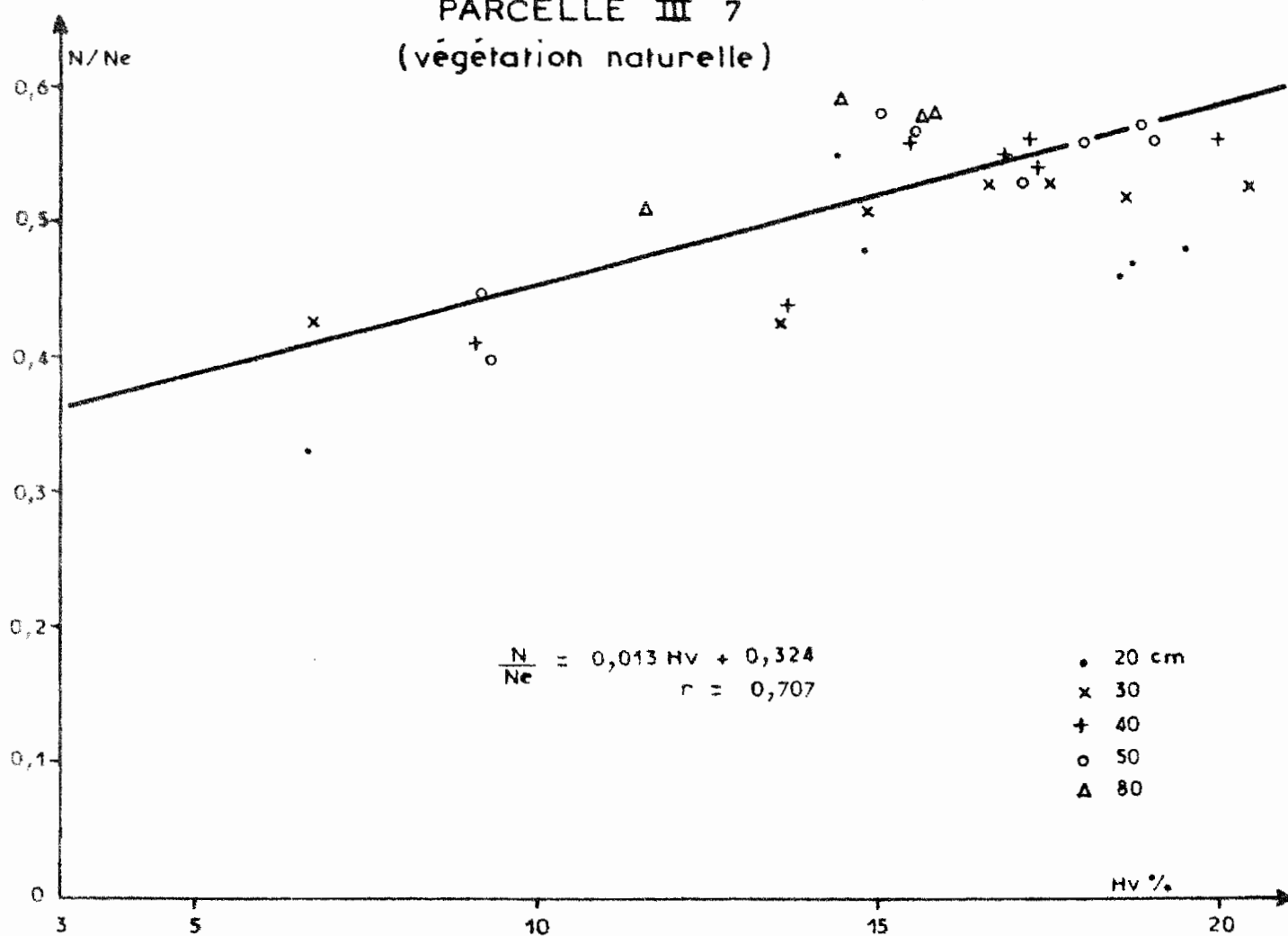
PARCELLE II 3 (végétation naturelle)



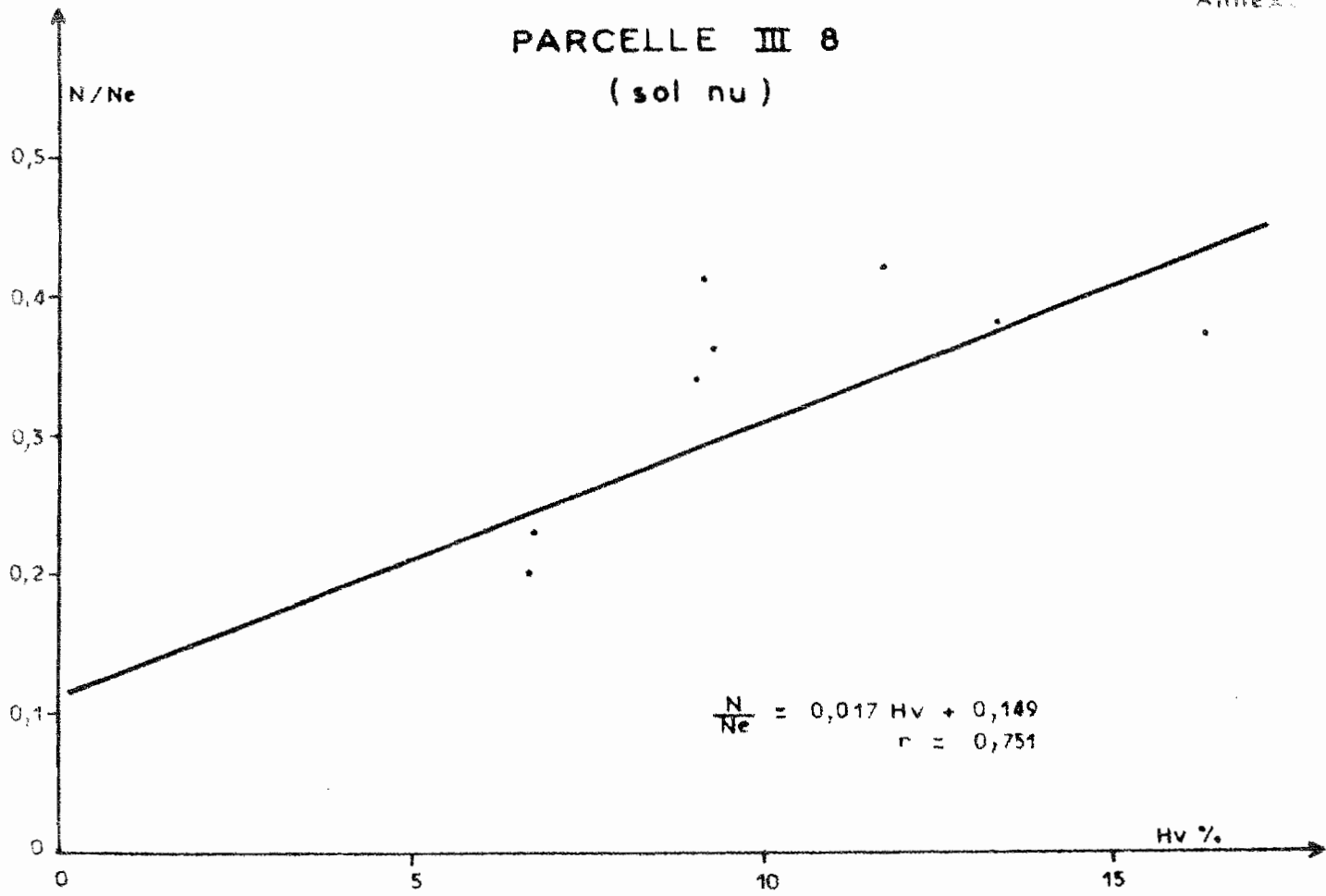
PARCELLE II 5 (bilions)



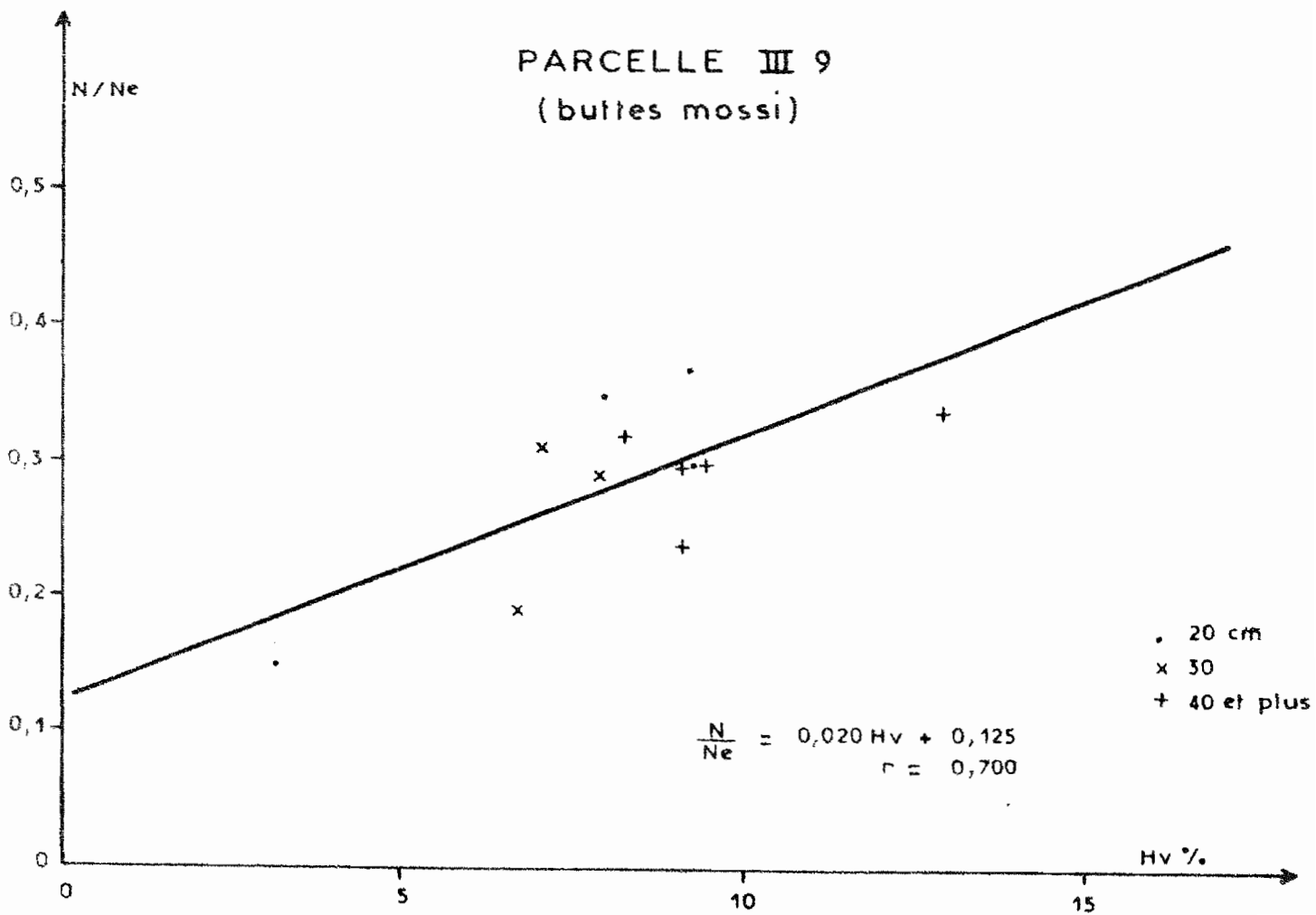
PARCELLE III 7 (végétation naturelle)



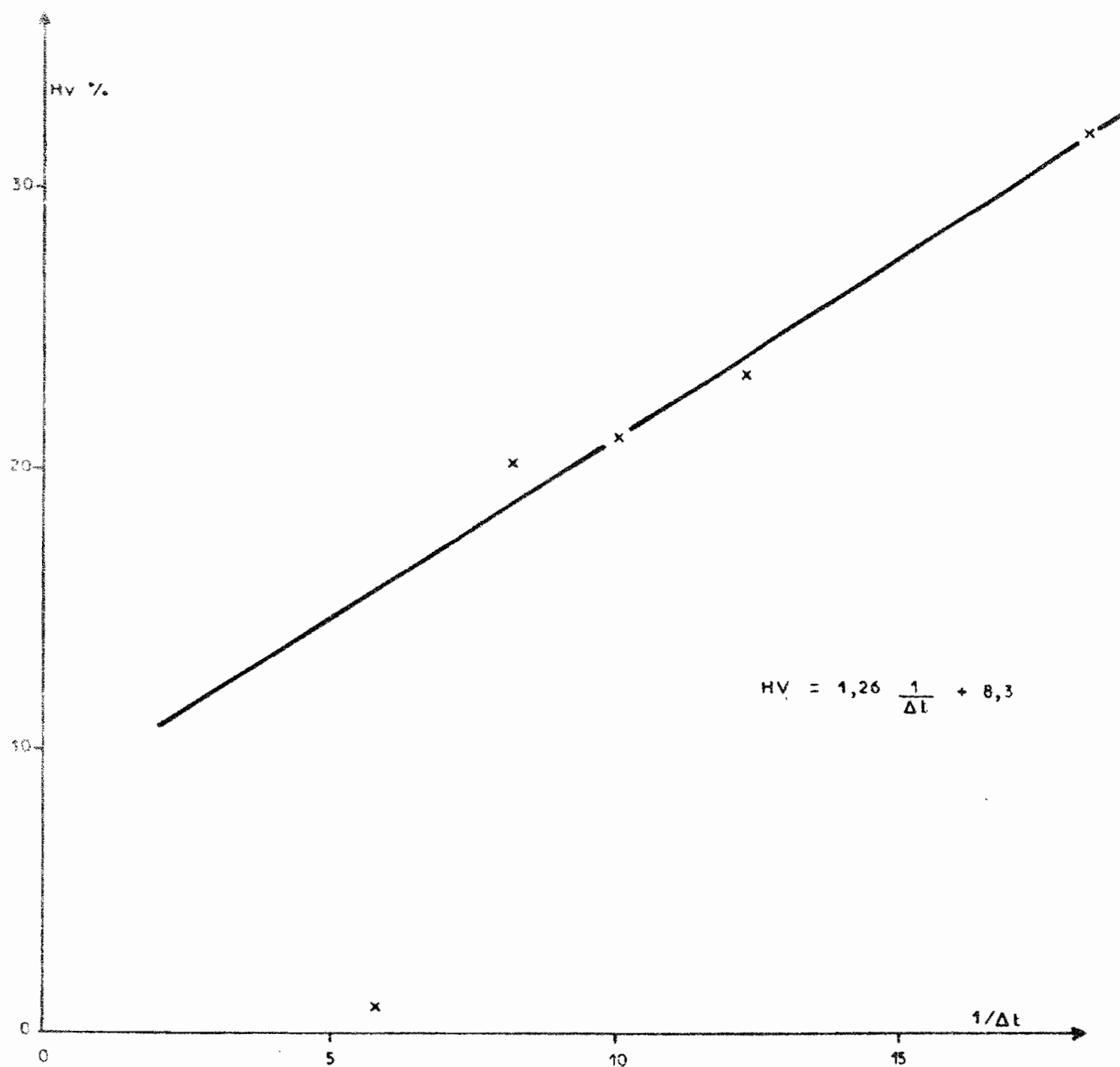
PARCELLE III 8 (sol nu)



PARCELLE III 9 (bulles mossi)



ETALONNAGE CHOCS THERMIQUES
PARCELLE 2 - SITE I
(végétation naturelle)



A N N E X E n° 7

Calcul de la crue décennale
par la méthode Rodier-Auvray

LETHCDE RCDIER - AUVRAY APPLIQUEE A BINNDE

- Perméabilité

- . granites altérées et cuirasse latéritique souvent démantelée
- . Sols peu évolués sur roches acides
- . Nombreux horizons de surfaces franchement caillouteux constitués des éléments de la roche désagrégée (gros éléments de Quartz, Feldspath, Micas)
- . Des surfaces sablo-argileuses
- . Importantes pellicules de surfaces

Bassin assez imperméable comportant des zones perméables notables P3

- Relief

- . Pentes longitudinales - vers le sommet 2 %
- à l'exutoire 0,8 %
- . Pentes transversales 1 à 2 % R3

- Surface 9,7 km²

- Climat

- . Régime tropical et tropical de transition
- . Hauteur de l'averse décennale PD = 110,4 mm

- Coefficient de ruissellement

A partir des observations précédentes on choisi l'abaque
 $K_r \% = f(S)$

$$K_r = 38 \%$$

- Coefficient d'abattement pour la pluie

$$o \quad S \quad 25 \text{ km}^2 \quad c = \frac{\bar{P}}{P} = 1$$

- Lane d'eau ruisselée

$$L_r = pD \times C \times K_r = 110,4 \times 0,38 = 41,95 \text{ mm}$$

$$V_r = L \times S = 407 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

- Débit moyen de ruissellement

Le temps de base est estimé à partir de la surface des bassins en climat tropical de transition $tD = 6 \text{ h}$

$$M = \frac{407 \cdot 10^3}{6 \times 3600} = 18,8 \text{ m}^3/\text{S}$$

- Coefficient $K = \frac{Q}{M}$

Bassin ruisselant bien, isohyete entre 700 et 900 $k = 3$

$$Q_{\max} = 18,8 \times 3 \text{ environ } 57 \text{ m}^3/\text{s}$$

A N N E X E n° 6

Moyens à mettre en oeuvre pour une campagne Simulateur

I - Inventaire du matériel

I.1. Matériel "in situ"

10 cadres parcelles de 1 m² avec drain et exutoire
1 cadre de battage pour les cadres parcelles
rouleaux de fil de fer barbelé
piquets divers en fer cornière ou T

I.2. Bâti de l'infiltromètre

1 partie supérieure supporte mécanisme
4 pieds en deux parties chacun
4 barres transversales
1 cable de base avec 4 mousquetons
4 haubans
4 piquets de haubans
8 bâches plastique
cordelette de nylon pour bâches
fer à béton pour tension de la bâche

I.3. Mécanisme du gicleur

1 support
1 moteur essuie glace 2 vitesses Volkswagen 12 V
1 bielle
1 tige filetée sur support comprenant 2 roulements SKF
1 étrier de support de tige filetée
1 gicleur EMANI
1 porte gicleur
1 étrier de gicleur
2 axes avec engrenage en laiton
4 roulements SKF

.../...

2 cages de roulement

1.4. Mécanisme de commande des intensités

1 support

1 compteur de treuil CTT NEVA

1 axe de compteur

1 axe de manivelle

2 engrenages limnigraphe CTT 32 jours

1 manivelle limnigraphe CTT R 16

1 interrupteur d'essuie glace 2 positions

1.5. Transmission commandes

1 cable de compteur (Renault Super Goelette)

1 commande gainée de frein à main (Peugeot 404 bâchée)

1 cable électrique 2 conducteurs

1 tringle de position

1 plaque à ergots pour fixation de tringle

I.6. Pompes et tuyaux

1 électropompe ESPA 220 V 2,2 A (alimentation)

1 électropompe LERCY SOMER 220 V 2,15 A (vidange)

1 manomètre Ø 16 cm 0 à 1,6 bars

1 manomètre Ø 25 cm 0 à 1,6 bars

25 m tuyau plastique Ø 32 mm

1 m tuyau plastique Ø 10 mm

1 robinet vanne

1,5 m tuyau spécial aspiration

1 crépine pied de pompe

1 tuyau PVC coudé

I.7. Cuve de mesure

1 cuve de mesure (capacité 60 l) avec couvercle adapté

1 limnigraphe I.S.M.A. Alpha U, réduction I/I, rotation 1 heure

.../...

2 colliers
1 goulotte en PVC
1 bac de contrôle des intensités (1 m²)
Tôles galvanisées de protection du trou de cuve et de la goulotte

I.8. Alimentation électrique

1 groupe électrogène Honda E 1500
1 armoire électrique
1 batterie 12 V 60 Ah
divers cables à deux conducteurs avec branchements pour
batterie et groupe
4 prises femelles PLEXO
5 interrupteurs PLEXO
5 voyants rouges
1 ampèremètre Guerpillon 0 - 15 A
1 voltmètre Guerpillon C - 250 V alt.
1 voltmètre Guerpillon 1 - 15 V cont.
4 prises PTT pour fiches bananes
1 compteur d'heures de marche

I.9. Alimentation en eau

4 fûts de 200 l avec raccords souples
1 cuve 1 000 l avec couvercle et vanne rapide
1 motopompe avec crépine, tuyaux d'aspiration et de refoulement

I.10. Outillage lourd

1 bêche
1 pelle
1 masse
1 barre à mine
1 rateau
1 échelle double
1 niveau à bulle (1 m)

.../...

I.11. Outillage léger

1 boîte de boulons, écrous, rondelles, colliers, fils électriques
1 boîte métallique avec diverses pièces de rechange
1 caisse à outil Facom
clés plates : 6 x 7, 8 x 10, 9 x 11, 12 x 14, 13 x 15, 16 x 18
17 x 19
clés à pipes : 7, 10, 13
1 clé à molette
1 clé à bougie
1 pince universelle
1 pince étau
1 marteau
1 burin
1 chasse goupille
4 tournevis ordinaires
2 tournevis cruciformes
1 paire de ciseaux électriques
1 pinceau
mèches à métaux : 3 - 4
2 couteaux
1 double mètre

I.12. Matériel de prélèvement

boîtes d'humidités en aluminium
2 tarières Ø 45 mm (1m et 2 m)
sacs en plastique

I.13. Humidimètre à chocs thermiques

1 boîtier de mesure
12 faisceaux de sonde
petit matériel de mise en place

I.14. Sonde à neutrons

1 sonde à neutron SCLO 20
6 tubes de PVC Ø43 mm - 1m20
1 tuyau souple armé 2 m.

II - Personnel, Véhicules, intendance

II.1. Personnel

Hydrologues : ALBERGEL Jean
BERNARD Alain
TCUIRI Hassan

Technicien : BILGHO Gérard

Chauffeur : KOUDOUGOU Jean-Baptiste

Gardien :
recrutés sur place

Manoeuvres :

II.2. Véhicules

- 1 404 Peugeot pick-up équipée pour le transport du simulateur et servant de voiture de liaison entre CUAGA et BINNDE, et sur le terrain entre les parcelles.
- 1 Toyota Land-Cruiser équipée en voiture citerne pour le ravitaillement en eau.

II.3. Logement

Campement près du marigot de BINNDE.