INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION (ORSTOM)

ETUDE DU RAPPORT PLUIE-DEBIT PAR SIMULATION DE PLUIES SUR LES BASSINS VERSANTS DE VARALE DANS LA REGION DE BOUNA (NORD EST COTE D'IVOIRE)

Rapport d'élève. Année de spécialisation

HASNAOUI Moulay Driss

Septembre 1986, copyright ORSTOM

Unité de Recherche B12 (Laboratoire d'Hydropédologie)
Centre ORSTOM d'Adiopodoumé
B.P. V51, ABIDJAN, Côte d'Ivoire

HASNAOUI Moulay Driss Septembre 1986

RAPPORT DE FORMATION A L'ORSTOM
(Résumé)

A la fin de mon cycle d'étude à l'Institut Hassan II de Rabat (Maroc), j'ai choisi de me spécialiser en hydrologie et de suivre la formation proposée par l'ORSTOM.

Une première année à Montpellier à été consacrée à la préparation d'un D.E.A. en Sciences de l'Eau et de l'Aménagement dans le cadre de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc et en association avec le Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM. Le sujet de mon mémoire portait sur la prédétermination des crues au Sahel. Cette étude a été menée à partir des très nombreuses données recueillies par les chercheurs et techniciens de l'ORSTOM sur le milieu sahélien. Il s'agissait d'un travail de bibliographie et de traitement de données ignorant délibérément les méthodes et techniques d'acquisition.

Le complément pratique à cette formation devait être comblé par une deuxième année sur le "terrain". J'ai donc été affecté début décembre 1985 au Centre ORSTOM d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire), dans lequel se retrouvent plusieurs équipes de recherches qui couvrent une assez large gamme de domaines scientifiques. Ce Centre qui possède une très bonne infrastructure en personnel et matériel de recherche assure régulièrement la formation de chercheurs spécialisés en provenance du monde entier.

Avant de me confier le travail personnel qui devait faire l'objet de mon mémoire de fin de formation à l'ORSTOM, j'ai été associé à divers travaux du Laboratoire d'Hydropédologie (Unité de Recherche B 12). Cela m'a permis d'acquérir un minimum de connaissances pratiques, d'une part sur l'environnement naturel et humain de la Côte d'Ivoire, et d'autre part sur les techniques, les méthodes et le matériel utilisés par les hydrologues en milieu tropical humide. J'ai donc été amené à réaliser des mesures de débits dans le cadre du Programme de Lutte contre l'Onchocercose de l'OMS et à participer à une campagne partielle de simulation de pluie sur le bassin versant représentatif de Booro-Borotou (Programme Hyperbav).

Le sujet de mémoire qui m'était proposé consistait en l'étude à l'aide des techniques de simulation de pluie du bassin versant de Varalé (Nord-Est de la Côte d'Ivoire, région de Bouna). Ce bassin versant avait fait l'objet d'une étude classique entre 1961 et 1963 (GIRARD, 1962 ; LE GUILLOU, 1965). Dans le cadre d'un vaste programme menée en Afrique de l'Ouest et Centrale un certain nombre de ces anciens bassins étudiés par l'ORSTOM ont été ou sont en train d'être repris avec cette nouvelle méthode dont les étapes principales sont :

- Une reconnaissance de terrain pour vérifier l'aptitude du bassin à une campagne de simulation de pluie (proximité de point d'eau permanent en saison sèche en particulier) ; cette reconnaissance a été effectuée pour Varalé en décembre 1985 avec Pierre CHEVALLIER et Jean-Louis JANEAU.

- Une cartographie des "états de surface" avec la participation d'un pédologue spécialisé qui permet de délimiter les principales zones d'aptitude au ruissellement et de choisir les sites représentatifs qui seront testés au simulateur de pluie (réalisée en février 1986 avec Jean-Louis JANEAU).

- La campagne proprement dite de simulation, qui consite à tester un certain nombre de parcelles (8 à Varalé) avec un protocole d'averse standard utilisé sur tous les bassins versants de savane (réalisée en mars et avril 1986 avec Jean-Marc LAPETITE, d'abord, et Jacky ETIENNE, ensuite).

- L'interprétation des résultats permet d'une part de définir les caractéristiques hydrodynamiques des sols choisis comme représentatifs, et d'autre part de comparer l'aptitude au ruissellement des parcelles de pluies simulées aux observations faites lors des campagnes d'observations "classiques".

Dans la phase finale de l'interprétation, la simulation de pluie permet à partir d'une pluie de projet (en l'occurence de fréquence décennale) d'estimer le volume de la crue correspondante en établissant une relation entre les crues observées pendant une période relativement courte (une saison des pluies, par exemple) et les crues calculées par généralisation des résultats sur parcelles à l'ensemble du bassin .

A Varalé, nous avons distingué deux types de crues au regard des observations de 1961-63 et traité également le cas indifférencié. Les résultats obtenus pour la crue décennale donnent des écarts entre la lame calculée à partir des observations sous pluies simulées et la lame évaluée lors des études de 1961-63 qui vont de 1,7 % pour le bassin du Boitao (53,1 km²) et de 6% pour le bassin du Guidere Kologo (10,6 km²). Ces valeurs ont été obtenues pour un indice d'humectation (indice des précipitations antérieures) correspondant à une valeur de milieu de saison de pluies.

La méthode d'investigation à l'aide des techniques de simulation de pluie semble donc offrir, à Varalé, comme dans le cas des autres bassins de savane étudiés en Côte d'Ivoire, au Burkina Faso et au Congo, une bonne fiabilité pour l'évaluation de crues de projet avec l'avantage de délais courts et d'une campagne peu coûteuse au regard des méthodes pratiquées jusque là.

En terminant, je tiens à remercier Messieurs Pierre CHEVALLIER et Alain CASENAVE qui m'ont aidé à la réalisation de ce mémoire et Messieurs les membres du jury qui ont bien voulu examiner mon travail d'élève à l'ORSTOM.

AVANT-PROPOS

L'achèvement de ce travail a pu être réalisé grâce à l'aide permanente et fructueuse de P. CHEVALLIER et de A. CASENAVE, hydrologues chercheurs à l'ORSTOM au centre d'Adiopodoumé en Côte d'Ivoire. Je leur adresse mes vifs remerciements et qu'ils soient assurés de ma reconnaissance.

J. ETIENNE, J.M. LAPETITE et J.L. JANEAU, techniciens de recherche m'ont fait profiter de leur expérience de terrain et ont assuré la préparation et la gestion de la campagne de terrain ; qu'ils retrouvent ici ma parfaite considération.

E. DIBI KONAN et D. OUATTARA par leur expérience variée dans le domaine des réparations , du contrôle du matériel de simulation et de son installation, m'ont facilité les opérations et ont assuré le bon déroulement des opérations. Je les remercie et les félicite pour leur technicité.

P. RIBSTEIN a été le premier à guider mes pas dans la recherche à l'ORSTOM et je profite de cette occasion pour lui renouveler mes vifs remerciements.

De même que S. PIEYNS, responsable de la formation veuille bien accepter mes remerciements.

Je tiens à faire part de mes meilleurs sentiments à tous les chercheurs de l'ORSTOM et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.

SOMMAIRE

RESUME 3

ABSTRACT 4

INTRODUCTION 5

Première partie : LE MILIEU NATUREL 6

Chapitre I.1 : description 6

I.1.1. Situation géographique 6
I.1.2. Caractéristiques morphologiques 6
I.1.3. Géomophologie 6
I.1.4. Géologie 8
I.1.5. Végétation 8
I.1.6. Pédologie 8
I.1.6.1. Organisations pédologiques internes (OPI) 8
I.1.6.2. Organisations pédologiques superficielles (OPS) 8

Chapitre I.2. : Le choix des sites d'expérimentation 12

I.2.1. Méthodologie 12
I.2.2. Description des parcelles 12

Deuxième partie : LA SIMULATION DE PLUIE 15

Chapitre II.1 : le matériel de simulation 15

II.1.1. Le simulateur de pluie 15
II.1.2. Description du dispositif 15

Chapitre II.2. Paramètres mesurés et équations générales du bilan hydrique sur parcelle 18

II.2.1. Paramètres mesurés 18
II.2.1.1. La pluie 18
II.2.1.2. Le ruissellement 18
II.2.1.3. Humidité du sol 18
II.2.1.4. La densité apparente des sols 19

II.2.2. Equation générale du bilan hydrique à l'échelle de la parcelle 25
II.2.2.1. La phase d'imbibition 25
II.2.2.2. Régime transitoire 25
II.2.2.3. Régime permanent 27
II.2.2.4. La phase de vidange 27

Chapitre II.3. Elaboration du protocole et déroulement de la campagne des pluies simulées 28

II.3.1. Forme des averses 28
II.3.2. Elaboration du protocole des pluies 28
II.3.2.1. Calcul des indices d'humectation du sol 28

II.3.2.2. Choix des successions des pluies 32

Chapitre II.4. Traitement des données et interprétation des résultats à l'échelle de la parcelle 33

II.4.1. Pluie d'imbibition 33
II.4.1.1. Liaison pluie d'imbibition-indice d'humectation 33
II.4.2.2. Liaison pluie d'imbibition-temps de ressuyage (ta) 33

II.4.2. Le coefficient de ruissellement 37
II.4.3. Etude des intensités maximales et limites de ruissellement 44
II.4.3.1. Relation intensités maximales de ruissellement-intensité de la pluie-indice d'humectation du sol 44
II.4.3.2. Relation lame ruisselée- pluie utile- indice d'humectation 47

II.4.4. La phase de vidange 47

Chapitre II.5. Extension des résultats à l'échelle des bassins. Estimation de la lame décennale 62

II.5.1. Lame ruisselée à l'échelle du bassin 62
II.5.2. Détermination des surfaces représentatives des parcelles 62
II.5.3. Lame ruisselée et analyse hydrologique 65
II.5.4. Fonction de calage du modèle simulateur 65
II.5.5. Estimation de la lame ruisselée décennale 68
II.5.5.1. Analyse des crues observées 68
II.5.5.2. Calcul de la crue décennale 68

Chapitre II.6. Examen des profils hydriques 72
II.6.1. Calcul du stock hydrique du sol 72
II.6.2. Relation pluie d'imbibition - stock hydrique du sol 72

CONCLUSION 80

BIBLIOGRAPHIE 81

ANNEXES 84

RESUME

Dans cette étude, les connaissances du rapport pluie-débit est faite à travers la simulation d'une série d'averses sur parcelles expérimentales jugées représentatives des unités morphostructurales d'un bassin versant.

L'utilisation de cette méthode permet d'appréhender les caractéristiques hydrodynamiques des sols. Cette étude sur les bassins versants de Varalé (Nord-Est Côte d'Ivoire) présente les résultats obtenus où des averses annuelles et décennales ont été simulées suivant des indices d'humectatiion du sol croissants.

Les sols de Varalé, à majorité sableux, présentent des différences de comportement hydrodynamique qui peuvent être schématisées de la manière suivante :

1) un fort ruisellement quand le sol présente une pellicule consolidée en surface (parcelle P2 et P5 avec un coefficient de 70 à 80 %)

2) un faible ruissellement sur les sols ayant un couvert végétal important (parcelle P6 avec un coefficient de ruissellement de 35 %)

3) un ruissellement moyen lié à un enracinement de gros calibre dû aux grosses touffes d'herbes (parcelles P3 et P4) ou au sol nu sur sable grossier (Parcelle P1) (avec un coefficient de ruissellement de 55 %)

4) un ruissellement intermédiaire entre (1) et (3) lié à la présence de gravillons et graviers dont le pourcentage de couverture donne sensiblement le pourcentage d'imperméabilisation (Parcelles P7 et P8 avec un coefficient de ruissellement de 65 %).

Ces différences sont aussi liées à la toposéquence. Elles conduisent à l'élaboration d'un modèle de calcul des lames ruisselées basé sur une intégration des différentes unités, complété par un calage sur les observations de quelques campagnes et permettent de quantifier le ruissellement du bassin versant.

ABSTRACT

Rainfall simulation was used to assess the runoff/rainfall ratio on several field plots representative of the various surface features of a small watershed in North-East Ivory Coast (VARALE).

This methods enabled characterizing the soil bydrodynamics. Results obtained on this watershed included the predicted annual and decenial rainfall for an increasing antecedent precipitation index.

Although the soils in VARALE are mainly sandy, their hydrodynamics differ largely as follows :

1) Heavy runoff, with runoff rate ranging from 75 % to 80 %, when the soils are capped with a hard surface seal.

2) Low runoff rate : 35 %, where the soils are protected with a dense vegetative cover.

3) Medium runoff rate : 55 %, where patches covered with coarse sand separated large grass clumps, or where bare soil surface is made up with coarse sand.

4) A high runoff rate : 65 %, between case (1) and case (3), when the percentage of gravel more or less matches with the runoff rate.

Some variations are partly due to the surface differentiations a long the hillslope. Finally, a runoff model was developed based on the different surface features units, and on the adjustment of the observed data on the plots to the observed data on the outlet.

INTRODUCTION

La simulation de pluie est une technique qui consiste à produire des pluies artificielles à partir de l'étude des pluies naturelles sur une longue période. Pour des pluies de projets (en général liées aux aménagements des cours d'eau prévus) il s'agit de tester l'aptitude au ruissellement des sols des bassins versants.

Cette nouvelle technique permet de s'affranchir des études de longue durée pratiquées jusqu'à présent pour la quantification du ruissellement sur les bassins versants.

En général une campagne de mesure et une année d'observation du comportement naturel suffisent.

Dans le cadre d'une étude systématique des petits bassins versants et afin de mieux comprendre l'aptitude des sols au ruissellement des expériences ont été réalisées dans plusieurs pays d'Afrique. Nous citons les études de COLLINET et VALENTIN , 1979 ; VALENTIN, 1980 ; CASENAVE et al., 1982 ; CHEVALLIER, 1982 ; ALBERGEL et TOUIRI, 1982 ; GIODA, 1983 ; CHEVALLIER et al., 1985 ; SAKLY, 1985. La présente étude menée en Côte d'Ivoire concerne des bassins situées dans la région de savane du Nord-Est de ce pays. Il s'agit des bassins de VARALE étudiés classiquement dans les années 1961 (G. GIRARD, 1962) et 1962/63 (J. LE GUILLOU, 1965).

L'objectif de cette étude est d'une part de connaître le comportement hydrodynamique de ces bassins pour pouvoir éventuellement en extrapoler les résultats à la région sans avoir recours à des observations longues et onéreuses et d'autre part de tester la fiabilité de cette méthode.

Tout d'abord nous procéderons à une définition du milieu naturel qui nous amènera à choisir les sites d'expérimentations représentatifs des bassins versants concernés et à les étudier. Ensuite on cofrontera les résultats obtenus aux observations de 1961, 62 et 63. Enfin on déterminera les variables hydrologiques qui nous préoccupent en particulier les lames ruisselées.

PREMIERE PARTIE :

I. LE MILIEU NATUREL

CHAPITRE I.1. DESCRIPTION

I.1.1. Situation géographique (figure 1)

Au carrefour des pistes TEHINI-BATIE et BOUNA-KAMPTI, les deux bassins concernés par l'étude se trouvent à environ 60 km de la Préfecture de BOUNA.

Le petit bassin versant est parcouru par le Guidère Kologo qui est un affluent rive droite du Boitao qui draine le grand bassin.

Le Boitao se trouve en tête du réseau hydrographique de la rivière Pouène. Cette dernière est un affluent de la Volta noire.

I.1.2. Caractéristiques morphométriques (DUBREUIL, 1972).

* Le petit bassin (ou Guidère Kologo) :

Le bassin n'est pas très compact (Icomp = 1,18) correspondant à une surface S de 10.6 km² et une longueur du rectangle équivalent L de 4.34 km. Il appartient à une classe de relief R3, avec un indice de pente Ip de 0.109 et une pente globale Ig de 9.7 m/km. Son rapport de confluence Rc est de 3.43 tandis que le rapport des longueurs RL est de 2.0. La densité de drainage Dd de 1.04 est faible, signe d'un ruissellement en nappe. L'altitude moyenne est de 359 m.

* Le grand bassin (ou Boitao) englobant le Guidère Kologo.

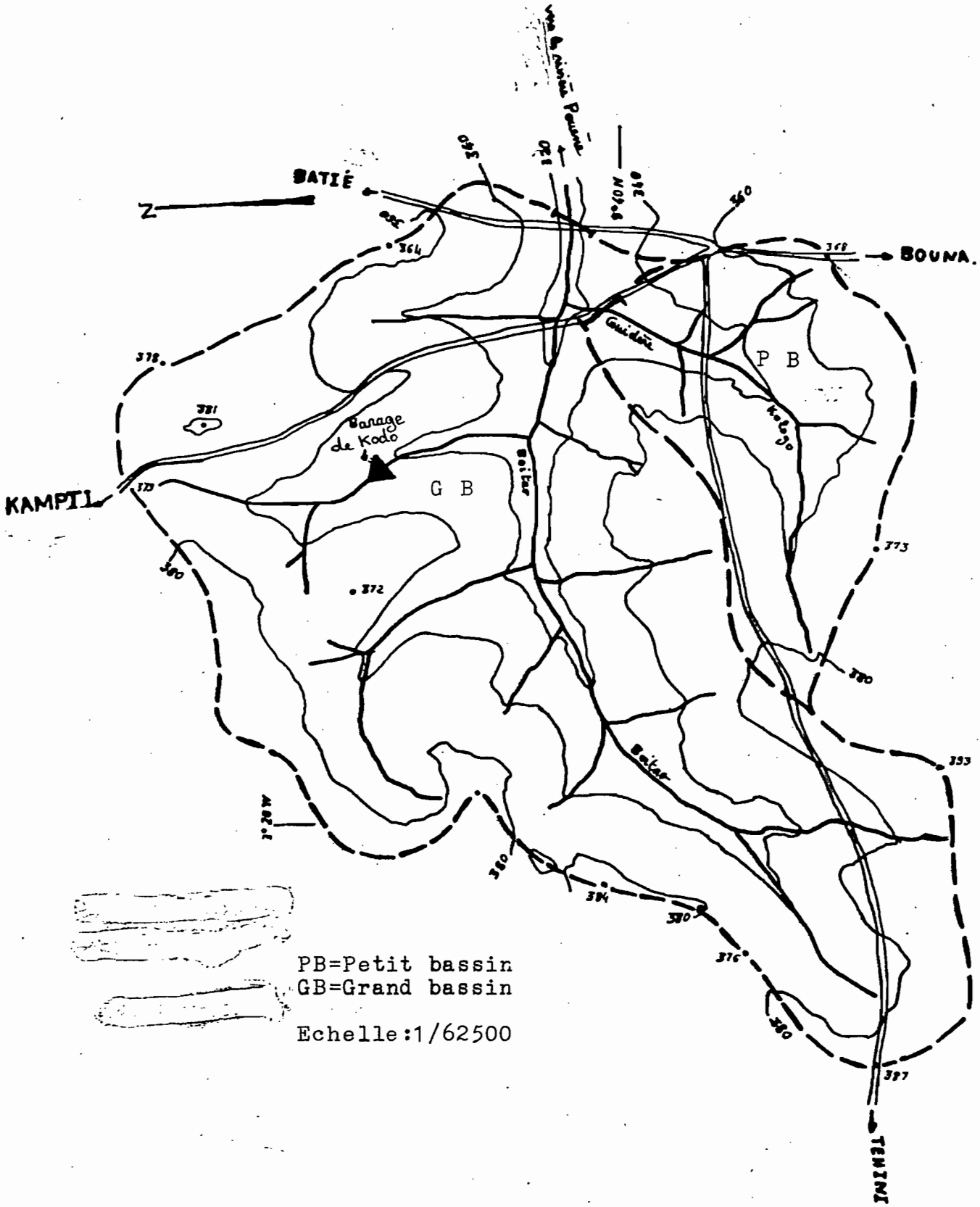
D'une surface S de 53.1 km², et une longueur du rectangle équivalent L de 10.6 km, sa forme est plus allongée avec un indice de compacité (Icomp) de 1.20 la pente est très faible, d'un indice de pente Ip de 0.081 et d'une pente globale Ig de 4.91 m/km ; il appartient à une classe de relief R3. Sa densité de drainage Dd de 0.92 est très faible témoignant un ruissellement en nappe. Il se trouve à une hauteur moyenne de 362 m.

I.1.3. Géomorphologie (fig. 1)

La zone de l'étude est formé d'un plateau mollement ondulé, à une altitude moyenne de 300 à 350 m. Il présente une faible inclinaison vers l'Est (versant de la Volta noire). Faisant partie de la série birrimienne vulcano-sédimentaire, la monotonie du paysage est rompue par des reliefs, de 400 à 500 m, témoins d'anciennes surfaces d'érosion.

Le réseau hydrographique est du type rectangulaire et les fonds de marigots sont évasés de 300 à 600 m avec des rétrécissements dans les têtes de bassins à 40/60 m (DE LA SOUCHERE P., 19965 et JANEAU J.L., 1986).

Figure 1 :Situation, délimitation, topographie et réseau hydrographique des bassins de VARALE.



I.1.4. Géologie

La région de Varalé, s'inscrit dans le massif granitique de Bouna qui est encadré à l'Est et l'Ouest par les séries Birrimiennes d'origine volcanique et sédimentaire de Téhini et de Battié Képéré.

Le substrat géologique est formé des granites qui occupent les deux tiers de la Côte d'Ivoire. On retrouve pour Varalé les granites syntectoniques qui se présentent en massif extrêmement vastes comme les granites Baoulés. Ce sont des ganites calco-alcalins avec des types variés (granite à muscovite, à deux micas, à amphibole et biotite granodiorite).(DE LA SOUCHERE P., 1965 ; JANEAU J.L., 1986 et DABIN B. et al, 1960).

I.1.5. Végétation

La dominante végétale est une savane arbustive subsoudanaise.

Elle est dégradée par les cultures, les feux de Brousses et depuis 1979 par l'élévage extensif de bovins (3800 têtes), d'ovins et caprins (3400 têtes) à la suite de la construction d'un barrage à objectif pastoral. On constate ainsi une dégradation au profit d'épineux et de graminées (JANEAU J.L, 1986).

Les principales cultures sont le riz et l'igname (sur buttes) dans les bas-fonds ; le mil, le sorgho, le maïs, l'arachide par tout ailleurs.

I.1.6. Pédologie (fig. 2 et 2bis)

I.1.6.1. Organisations pédologiques internes (O.P.I.)

On distingue trois groupes de sols (DE LA SOUCHERE P., 1965 et JANEAU J.L., 1986) :

- les sols ferrugineux tropicaux lessivés qui comprennent des sols ocres rouges de sommet et de crête, ocres jaunes de pente supérieure et des sols beiges à pseudo-gley de profondeur de bas de pente.

- les sols hydromorphes minéraux dans les bas-fonds à hydromorphie temporaire de surface. Ce sont des sols beiges et gris, sableux fins et grossiers à pseudo-gley de profondeur et les sols gris limono-argileux à gley et pseudo-gley de surface.

- les sols minéraux bruts qui sont des lithosols gris sur affleurement granitique de faible importance du point de vue hydrodynamique (2 % de la surface totale du bassin).

I.1.6.2. Organisations pédologiques superficielles (O.P.S.) (fig. 2 et 2 bis)

De la ligne de crête aux bas-fonds on distingue (JANEAU J.L., 1986) :

- Des O.P.S. de haut de pente (ou unité 1) qui sont des plateaux cuirassés affleurents ou subaffleurents à recouvrement gravillonnaire de 30 à 70 % et une

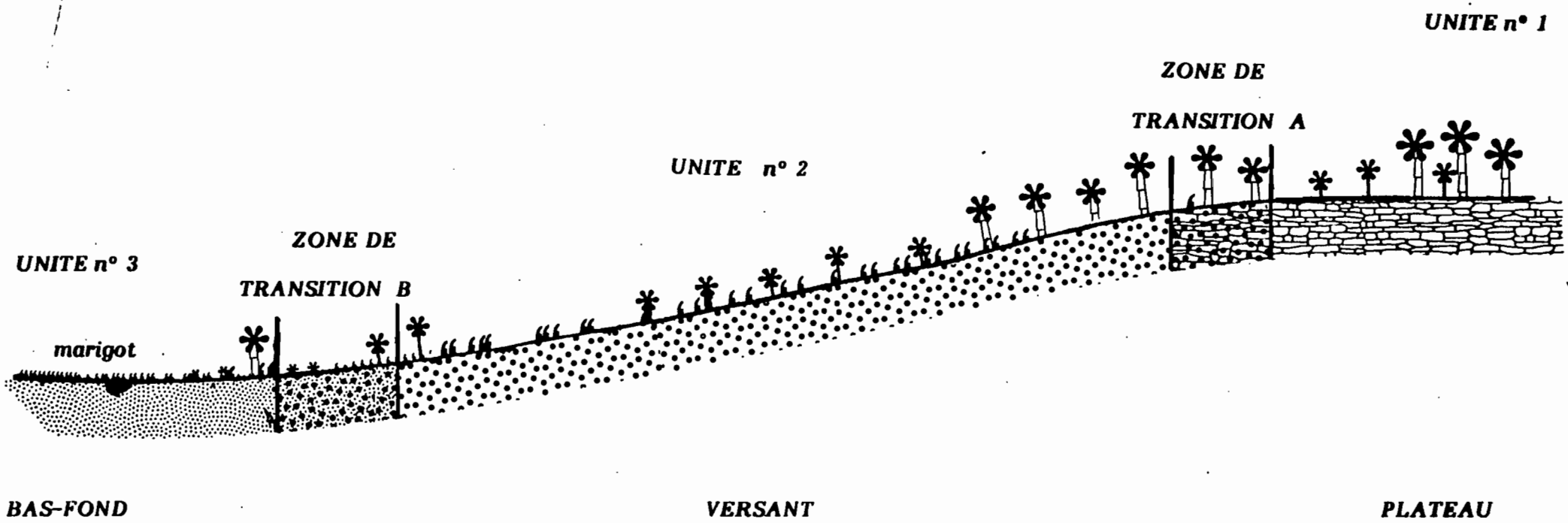
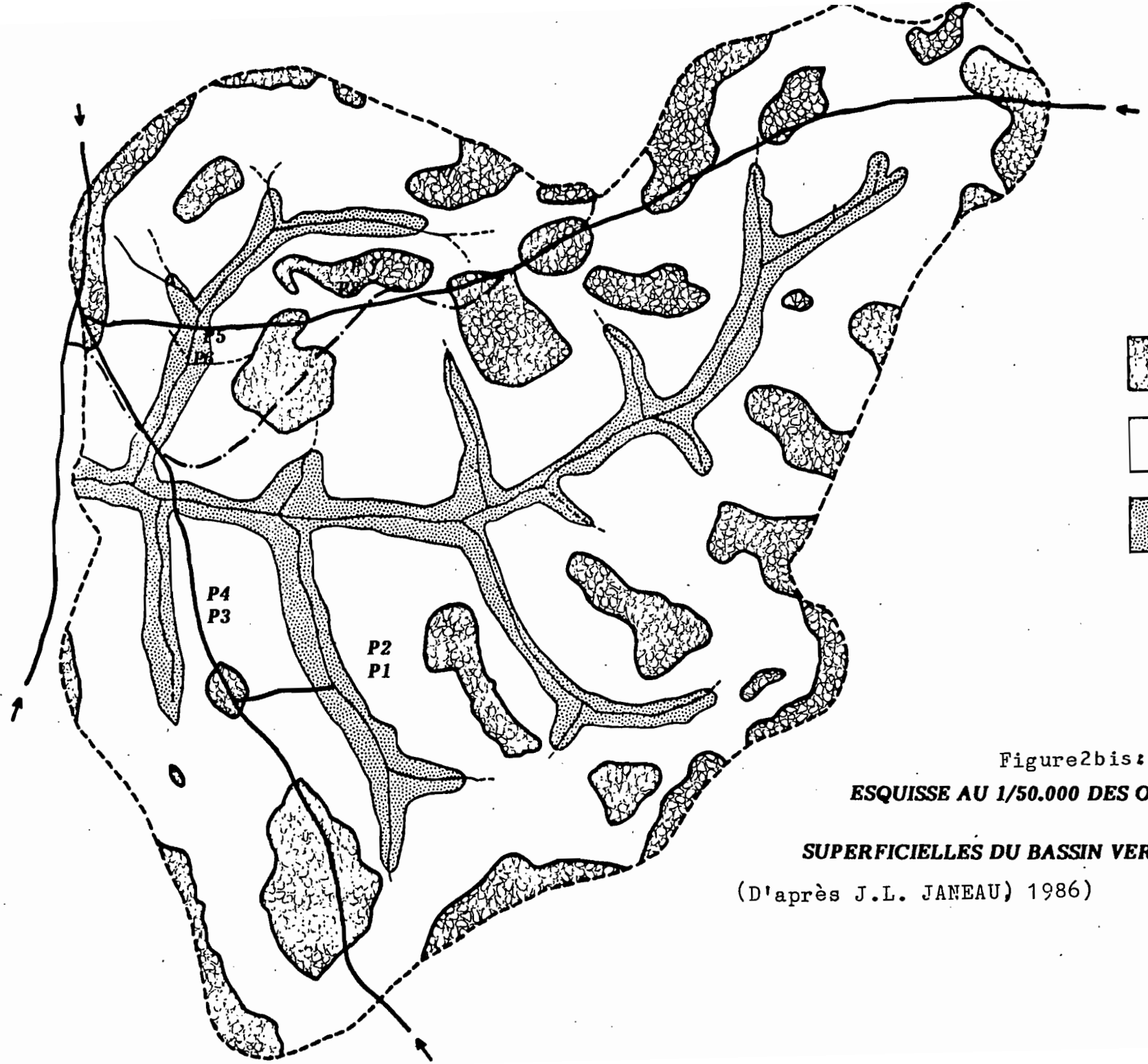


FIGURE 2 : LES ORGANISATIONS PEDOLOGIQUES SUPERFICIELLES ET LE COUVERT VEGETAL.

(TOPOSEQUENCE CLASSIQUE DU BASSIN VERSANT DE VARALE)

(D'après J.L. JANEAU, 1986).



UNITE 1

UNITE 2

UNITE 3

P Parcelle Expérimentale

Figure2bis:

ESQUISSE AU 1/50.000 DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES DU BASSIN VERSANT DE VARALE

(D'après J.L. JANEAU) 1986)

matrice de sables grossiers. Les gravillons sont plus au moins enchassés dans la matrice.

- Des O.P.S. de sables moyens à grossiers (ou unités 2) avec un pourcentage de moins de 10 % de gravillons. Des affleurements de granites (< 2% de la surface totale du bassin). Le micro-relief est associé aux touffes de graminées et aux techniques culturales. Le sable grossier se dépose dans les dépressions. L'enracinement est moyen à bon.

- Les O.P.S. des bas-fonds (ou unité 3) constituées d'une dominance de sables fins sur sables grossiers, des limons et argiles. Trace d'hydromorphie de surface. L'activité biologique est importante. Le micro relief est associé aux techniques culturales. On constate quelques micro-organisations pelliculaires superficielles.

CHAPITRE I.2.: LE CHOIX DES SITES D'EXPERIMENTATION

I.2.1. Méthodologie

La description fine du milieu nécessite une approche minutieuse, mais ensuite le choix des parcelles d'expérimentations ne pose pas beaucoup de problèmes et dépend des conditions suivantes :

1) Nécessité d'avoir des parcelles dans toutes les unités cartographiques,

2) Prévoir :
- l'approvisionnement en eau à proximité des parcelles,
- que les parcelles se trouvent sur des lieux accessibles aux véhicules de simulation (transport du matériel et camion citerne),
- que les parcelles soient représentatives des unités cartographiques,
- que l'installation du matériel de simulation soit possible (exemple, impossibilité d'enfoncer une parcelle dans un sol peu profond).

Compte tenu de ces éléments, lors d'une visite de terrain avec J.L.JANEAU en février 86, les sites ont été choisis de la façon suivante (JANEAU J.L., 1986) (figure 2bis).

- un site de deux parcelles est choisi sur l'unité 2 au bas de pente. Une parcelle sur champ de mil (après la récolte) et l'autre sur une jachère inférieure à deux ans (parcelles P1 et P2) ;

- un deuxième site est choisi sur la même unité (N° 2) mais avec une pente supérieure. Une parcele sous clairière et une autre sous savane (parcelles P3 et P4) ;

- un troisième site est choisi sur les bas-fonds. Une parcelle sur jachère (pseudo-jachère) et l'autre sur un champ de riz (après la récolte). Ce sont les parcelles P5 et P6 qui appartiennent à l'unité 3 ;

- un quatrième site se trouve sur le haut de pente et sur les plateaux cuirassés. La parcelle (P7) sur savane est une jachère de longue durée et la parcelle P8 se trouve sur un champ de mil (après la récolte), culture la plus pratiquée.

I.2.2. Description des parcelles

Elle est faite par A. CASENAVE, P. CHEVALLIER au milieu de la campagne de simulation et par J.L. JANEAU avant cette campagne.

Site 1. Unité 2 : bas de pente.

Parcelle P1 : champ de mil cultivé en buttes.

- Couvert végétal : 1 poquet de mil et 3 petites touffes d'herbes couverture < 5 %.
- Surface : sable grossier sur 80-90 % de la surface. 5 petites plages dénudées avec pellicule (porosité vésiculaire importante). Erosion importante : trace des gouttes de pluie nombreuses sur zones dénudées, pied de mil déchaussé sur 3-5 cm
- Pente : 3 %

Parcelle P2 : jachère inférieure à deux ans

- Couvert végétal : 2 touffes d'herbe et petit arbuste, paille de mil et herbe dispersées, couverture 5 %
- Surface : 80 % de zones dénudées avec pellicules et 20 % de couverture de sables grossiers dans de petites dépressions. Pellicule argileuse adhérente à l'horizon sous-jacent de sable fin. Porosité vésiculaire fine. Erosion importante : traces de gouttes de pluie abondantes, déchaussement à la base des herbes, marches d'escalier. Sous les sables grossiers pellicule polycyclique avec porosité vésiculaire importante, plus grosse que sous les placages de sables fins.
- Pente : 3 %.

Site 2 : Unité 2. Haut de pente.

Parcelle P3 : jachère sous clairière.

- Couvert végétal : une grosse touffe d'herbes, plusieurs petites nombreuses pailles. Couvert 10-15 %.
- Surface : Ségrégation sables grossiers dans les creux (50 %) et pellicules sur microbuttes 50 %. Pellicule plasmique fine adhérente à l'horizon de sables grossiers sous-jacents. Peu de porosité vésiculaire. Sous les sables grossiers pellicule. Erosion importante : traces de gouttes de pluie abondantes, touffes déchaussées sur 1 cm de haut.
- Pente : 3 %.

Parcelle P4 : jachère sous savane.

- Couvert végétal 2 touffes d'herbes + 1 petit arbuste, petit pied d'herbes sèches. Couvert 15 %.
- Surface : mélange de plages pelliculaires (80 %) et de plages couvertes de sables grossiers (20 %). Pellicule plasmique argileuse adhérente à l'horizon de sables grossiers sous-jacents. Porosité vésiculaire faible à nulle. Microrelief : 1 butte de 7-8 cm de haut et 20 cm de large alignée dans le sens de l'écoulement. Erosion forte, traces de gouttes de pluie, touffes déchaussées.
- Pente : 5 %.

Site 3. Unité 3 : bas-fond

Parcelle P5 : pseudo-jachère

- Couvert végétal : une dizaine de touffes d'herbes, pailles desséchées. Couvert 30 %.
- Surface : alternance de surface argileuse noire sans pellicule et de recouvrement de sables fins avec pellicules de 2 mm d'épaisseur adhérente à l'horizon sous-jacent. Porosité vésiculaire fine. Erosion forte : déchaussement des touffes, marches d'escalier.
- Pente : 5,5 %.

Parcelle P6 : précédent cultural, riz

- Couvert végétal : herbe continue couvrant 90% de la surface. Résidus de paille : 50 %.
- Surface : même horizon argileux noir que P5. Quelques plages dénudées avec

sable fin en surface. Microrelief moyen, cuvette de 5-10 cm de diamètre, 1 à 5 cm de profondeur. Erosion faible à nulle.
- Pente : 8%.

N.B.: Pour les deux parcelles P5 et P6, on retrouve un horizon de sables grossiers identique à celui des parcelles P1 à P4, sous une couvertue de 10 cm de sables fins et d'argile (colluvions).

Site 4, unité 1, versant de raccord.

Parcelle P7 : jachère de longue durée , sous savane.

- Couvert végétal : trois touffes d'herbes desséchées. Couvert : 2%.
- Surface : graviers de quartz et latérite sur 70% de la surface, taches dénudées avec matériaux plus fins sur 30%. Sur ces taches pellicules plasmiques fines adhérentes à l'horizon sous-jacent avec porosité vésiculaire fine peu abondante. Sous les graviers, pellicule polyédrique avec porosité fine abondante. Gravillons et graviers sont posés à la surface et non enchassés. Microrelief : nul. Erosion importante, traces de gouttes de pluie, déchaussement des touffes, microcheminées de fées sous graviers.
- Pente 3%.

Parcelle P8 : champs de mil (saison précédante)

-Couvert végétal : un pied de mil et pailles, couvert : 5%.
-Surface : graviers et gravillons (70%) et plages de sables grossiers (30%) en aval et en bordure de la parcelle. Graviers et gravillons sont enchassés dans une pellicule fragile, faible porosité vésiculaire fine sous graviers, nulle dans zones de sables grossiers. Microrelief : une butte au milieu de la parcelle allongée dans le sens de l'écoulement. Un placage de termites.
- Pente : 5 %

DEUXIEME PARTIE

II. LA SIMULATION DE PLUIE

CHAPITRE II.1. LE MATERIEL DE SIMULATION

II.1.1. Le simulateur de pluie

Il a été construit pour la première fois en Côte d'Ivoire par ASSELINE et VALENTIN en 1978. Il a connu depuis de nombreuses améliorations, mais le principe reste inchangé. Un appareil plus sophistiqué est en cours de réalisation en France (Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier, ORSTOM). Il apparaitra prochainement sur le terrain.

II.1.1.1. Description du dispositif (figure 3)

Le simulateur est un appareil en forme de pyramide occupant au sol une surface de 11 m². Sa surface au sommet est de 3 m² et sa hauteur est de 4 m. Il repose sur quatre pieds métalliques.

Sur la partie supérieure est fixé un système d'aspersion formé d'un gicleur calibré solidaire d'un balancier qui à la mise en marche oscille autour de la verticale passant par son axe de fixation. Ce mouvement est entretenu par un moteur d'essuie glace qui transmet l'effet à travers un engrenage constitué de deux roues dentées de diamètres différents. La plus grande roue est liée par le biais d'un bras de levier de longueur variable, au moteur. La petite roue est solidaire du gicleur.

La variation de longueur du bras de levier permet d'augmenter ou diminuer les intensités de la pluie respectivement en la diminuant ou en l'augmentant.

Le moteur fonctionne sur une batterie 12 volts. Le gicleur est alimenté en eau à l'aide d'une motopompe, par un système de tuyauterie souple. La réserve d'eau est constituée par des cuves remplies à l'aide d'un camion citerne.

L'intensité de la pluie délivrée par le gicleur (à débit constant) varie lorsqu'on modifie l'amplitude du balancement du gicleur. Cette amplitude varie dans le sens opposé de la longueur du bras de levier. les intensités obtenues en pratique vont de 40 mm/h à 150 mm/h.

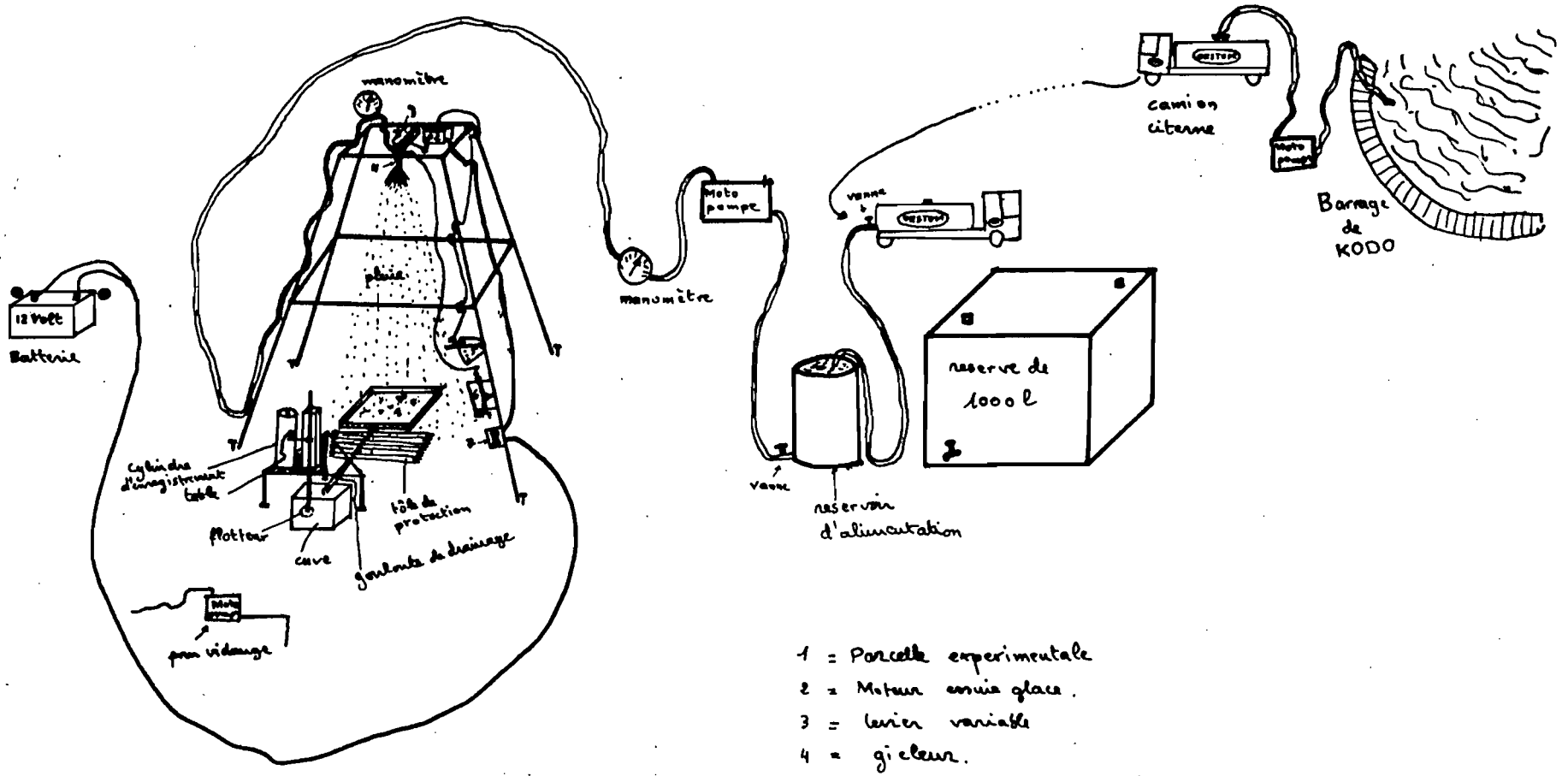
Un manomètre permet de contrôler la pression au gicleur et de la maintenir constante (environ 0,4 bar).

L'amplitude du balancement est commandée directement à partir du sol.

La pluie produite par le gicleur vient arroser une surface dont le centre est formé d'une parcelle de 1 m² délimitée par un cadre métallique. Le côté aval du cadre est percé de trous canalisant les eaux de ruissellement vers une cuve.

La cuve est surmontée d'un limnigramme à déroulement rapide qui enregistre le ruissellemeent en mm. Elle a une forme rectangulaire et est dimensionnée de façon à ce qu'un mm de ruissellement corresponde à un cm d'enregistrement sur le limnigramme.

Figure 3 : Materiel simulateur



1 = Parcelle experimentale
2 = Moteur essuie glace.
3 = levier variable
4 = gicleur.
5 = manivelle de centrage du système aspersion
6 = levier variable en communication avec 3
7 = interrupteur.

Une motopompe est utilisée pour vidanger rapidement la cuve lorsqu'elle est pleine.

Tout autour de la parcelle des prélèvements d'humidité se font avant chaque pluie à l'aide d'une tarière à diverses profondeurs.

CHAPITRE II.2. PARAMETRES MESURES ET EQUATIONS GENERALES DU BILAN HYDRIQUE SUR PARCELLE.

II.2.1. Paramètres mesurés (annexe 1, données de base)

Il s'agit de la pluie utile (Pu), du ruissellement (Lr), de l'humidité pondérale avant chaque pluie et de la densité apparente du sol (ρ_s). Les données de Pu et de Lr sont en annexe 2, la densité ρ_s en annexe 3 et de l'humidité pondérale en annexe 4.

II.2.1.1. La pluie

Avant chaque pluie on étalonne le simulateur pour les différentes intensités choisies. On fait se succéder les intensités dans l'ordre chronologique suivant la forme de l'averse modélisée et à simuler. Après chaque pluie nous faisons systématiquement ce qu'on appelle la pluie de contrôle. Cette dernière comme pour l'étalonnage se fait en utilisant un impluvium en tôle de surface 1m² et de coefficient de ruissellement 100%. La lame ruisselée est recueillie dans la cuve qui permet d'enregistrer la pluie de contrôle comme pour le ruissellement pour une parcelle naturelle. Pendant l'étalonnage et le contrôle, la parcelle avec son anneau de garde sont protégés.

II.2.1.2.Le ruisellement

Il est enregistré par le limnigraphe de la cuve. Il donne l'hydrogramme de ruissellement par dérivation selon le temps de la courbe de ruissellement cumulés. Vu les dimensions réduites du dispositif utilisé (échelle très petite de la parcelle (1m²),la longueur faible entre l'amont de celle ci et la cuve d'enregistrement), le temps de concentration des eaux de ruissellement est considéré comme négligeable.

Le dépouillement des limnigrammes est fait avec un pas de temps de 5 mn. les résultats de la lame ruisselée Lr en fonction de la pluie utile Pu sont donnés en annexe 2.

II.2.1.3. L'humidité du sol.

Il a été vérifié que les sondes neutroniques et les chocs thermiques ne donnent des résultats satisfaisants que pour des sols non gravillonnaires. C'est pourquoi dans notre cas on a utilisé la méthode gravimétrique qui consiste à prélever des échantillons d'humidité à différentes profondeurs et à déterminer le poids humide Ph de cet échantillon sur place à l'aide d'une balance de précision et le poids Ps après passage pendant 48h à l'étuve au retour de la campagne de simulation. L'expression suivante :

$$Hp = (Ph - Ps) / (Ps - Pt) \times 100\% \qquad (1)$$

donne l'humidité pondérale Hp.

Où Pt est le poids de la boîte utilisée pour la récolte de l'échantillon. Il est mesuré à l'avance et est codé par un numéro d'ordre porté par la boîte et qui la différencie des autres.

II.2.1.4. La densité apparente des sols

Les densités apparentes des sols ont été déterminées à l'aide d'un gammadensimètre à l'emplacement des parcelles pour des horizons de 20 en 20 cm. Celle-ci nous permet le passage de l'humidité pondérale Hp à l'humidité volumique Hv par la relation suivante :

$$Hv = \rho_s \times Hp \quad (2) \qquad \text{où } \rho_s \text{ est la densité apparente}$$

Méthode de détermination des densités apparentes du sol (annexe 3)

- Le gammadensimètre (figure 4)
  C'est un appareillage qui permet de mesurer la densité d'un matériau donné en place. Son principe est l'emission par une source radio active de photons gamma d'énergie donnée. Le matériau absorbe une certaine quantité de ces photons selon sa masse humide.

- Densité apparente des sols
  On mesure le nombre de photons N qui traverse le matériau sans dérivation ni absorption ; étant donné que le temps de comptage utilisé est de 60 secondes, le taux de comptage C (en coups par minutes, cpm) peut être confondu avec N puisque :

$$C = N / (1mn) = N \text{ (cpm)} \qquad (3)$$

Pour déduire le N vrai il faut :

- ajouter un terme correctif $C' = Ncorr - N$ (4)

$$\text{où } Ncorr = N / (1 + \tau \times N/60) \qquad (5)$$

ou τ est le temps de résolution des détecteurs et Ncorr est N corrigé.

- retrancher la valeur BF du bruit de fond qui dépend de l'appareil utilisé. Elle est mesurée au départ avant l'enfoncement de la source radioactive.

$$\text{d'où } Nvrai = N + C' - BF \qquad (6)$$

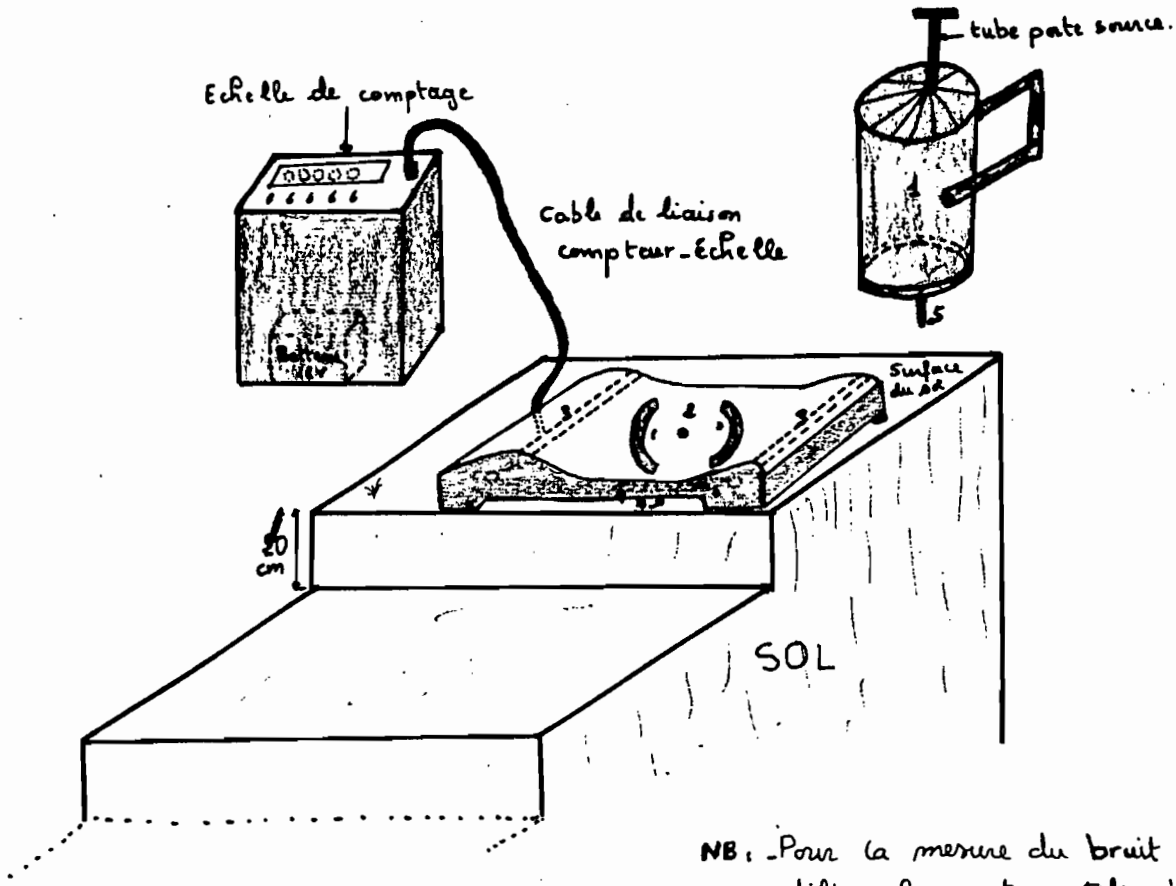
Des mesures sur le marbres et le calcaire ont été faites (annexe 4) pour tracer la courbe d'étalonnage (annexe 5). Et donc à partir de Nvrai de nos mesures on détermine la densité humide de l'échantillon (ρ_δ). Par la relation :

$$\rho_s = \rho_\delta \times 100 / (100 + 1{,}1\ Hp) \qquad (7)$$

on détermine la densité sèche (ρ_s), Hp étant l'humidité pondérale d'échantillons de sols prélevés à l'emplacement de chaque mesure.

Les densités déterminées sont des moyennes sur des tranches de 20 cm. D'où la nécéssité d'un lissage des courbes joignant les différents points mesurés suivant la profondeur. A partir des courbes tracées (figure 5), on peut connaitre la densité à chaque profondeur. En utilisant la relation (2) on obtient l'humidité volumique Hv qui nous permettra de tracer les profils hydriques de la figure 6. Ces profils hydriques nous servirons plus tard pour calculer le stock hydrique du sol.

Figure 4 :Le gammadensimètre et la technique de mesure de la densité sur place.

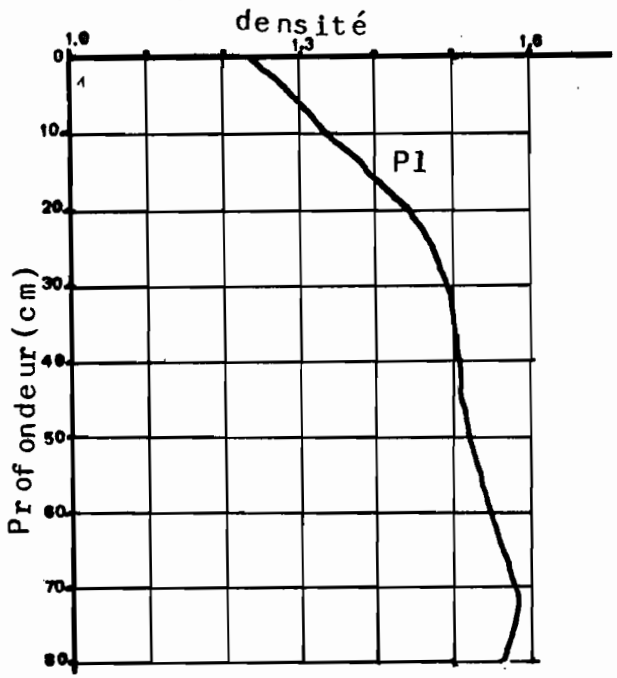


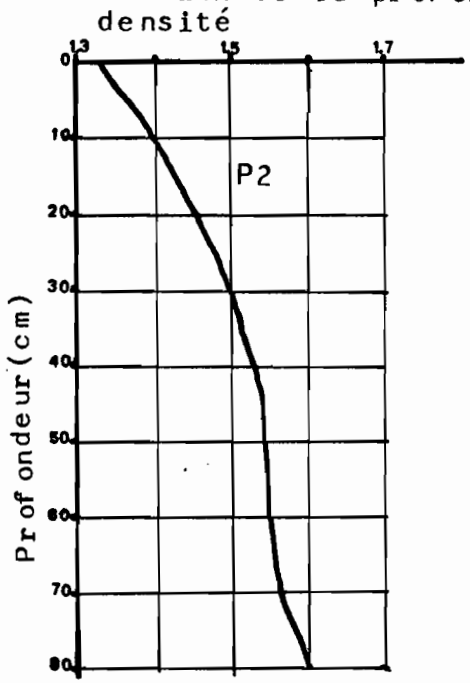
NB : - Pour la mesure du bruit de fond on utilise le montage tel qu'il est sur le dessin
- Pour la mesure complète on enfonce la source une fois que (1) est posé sur 2.

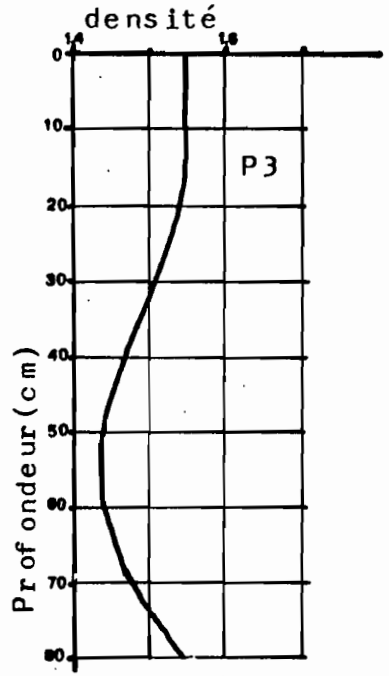
Légende :

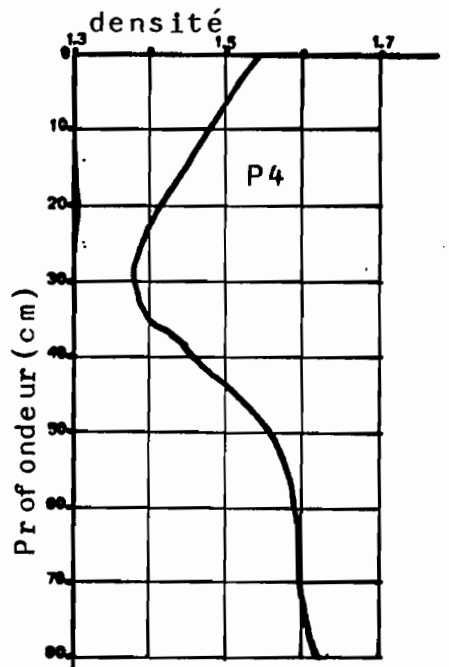
1 = Container
2 = emplacement du container
3 = compteur.
4 = Plateau.
5 = Source.
6 = adaptateur.

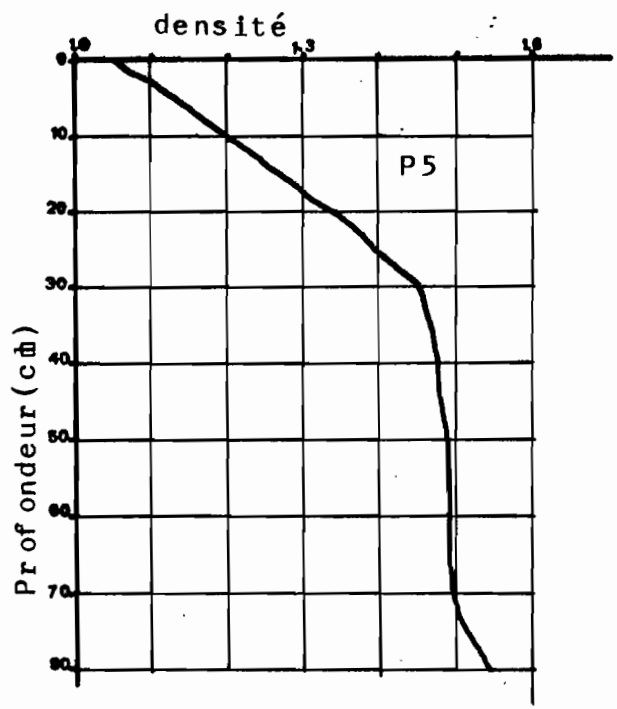
densité en fonction de la profondeur

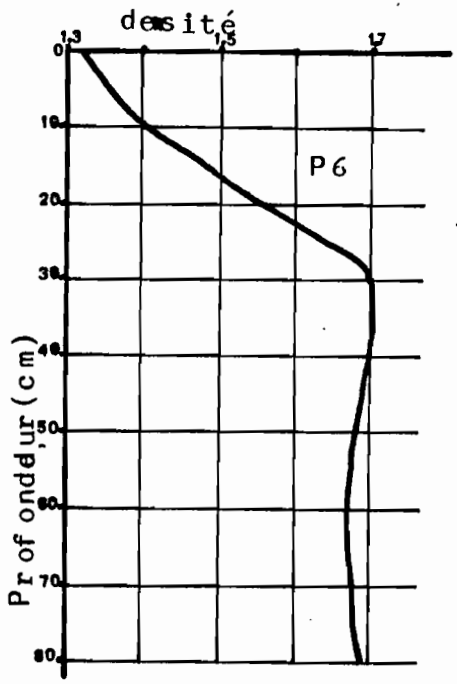


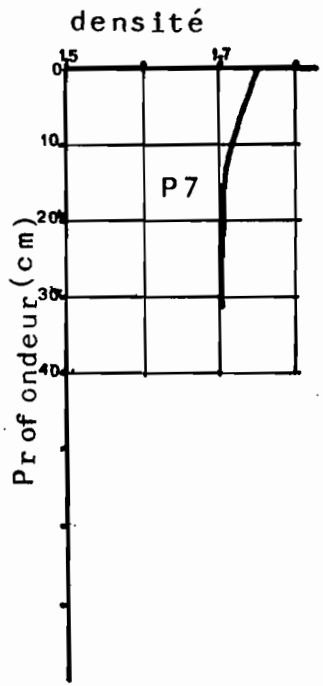












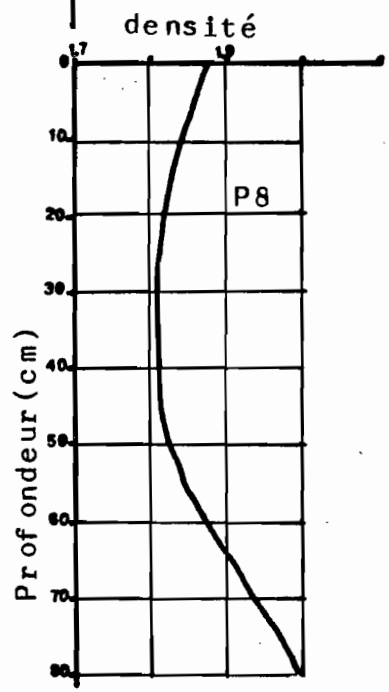


Figure 6 :Profils hydriques du sol

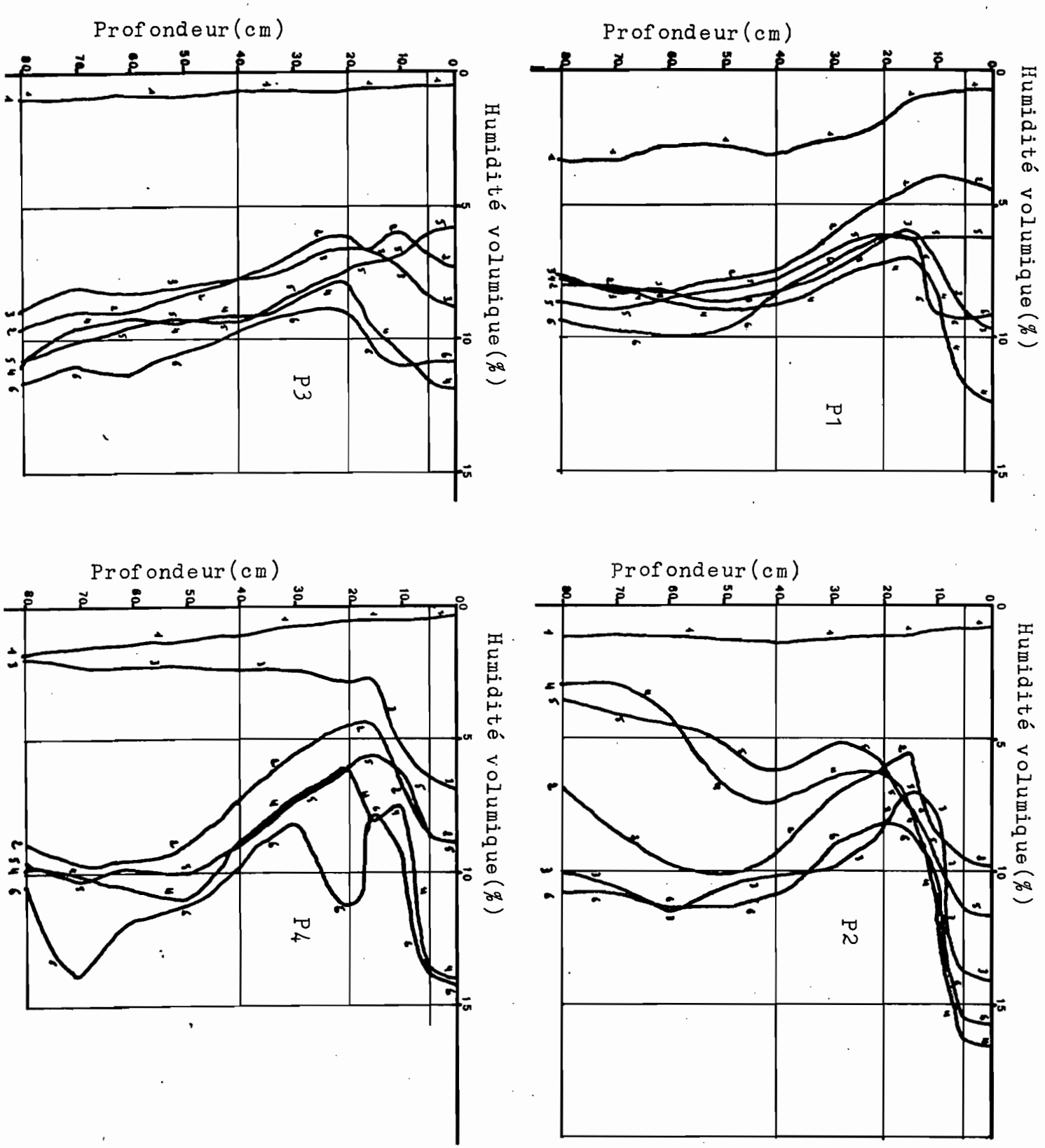
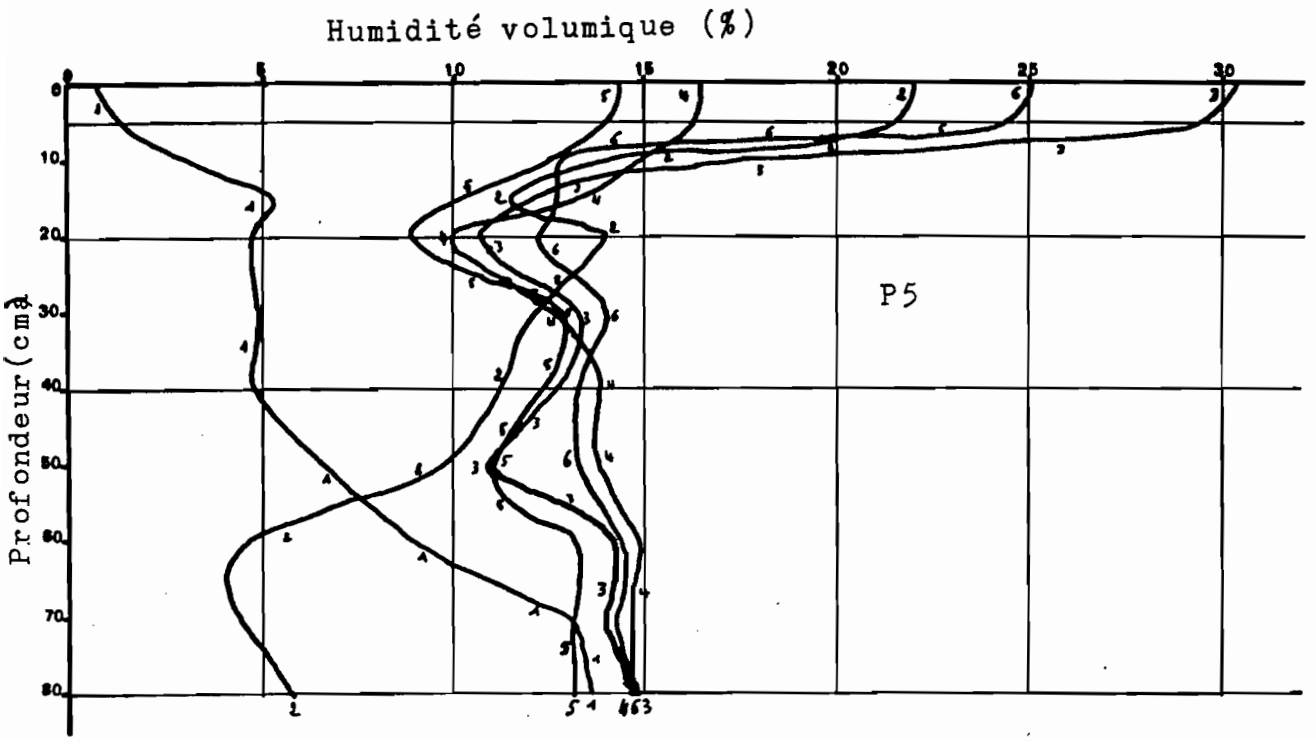


Figure: 6:Profils hydriques (suite)



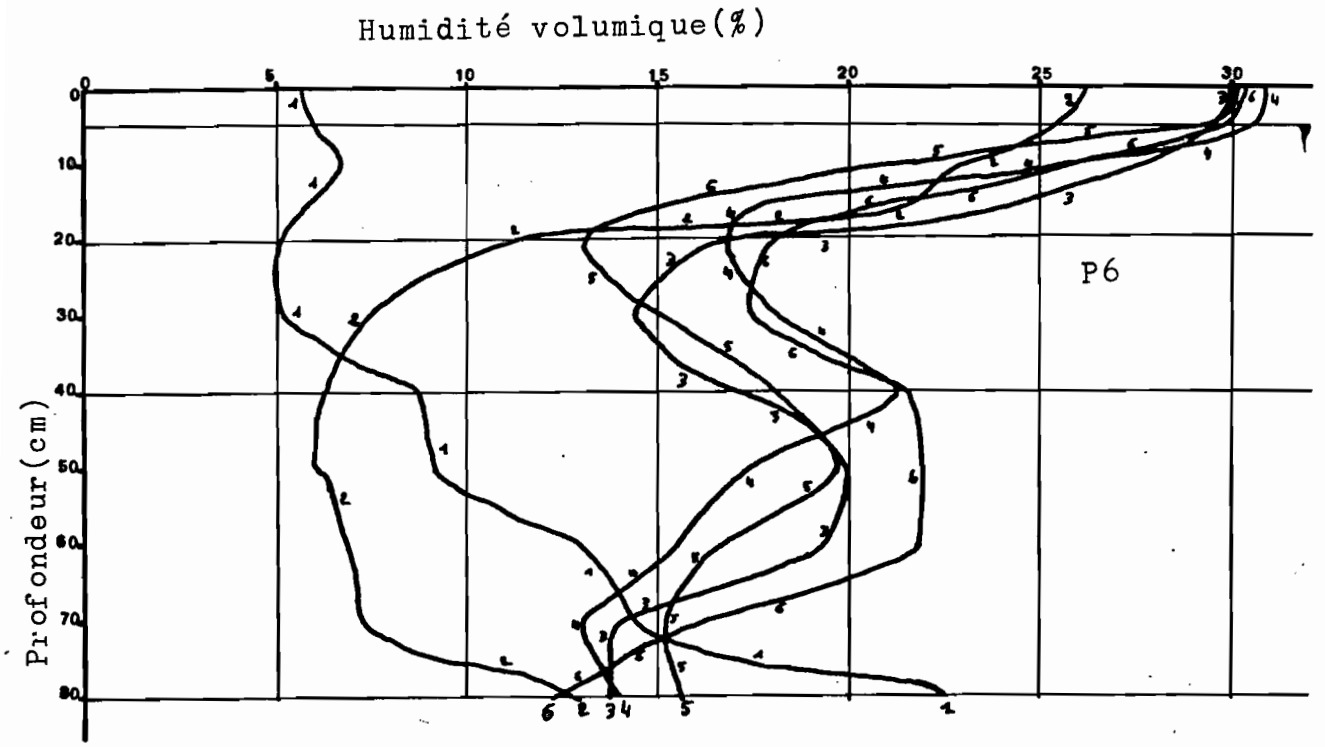
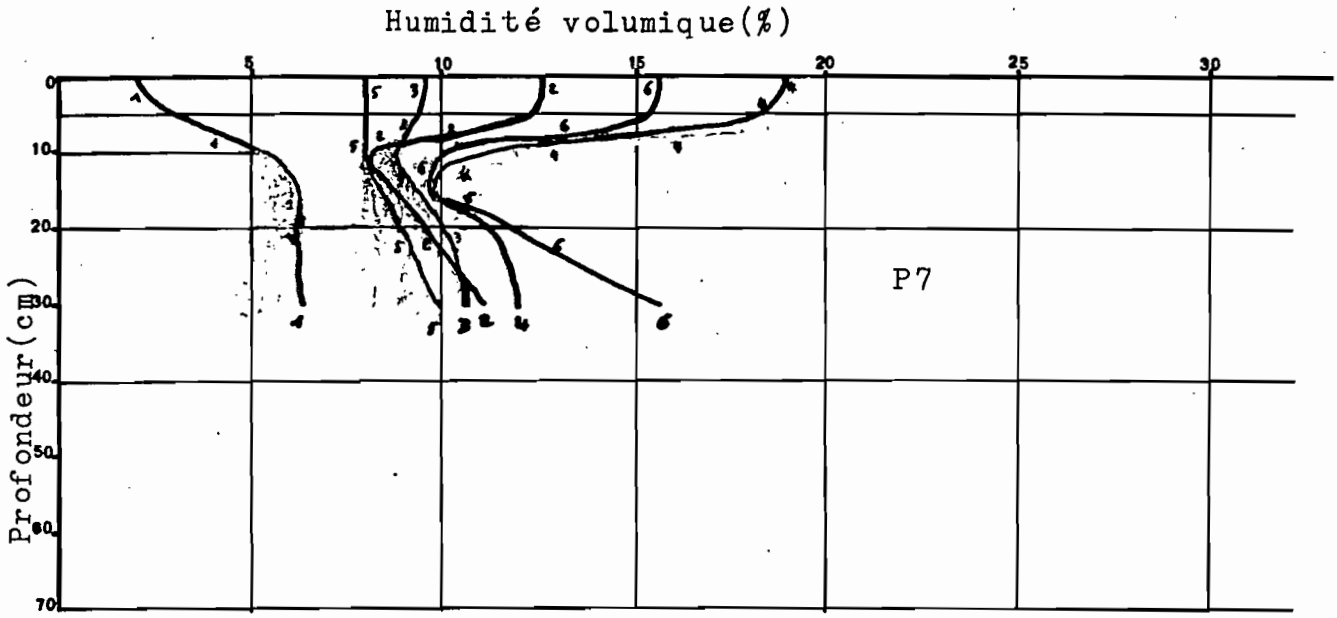
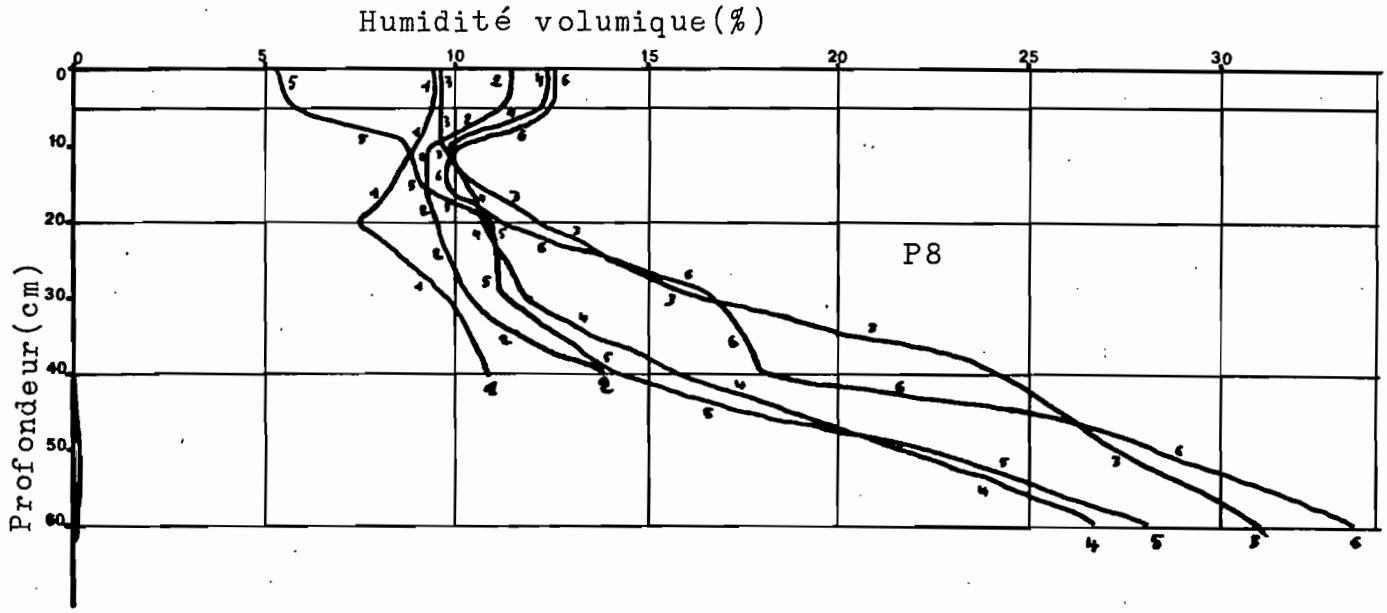


Figure 6 :Profils hydriques(suite)





II.2.2. Equations générales du bilan hydrique à l'échelle de la parcelle

Les différents termes qui interviennent dans le bilan hydrique sur une parcelle de simulation sont : (figure 7)

- la hauteur de la pluie utile cumulée Pu(t) tombée avec une intensité I(t) ,
- la hauteur de la lame d'eau ruisselée cumulée Lr(t), à laquelle correspond une intensité de ruissellement R(t);
- la lame d'eau stockée S(t) à la surface de la parcelle dans les microdépressions,
- la détention superficielle mobilisable Dm(t) dont une fraction Dr est récupérée par le ruissellment après l'arrêt de la pluie
- la lame d'eau infiltrée cumulée W(t) correspondant à une capacité d'infiltration F(t).

L'évaporation n'intervient pas d'une part à cause des faibles dimensions de la parcelles et d'autre part des faibles durées des averses (1h à 1h 35).

D'une manière générale le bilan peut se mettre sous la forme :

$$Pu(t) - Lr(t) - W(t) - Dm(t) - S(t) = 0 \qquad (8)$$

Cette expression de la conservation des volumes d'eau peut être schématisée pour une intensité I(t) constante comme l'indique la figure 7 (LAFFORGUE, 1977, LAFFORGUE, CASENAVE, 1980).

Comme l'illustre bien cette figure, on distingue quatre phases et l'équation (8) prend une forme simplifiée pour chaque cas.

II.2.2.1. La phase d'imbibition

Jusqu'à un temps ti, on n'observe pas d'écoulement à l'exutoire. La pluie reçue par une parcelle pendant le temps ti constitue la pluie d'imbibition Pi qui se décompose en deux temps successifs :
- le premier étant le temps où l'infiltration est totale; il est du à la supériorité de la capacité d'infiltration sur l'intensité de la pluie.
- le second temps correspond à la limite d'obtention du ruissellement. Si on appelle le premier temps tp et le second ti : la pluie d'imbibition proprement dite est la lame infiltrée Wi jusqu'au temps ti augmenté du stock dans les dépressions Si et on peut l'écrire :

$$Pp = Wp \qquad (9)$$
$$Pi = Wi + Si \qquad (10)$$

Notons que Wp est une fraction de Wi et qu'on a négligé l'interception par les végétaux (Int).

II.2.2.2. Régime transitoire

Après le temps ti, le devenir de la pluie Pu(t) suit deux axes entre lesquels se produit un stockage superficiel Dm(t) :

- un axe vertical qui est l'infiltration W(t) qu'on observe dès le début de la pluie,
- un axe horizontal qui est le ruissellement superficiel Lr(t).

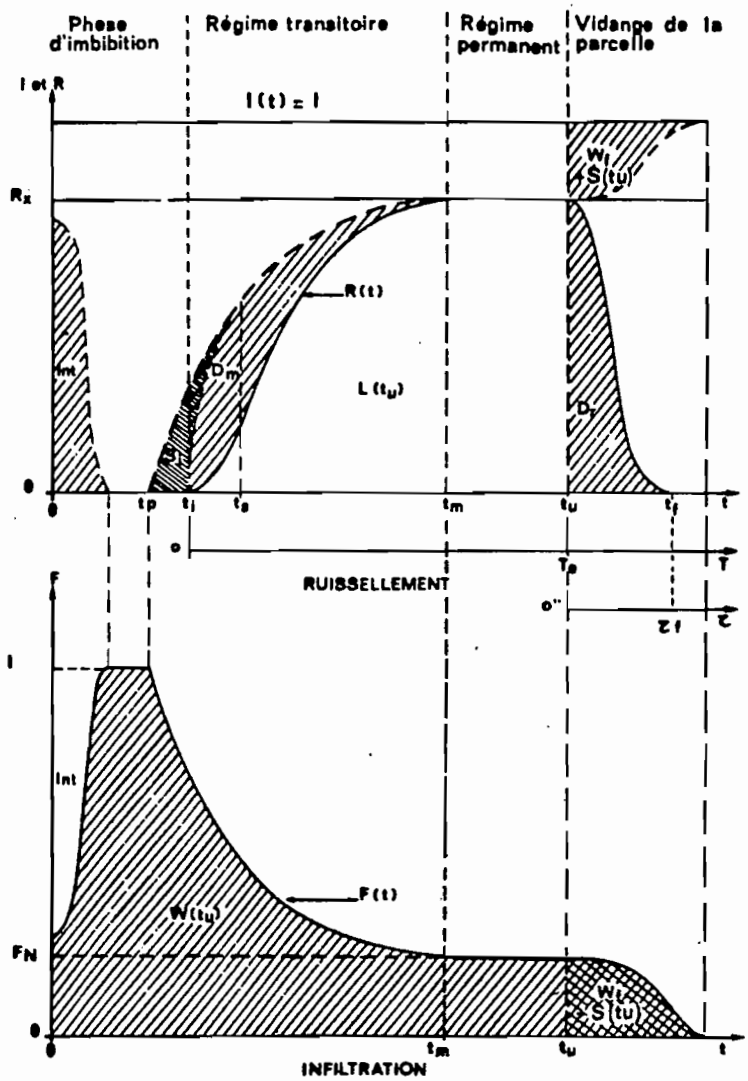


Fig. 7 — Ruissellement et infiltration sous intensité d'averse constante

(D'après A. LAFFORGUE, 1977)

Ce dernier augmente progressivement suivant une courbe R(t) en S jusqu'à atteindre en un temps tm une intensité de ruissellement maximale Rx correspondant à une intensité d'infiltration minimale Fn obtenue à la suite d'une diminution progressive F(t).

L'équation (8) reste inchangée :

$$Pu(t) - Lr(t) - W(t) - Dm(t) - S(t) = 0 \qquad (8')$$

soit en dérivant :

$$I - R(t) - F(t) - dDm/dt - dS/dt = 0 \qquad (11)$$

II.2.2.3. Régime permanent

Au delà du temps tm, F(t) est minimale et constante, Rx est maximale et constante. La lame ruisselée devient une fonction linéaire du temps et de la hauteur de pluie. L'équation (8) devient :

$$Lr(t) = Lr(tm) + Rx \times (t-tm) \qquad (12)$$

ou encore puisque :

$$Rx = I - Fn \qquad (13)$$

$$Lr(t) = Lr(tm) + (I - Fn) \times (t - tm) \qquad (14)$$

II.2.2.4. Phase de vidange

A l'arrêt de la pluie Pu(t), le temps étant tu, le ruissellement décroit jusqu'à s'annuler au temps tf. La lame récupérée depuis cet arrêt constitue la fraction récupérable de la détention superficielle maximale résultante à la fin de la pluie. On peut l'écrire :

$$Dr = Dmx - [W(t)]_{tu}^{tf} \qquad (15)$$

D'où l'équation globale devient :

$$Lr(tf) - Lr(tu) = Dm(tu) + S(tu) - S(tf) + W(tu) - W(tf) \qquad (16)$$

et

$$Dr = Dm + S(tu) - S(tf) - Wf \qquad (17)$$

CHAPITRE II.3. : ELABORATION DU PROTOCOLE ET DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE DE SIMULATION

II.3.1. Forme des averses

On choisit de simuler des averses de projet de type annuelle et décennale. Nous disposons d'une part des courbes hauteur-durée-fréquence (HDF) de certains postes voisins de Bouna (Korhogo, Gaoua et Ferkessédougou) proposés par PUECH (1984) et d'autre part d'un abaque des intensités-durées-fréquences (IDF) en fonction de la pluviométrie interannuelle moyenne établi par BRUNET-MORET (1963).

Des courbes de PUECH on déduit les hyétogrammes classés pour les postes de Korhogo, Gaoua et Ferkéssédougou. De l'abaque de BRUNET-MORET on détermine le hyétogramme classé pour une moyenne interannuelle de 1114 mm (valeur donnée pour Bouna par BRUNET-MORET, 1974).

On trouvera en annexe 7 et 8 les tableaux récapitulant les caractéristiques de ces hyétogrammes.

Des hyétogrammes classés ainsi obtenus, nous déduirons les formes des averses annuelles et décennales (fig. 8 et 9) compte-tenu des contraintes suivantes :

- les intensités que nous pouvons obtenir avec le simulateur vont de 40 à 150 mm/h,
- la pluie d'imbibition ne peut-être connue avec précision que par le maintien d'une intensité constante pendant longtemps (cas de la pluie décennale),
- on veut étudier la réponse des sols à plusieurs intensités.

Finalement on retient les formes d'averses à simuler données par la figure 10 et dans les tableaux 1 et 2.

On obtient donc pour une averse annuelle un total de 70,9 mm et pour une averse décennale un total de 108,3mm.

Tableau 1 : Succession des intensités pour l'averse annuelle

durée en mn	10	10	10	10	10	10
intensité en mm/h	40	120	90	75	60	40

Tableau 2 : Succession des intensités pour l'averse decennale

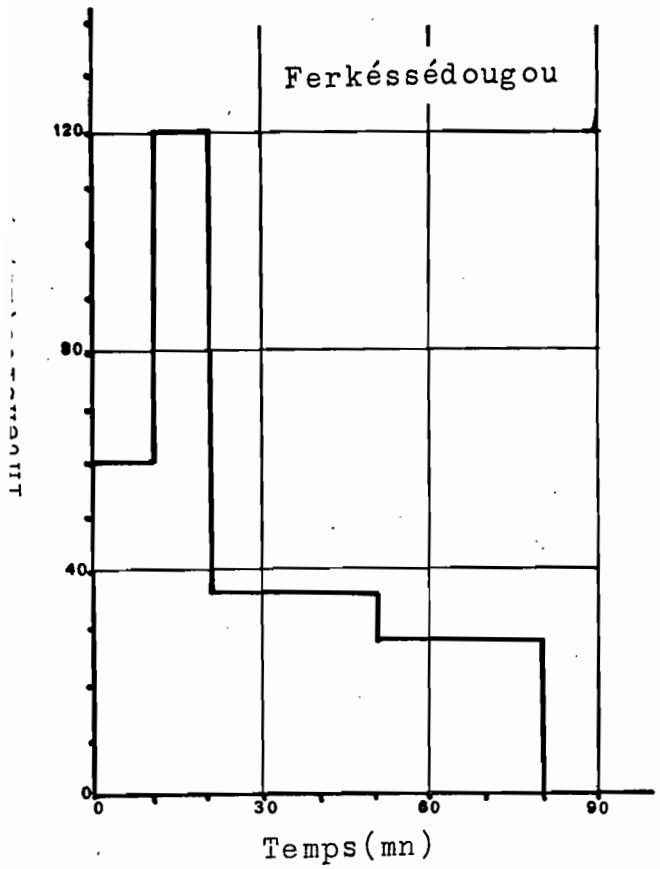
durée en mn	30	10	10	10	10	10	15
intensité en mm/h	40	60	140	105	90	60	40

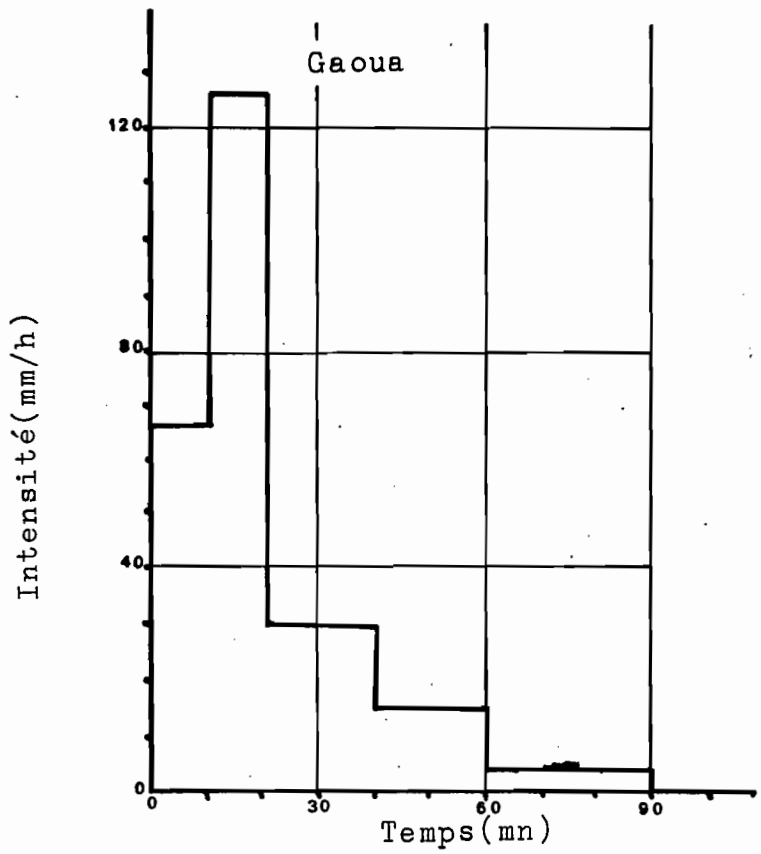
II.3.2. Elaboration du protocole des pluies simulées

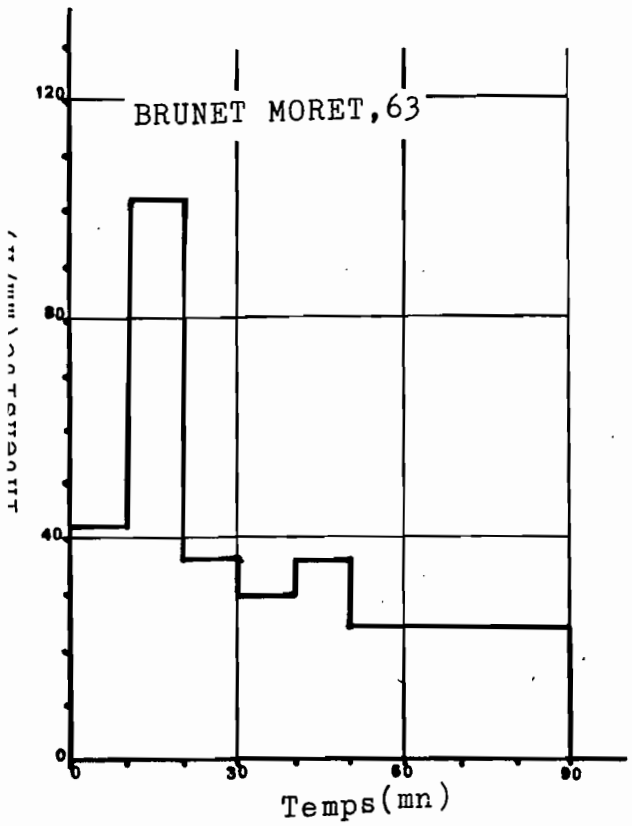
II.3.2.1. Calcul des indices d'humectation du sol (IK)

Pour les campagnes 1961, 62, et 63, le suivi des enregistrements de la pluie sur les bassins de Varalé nous permet de calculer les indices d'humectaiton du sol (IK). La formule utilisée est celle de P. CHEVALLIER (1982).

Figure 8 :Averses types
ANNUELLES







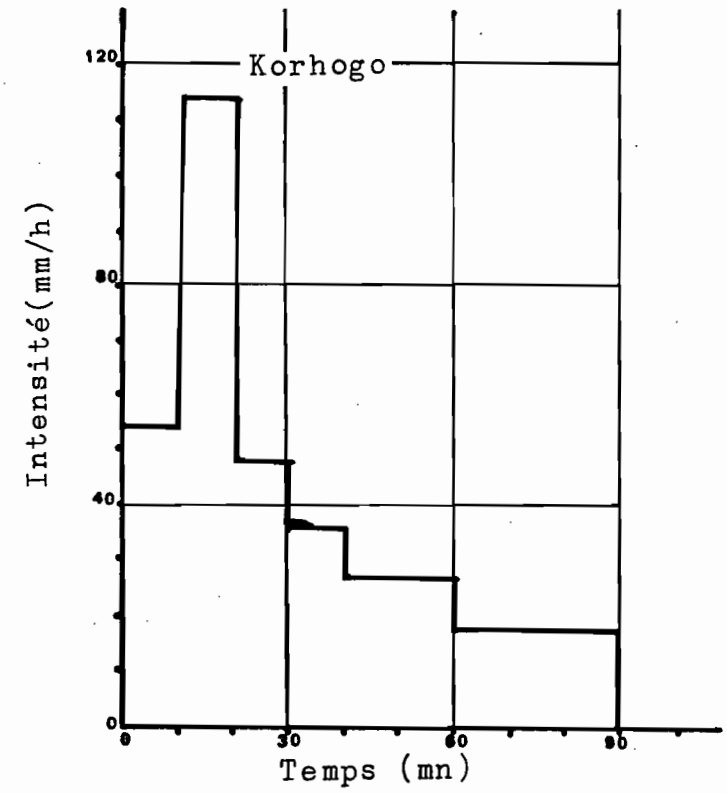
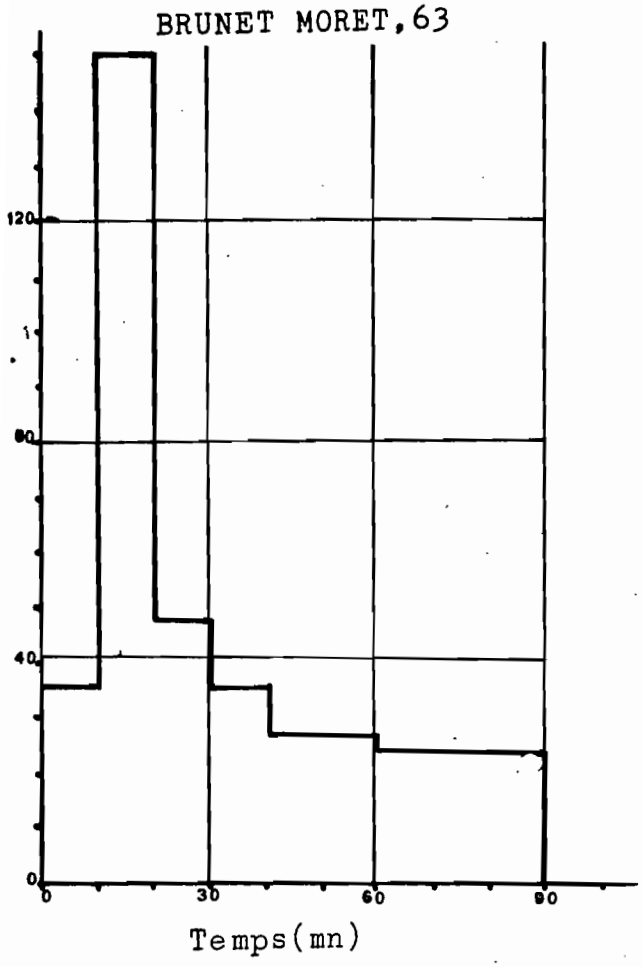
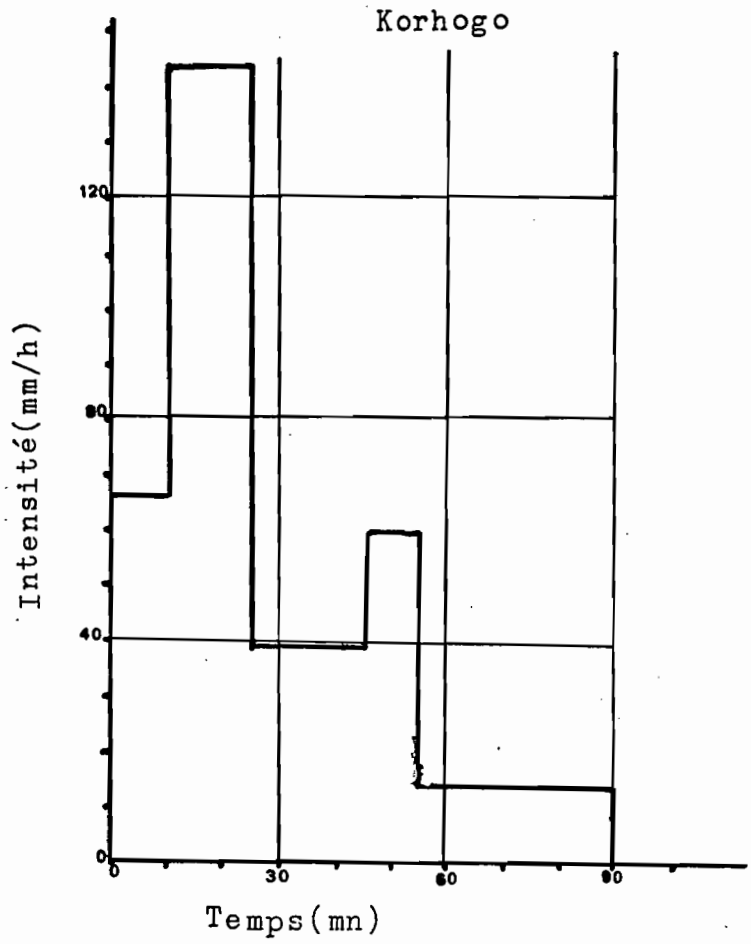
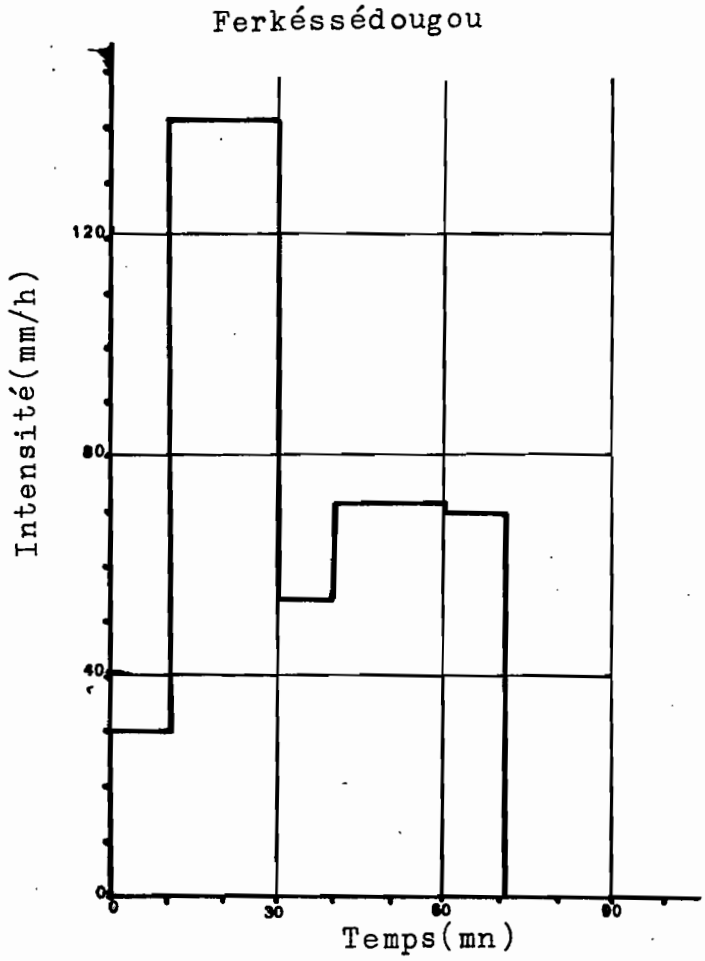


Figure 9 :Averses types
DECENNALES







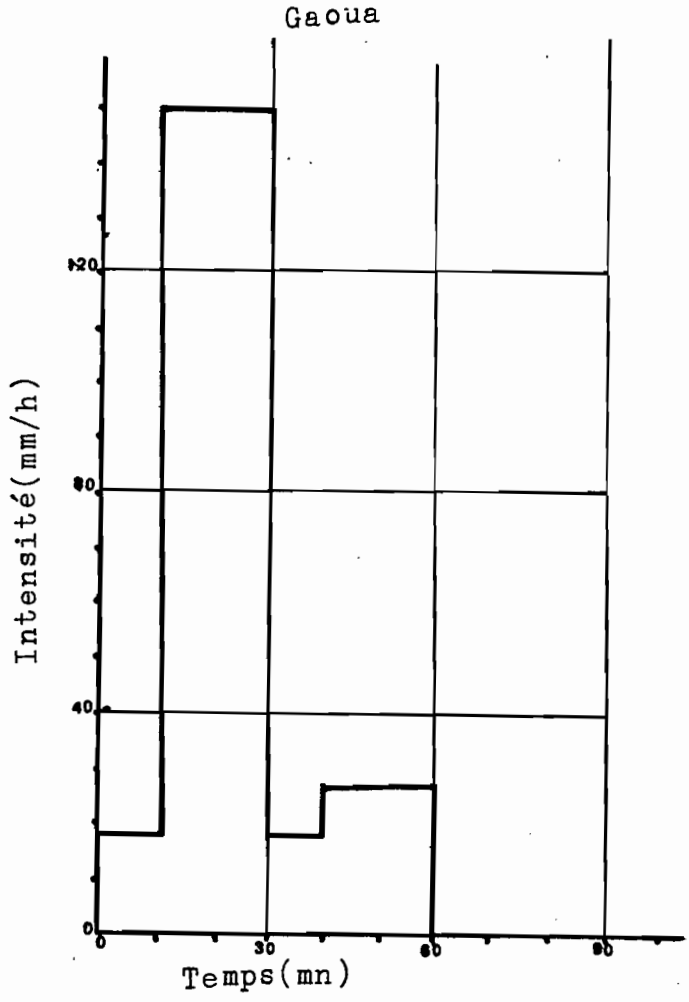
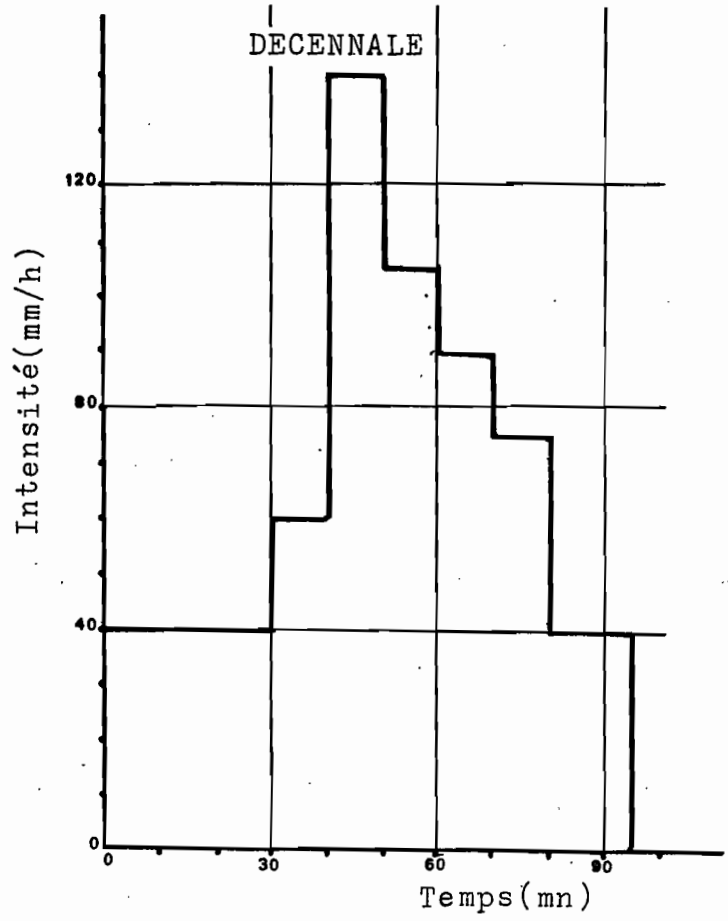
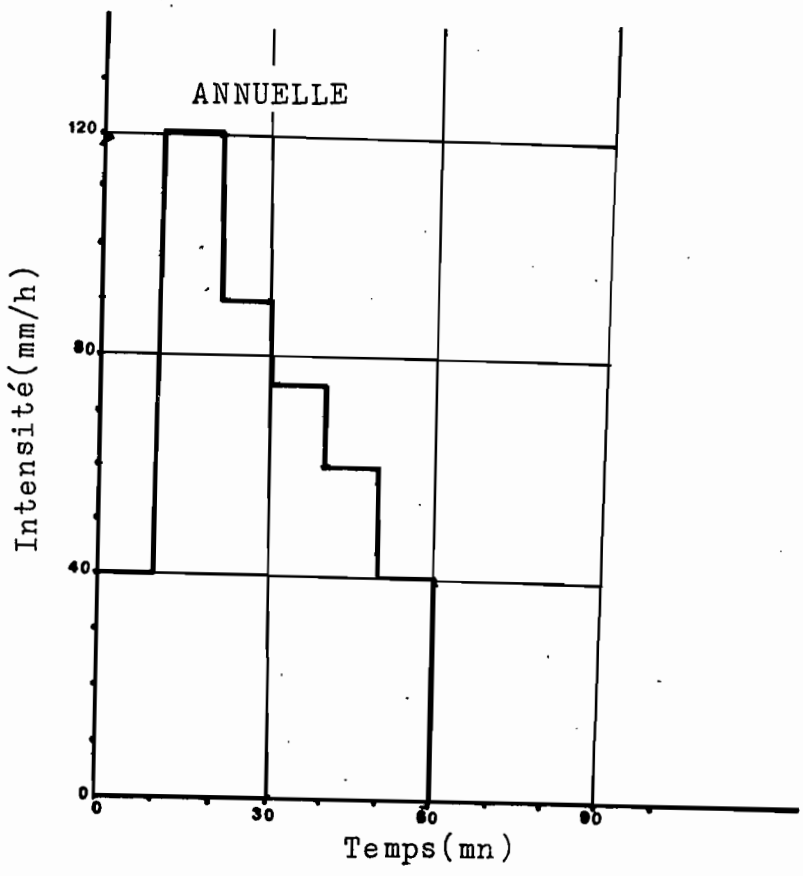


Figure 10 :Averses à Simuler





$$IKn = (IKn-1 + Pa) \exp(-0,5\ ta) \quad (18)$$

où IKn : indice d'humectation avant la pluie n
IKn-1 : indice d'humectation avant la pluie n-1
Pa : la valeur de la pluie n-1 en mm
ta : le temps en jours entre le début de l'averse n-1 et le début de l'averse n.

Les résultats sont portés en annexe 9. On a obtenu une gamme de variations allant de IK = 0 à IK = 51,2

II.3.2.2. Choix de la succession des pluies

Il dépend de la moyenne interannuelle.

La somme des pluies reçues par une parcelle ne doit pas dépasser la moyenne interannuelle. Selon BRUNET-MORET, elle est de 1114 mm sur la période 1920-1974 et pour BROU KOUAME elle est de 1083 mm sur une période incluant les dernières années plutôt sèches (1920-1984).

Il faut que la succession des pluies jalonne la gamme des indices d'humectation calculées au II.3.2.1. afin de voir la variation du ruissellement en fonction de cet indice. Pour répondre aux conditions ci-dessus, un protocole a été proposé par P. CHEVALLIER et dont les valeurs théoriques sont résumés dans le tableau 3.

Tableau 3 : valeurs théoriques du protocole de simulation

Type de pluie et ordre de la pluie	temps d'attente après pluie (ta) en jours	indice d'humectation IK	hauteurs cumulées
1 D		0	108,3
2 A	4	14,7	179,2
3 A	2	31,5	250,1
4 A	1	62,1	321,0
5 A	2	48,3	391,9
6 D	1	72,7	500,2

A : Annuelle précédé du n° d'ordre de la pluie
D : Décennale

On remarque qu'on couvre bien notre échelle d'indice IK (0 à 72,7) et que la somme des averses théoriques est de 500,2 mm, valeur nettement inférieure à 1083 mm.

CHAPITRE II.4. TRAITEMENT DES DONNEES ET INTERPRETATION DES RESULTATS A L'ECHELLE DE LA PARCELLE

II.4.1. Pluie d'imbibition

C'est la pluie infiltrée ou accumulée dans les dépressions depuis le début de l'averse jusqu'à l'instant du déclenchement du ruissellement.

II.4.1.1. Liaison pluie d'imbibition - indice d'humectatiion

L'examen des courbes Pi=f(IK) de la figure 11 montre une décroissance exponentielle de la pluie d'imbibition Pi en fonction de l'indice d'humectation IK. La différence entre les parcelles réside dans la pluie d'imbibition après un épisode sec de plus de 15 jours, caractérisé par un IK nul. A ce niveau en particulier et pour l'ensemble des IK en général nous constatons deux groupes de parcelles :

- celui des parcelles P3, P4, P5 et P6 qui évolue suivant une loi unique de Pi=f(IK). Il est caractérisé par des pluies d'imbibition fortes qui peuvent être dues aux fortes dépressions pour P3, P4 et P6 ; à un enracinement profond correspondant aux grosses touffes de graminées favorisant l'infiltration par la macroporosité, pour P3 et P4 , ou à une importante strate herbeuse verte témoin d'un bon enracinement pour P6. La parcelle P5 qui est dans les mêmes conditions que P3, P4 et P6 présente une légère différence car elle est moins herbeuse (plages dénudées 70 %) et contient des quantités de colluvions (surtout argiles et limons en surface) qui favorisent la formation d'une pellicule et limitent l'infiltration. Par conséquent la pluie d'imbibition est à peu près constante depuis IK voisin de 15 à IK maximum (voisin de 70).

- celui des parcelles P1, P2, P7 et P8 dont la décroissance exponentielle est moins forte pour P1, P7 et P8 à une véritable droite de régressions pour P2. Ce sont des sols sans trop de dépressions, nus à sables grossiers en surface (P1), peu couvert d'herbe (P7), à gravillons et graviers (P7 et P8) ou présentent une pelicule en surface (P2).

II.4.1.2. Liaison avec le temps de ressuyage ta

Nous n'étudierons que le ressuyage lent. En effet les prélèvements d'humidités ne sont réalisées qu'immédiatement avant chaque averse simulée et le temps de ressuyage le plus court observé est de 24 h. Nous n'avons pas de données pour des durées inférieures.

D'après LAFFORGUE 1977, la cinétique du ressuyage lent peut s'écrire :

(19)

où λ = capacité de ressuyage
θ_r = humidité à la capacité de rétention
ta = temps de ressuyage

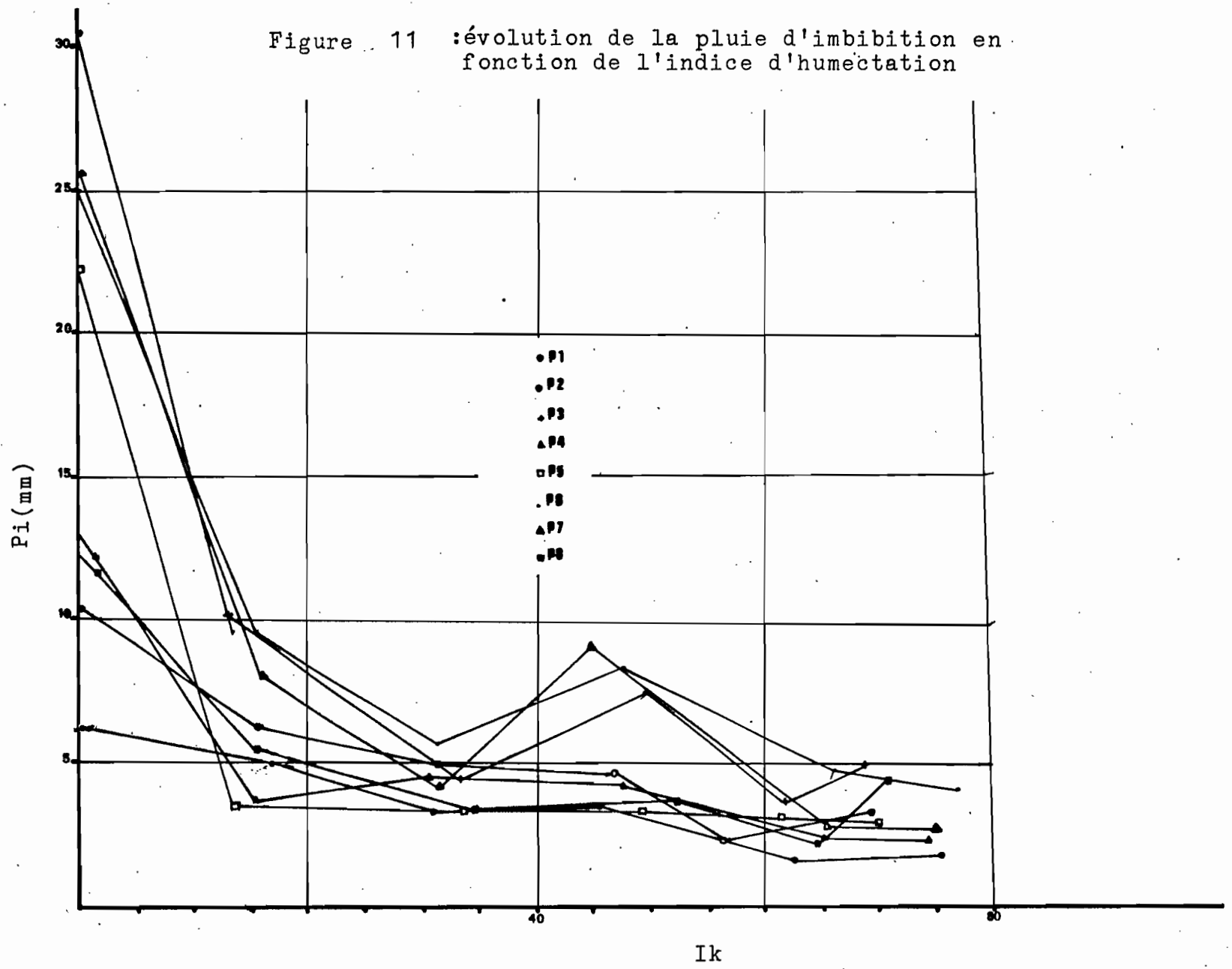
et il pose :

$$Pi \text{ corrigé} = Pi \text{ mesuré} - Hi \text{ (erreur)} \qquad (20)$$

Donc

$$Pi - Hi = C\,(\theta_s - \theta_o) \qquad (21)$$

Figure 11 :évolution de la pluie d'imbibition en fonction de l'indice d'humectation



où C = coefficient dépendant de l'intensité I de la pluie
θ_s = humidité à l'état de saturation
θ_o = humidité initiale.

Pour $\theta < \theta_r$

$$Pi - Hi = C \times \theta r \ (1 - \exp(-\lambda ta) + C \times (\theta_s - \theta_r) \qquad (22)$$

Pour deux averses très rapprochées dans le temps, ta $\rightarrow$ 0, et θr est proche de s et l'équation (22) devient :

$$Pi - Hi = 0 \qquad (23)$$

entraîne :

$$Pi(0) = Hi \qquad (24)$$

et si on imagine un sol à sec (ta = ∞) l'équation (22) devient :

$$Pi(\infty) - Pi(0) = C\ \theta_s \qquad (25)$$

Ecrivons (22) complètement pour un temps ta donné :

$$\exp(-\lambda ta) = \log [Pi(\infty) - Pi(ta)] - \log C\theta r \qquad (26)$$

si

$$\varphi = \log [Pi(\infty) - Pi(ta)] \qquad (27)$$

alors

$$\varphi = -\ \lambda ta + \log C\ \theta\ r \qquad (28)$$

Pour le calcul de λ et $C\theta r$, on a reporté sur la figure 12 $\varphi = f(ta)$ et les valeurs obtenues sont dans le tableau 4.

Tableau n°4 : valeur de la capacité de ressuyage λ et de la constante $C\ \theta r$

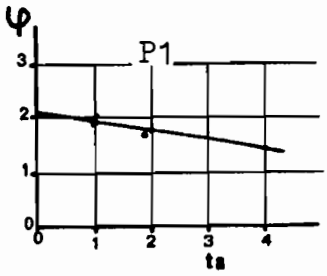
Parcelle	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
λ en mm/j	0,16	0,53	0,068	0,089	0,018	0,067	0,20	0,285
$C\ \theta r$ en mm	8,16	6,68	27,1	24,5	20,08	21,75	11,60	12,20

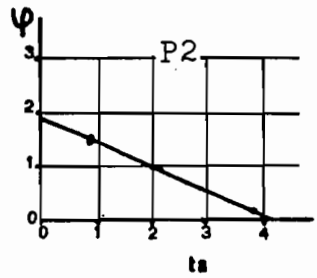
Les parcelles P3, P4 et P6 ont de capacités de ressuyage lent très faibles tandis que leurs capacités de réservoir sol au début de ce ressuyage sont grande. Ce sont des parcelles très perméables.

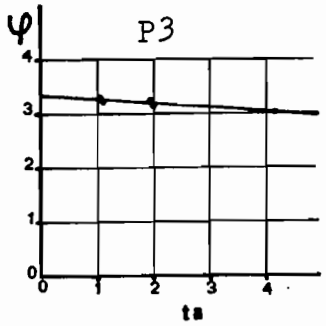
A la parcelle P5, correspond la capacité des ressuyage lent la plus faible (λ = 0,018). C'est la parcelle qui libère difficilement son stock hydrique. Il ne peut être dû qu'à la pellicule consolidée en surface qui limite entre autre l'évaporation.

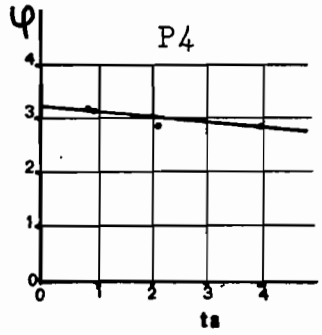
La capacité de ressuyage lent est plus rapide dans des sols à gravillons et graviers (P7 et P8), des sols nus à sables grossiers (P1) et encore plus rapide pour de sols à sables grossiers avec une pellicule en surface (P2).

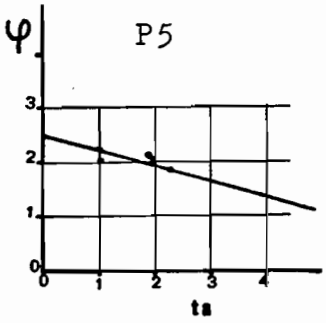
Figure 12 :détermination graphique de la capacité de ressuyage lent

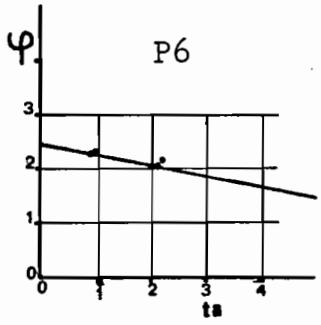


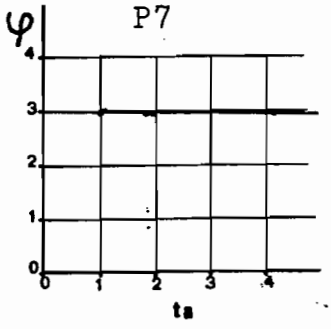


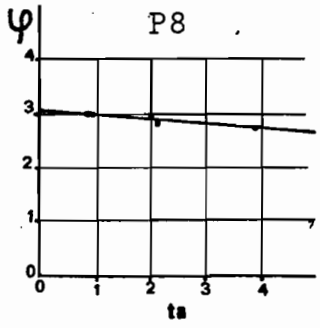












II.4.2. Le coefficient de ruissellement

Les variables qui traduisent l'aptitude des sols au ruissellement sont :

- le coefficient de ruissellement utile Kru :

$$Kru = (Lr + Dr) / Pu \times 100\% \qquad (29)$$

- le coefficient de ruissellement efficace Kre :

$$Kre = (Lr + Dr) / Pe \times 100\% \qquad (30)$$

avec

$$Pe, \text{ pluie efficace et } Pe = Pu - Pi \qquad (31)$$

où Lr = lame ruisselée
Dr = la détention superficielle récupérable après l'arrêt de la pluie

La représentation des variations de ces coefficients (figures 13 et 14) permet de remarquer :

- que pour toutes les parcelles, la variation est uniforme sauf pour les parcelles P3 et P5. Pour ces dernières l'augmentation de ces coefficients en fonction de IK est plus rapide pour des indices d'humectation faibles et à tendance à se stabiliser pour les indices forts.
- Les sols avec une pellicule en surface (P2 et P5) correspondent à des coefficients de ruissellement très importants.
- La végétation (P6) entraine une faible augmentation de ces coefficients en fonction de IK et maintient ces coefficients aux plus faibles valeurs.

L'examen de la figure 15 où est représentée la somme des lames ruisselées cumulées (ΣLri) en fonction de la somme des pluies utiles correspondante (ΣPui) montre qu'après la première pluie qui a sans doute provoqué des réorganisations superficielles pour toutes les parcelles (sauf peut être P2) on distingue :

- le comportement unique de la parcelle 2 qui est supérieur dans tous les cas,
- le comportement des parcelles P7 et P8 instable d'une pluie à une autre mais de même importance pour les deux parcelles,
- le comportement de la parcelle P5 qui est parallèle à celui de P2 mais en retard par rapport à celle-ci. Cela peut s'expliquer par la taille plus grande du réservoir de P5. Il fallait donc attendre la fin de la deuxième pluie pour avoir une lame ruisselée cumulée (32 + 43 mm) pour P5 égale à celle correspondante à la lame ruisselée de P2 (75 mm) pour sa première pluie,
- le comportement des parcelles P1, P3 et P4 qui est identique mais après la réception d'une pluie cumulée respectivement de 180 mm, 250 mm et 260 mm,
- enfin le comportement unique de la parcelle P6 qui répond au ruissellement d'une manière uniforme depuis la première pluie.

En conclusion, nous pouvons penser à deux effets qui interviennent dans l'aptitude des sols au ruissellement :

1. Les organisations pédologiques superficielles (O.P.S.)

La présence d'une pellicule consolidée par un chevelu racinaire fin important réparti d'une manière homogène sur toute la parcelle mais ne permettant pas plus qu'un recouvrement de 30 % de la surface du sol par sa

Figure 13 :relation, coefficient de ruissellement utile_indice d'humectation du sol.

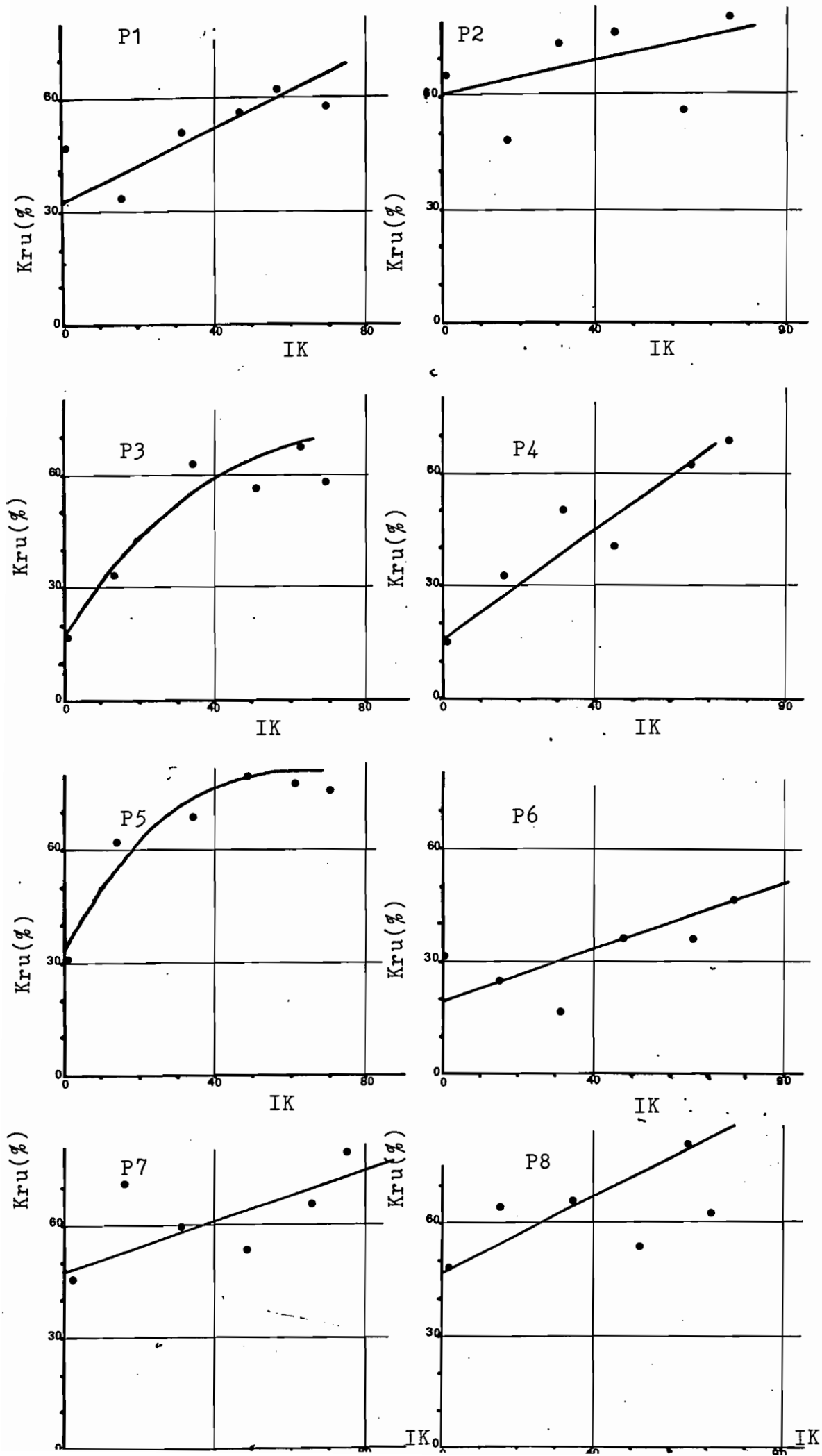


Figure 14 :relation, coefficient de ruissellement efficace_indice d'humectation du sol.

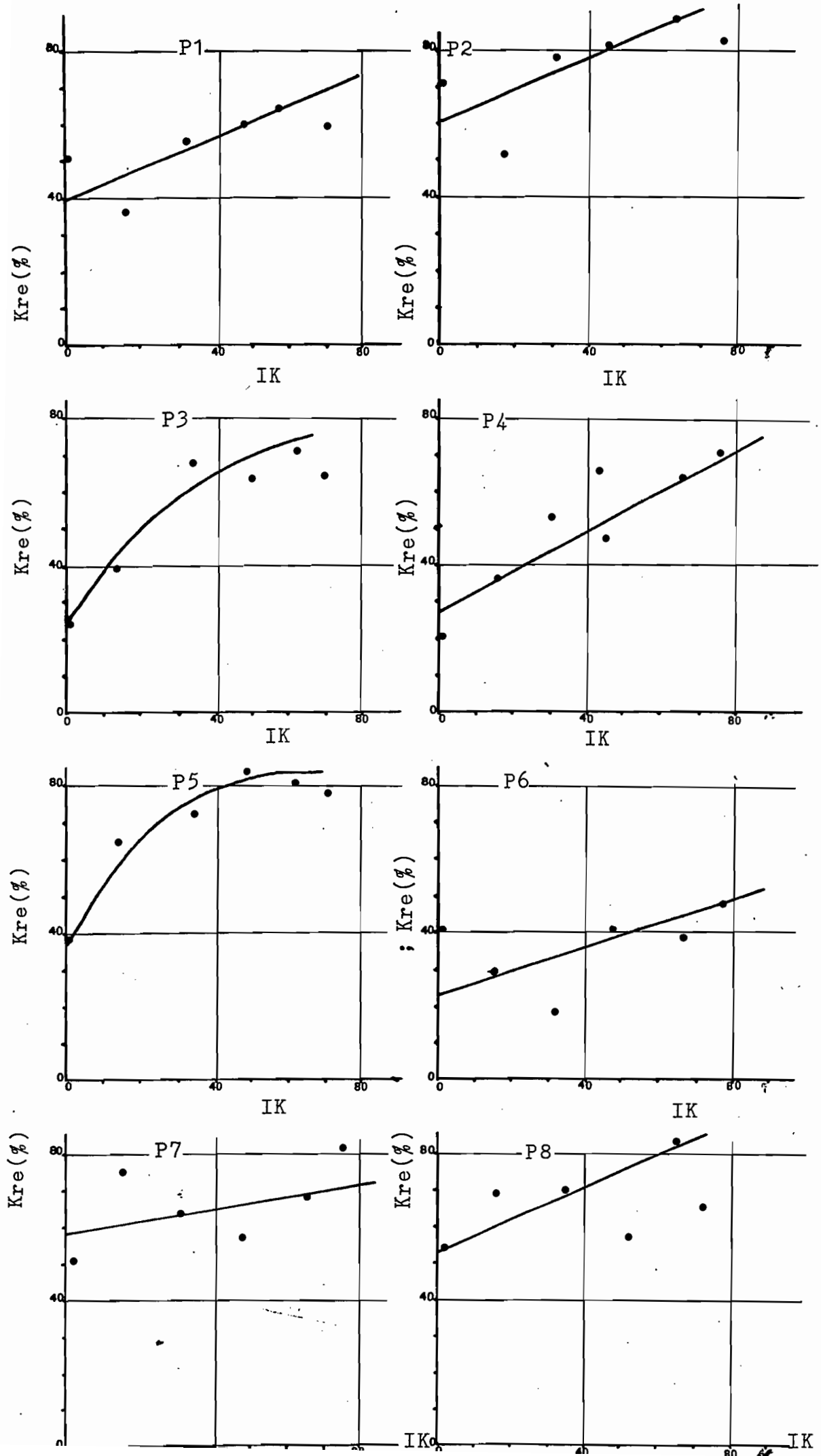
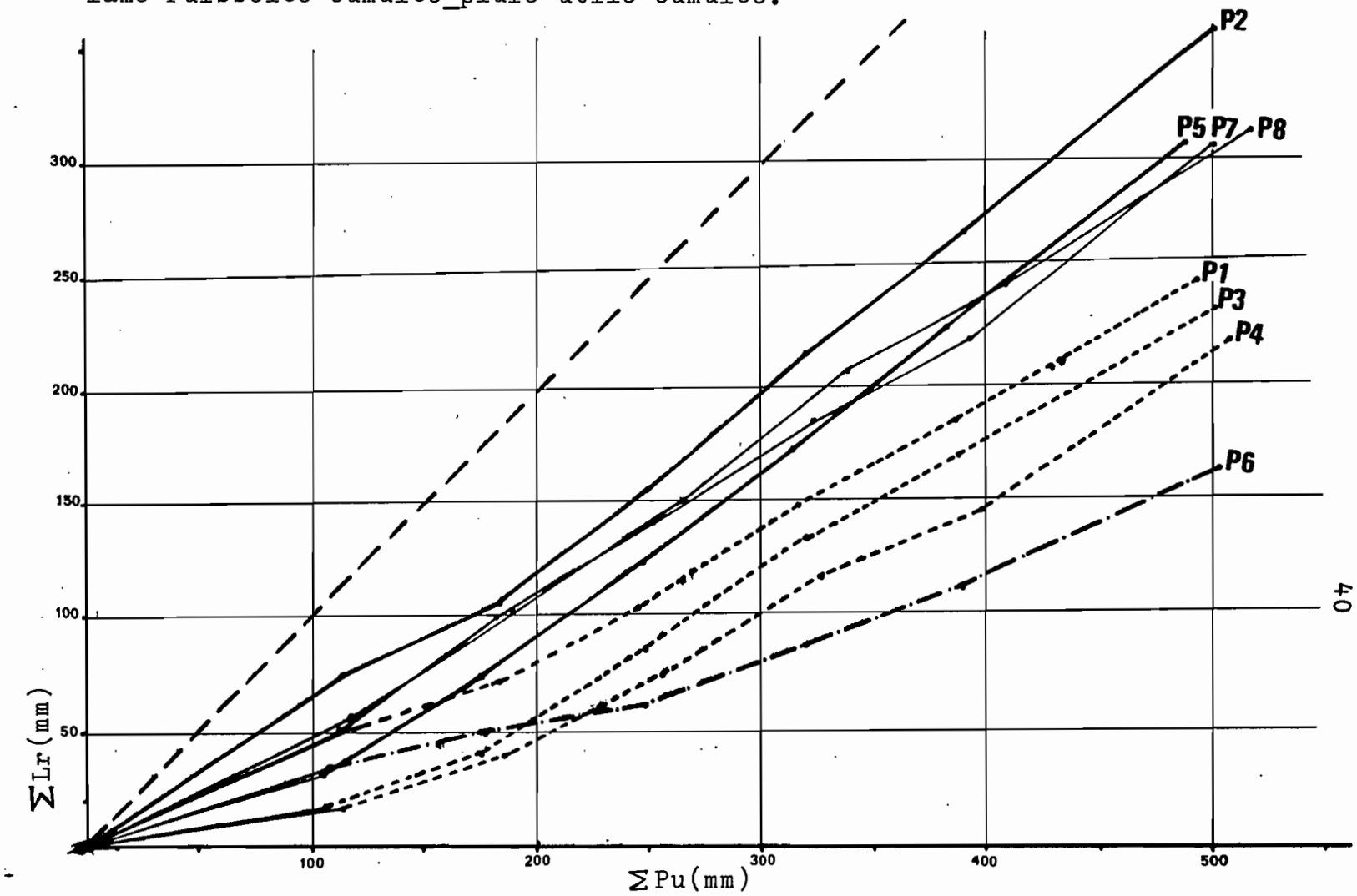


Figure 15 :aptitude des sols au ruissellement
lame ruisselée cumulée_pluie utile cumulée.



partie aérienne correspondante donne un ruisselement de 75 % (P5) à 80 % (P2). Mais cela demande un remplissage minimum qui varie avec la capacité du réservoir sol, le deuxième facteur agissant sur le ruissellement.

2. Le réservoir sol

On observe sur la figure 16 qu'à partir d'une certaine valeur de la pluie utile cumulée, les courbes lame ruisselée, pluie utile cumulée deviennent parallèles.

Les coefficients de ruissellement ne varient plus sur la parcelle P7 pour une pluie utile supérieure à 60 mm et pour les parcelles P5, P6 et P8 pour des valeurs de pluies utiles de l'ordre de 30 mm (figure 16).

De même dans la figure 15 les courbes somme des lames ruisselées/somme des pluies utiles deviennent parallèles par groupes de parcelles et présentent une variation uniforme à partir de certaines limites.

Dans le cas des parcelles P1, P3 et P4, ces valeurs limites de ΣPu sont respectivement de 180, 250 et 260 mm. Pour celui des parcelles P7 et P8 elles sont de 120 mm et pour la parcelle P6 la courbe devient uniforme à partir de 250 mm.

Pour expliquer ce phénomène, nous nous sommes intéressés à l'évolution des profils hydriques (humidité volumique en fonction de la profondeur) avant l'obtention de ces valeurs seuils.

En effet les sols se saturent pendant l'averse et se vidangent entre deux averses successives. Donc ce qui peut caractériser l'état hydrique d'un sol, avant chaque averse, est le profil hydrique correspondant à cet état et non pas la pluie utile cumulée de l'ensemble des averses simulées jusqu'au moment de l'obtention de ces valeurs seuils.

Les profils correspondant aux valeurs seuils sont rassemblés dans le tableau n°5 et représentés sur la figure n°6 du paragraphe II.2.1.4.

Pour mieux caractériser ces profils on s'est intéressé à la distribution de la quantité d'eau qu'ils représentent en fonction de la profondeur et les résultats sont dans le tableau n°6. Le mode de calcul en est explicité au chapitre II.6.

Tableau 5 : Profils caractéristiques minimum pour l'obtention d'un ruissellement uniforme

Parcelle	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
N° du profil caractéristique	4	4	4	2	2	3	2	2

Figure 16 :corrélation entre la lame ruisselée cumulée en fonction de la pluie utile cumulée au pas de temps de 5 mn.

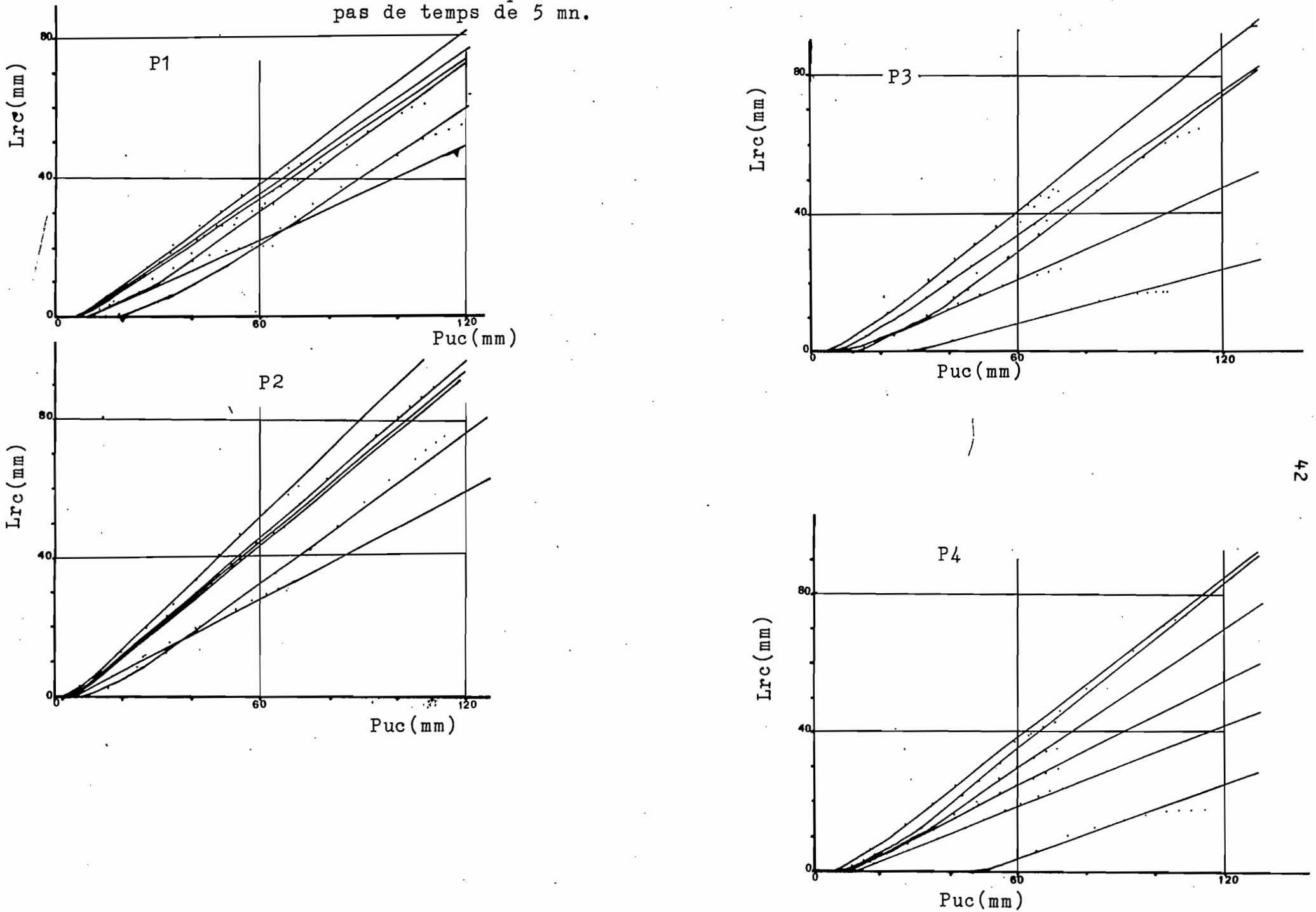
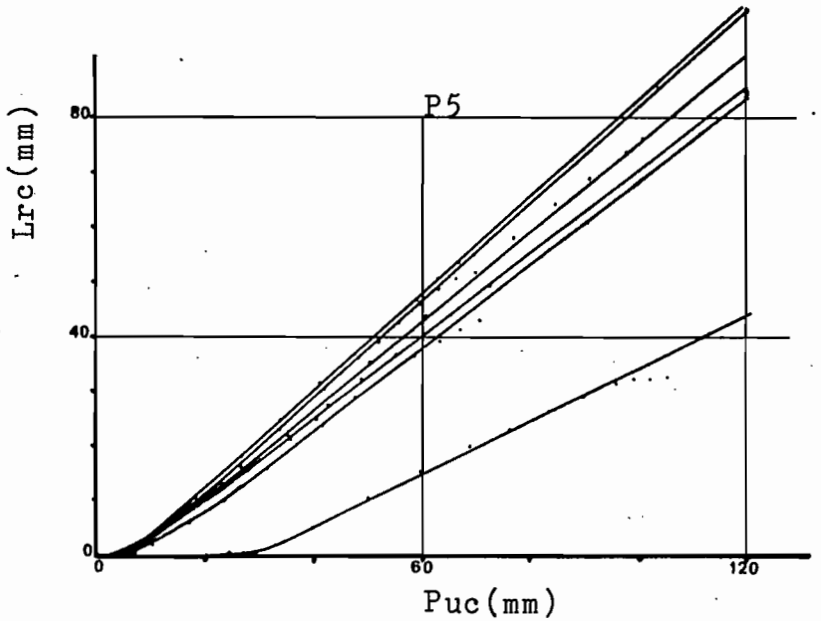
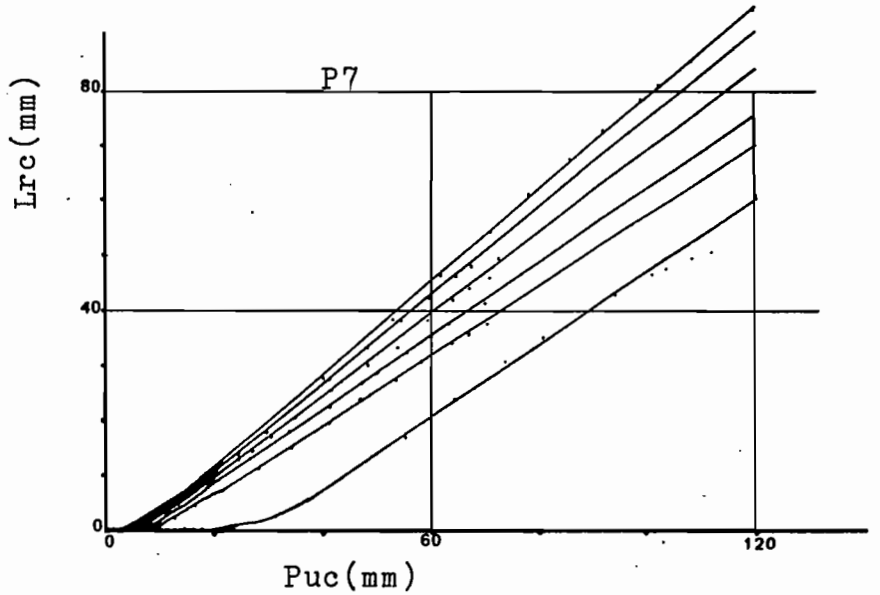
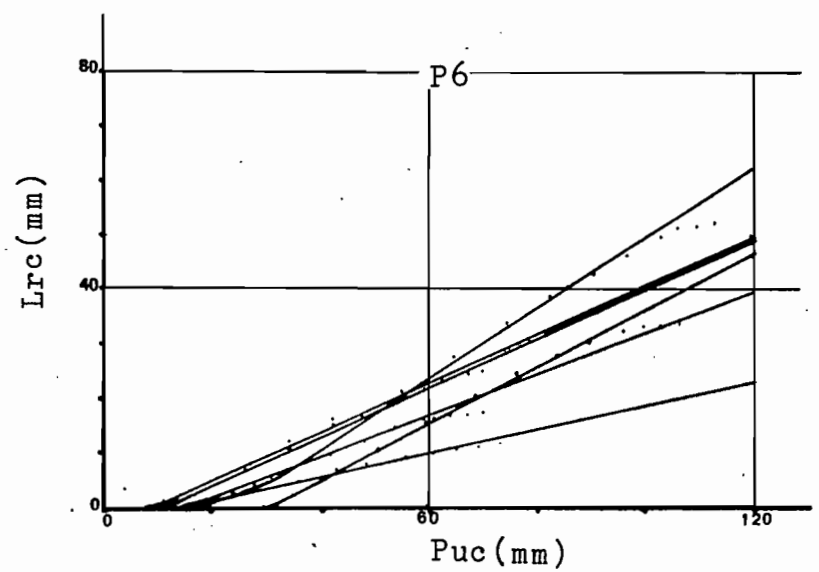


Figure 16 :suite







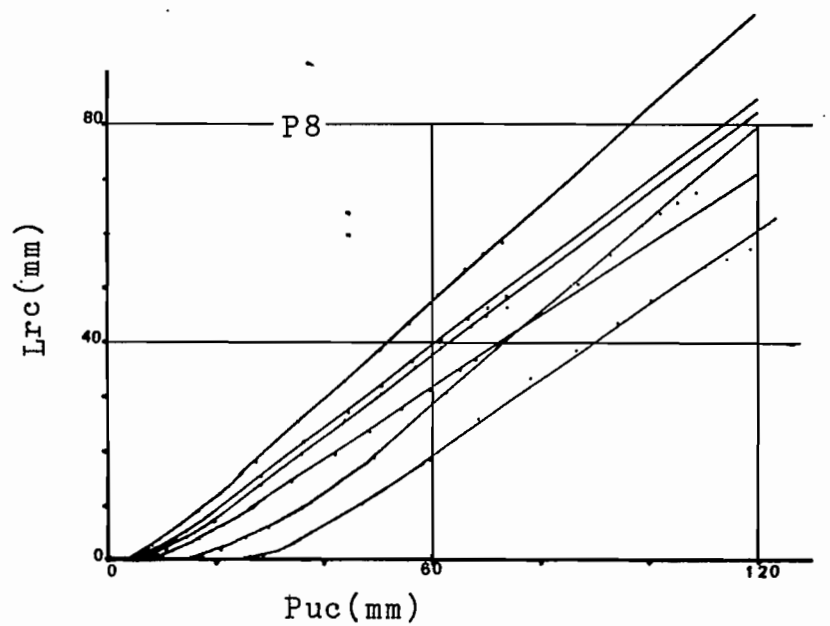


Tableau 6 : Distribution des stocks hydriques dans le sol des profils caractéristiques

Tranches de profondeur en cm / Parcelles	0-5	0-20	0-40	0-80
P1	5,9mm	19,2mm	35,0mm	72,0mm
P2	8,1	23,0	36,4	55,6
P3	5,8	20,4	38,4	75,2
P4	4,3	13,8	23,8	68,8
P5	10,8	33,0	56,4	84,8
P6	14,8	52,6	83,0	153,2
P7	3,7	19,0		
P8	5,6	20,6	41,6	

II.4.3. Etude des intensités maximales et limites de ruissellement.

Pour une intensité donnée, une fois que le régime est permanent, on atteint une valeur maximale du ruissellement Rx. Symétriquement une intensité minimale d'infiltration Fn est atteinte au même temps. Ces deux paramètres sont liés par la relation :

$$Rx = I - Fn \qquad (32)$$

si I est l'intensité de la pluie correspondante.

A toute conclusion relative à Rx correspond une conclusion symétrique pour Fn et nous porterons donc notre attention sur la seule variable Rx. Cette dernière dépend de plusieurs facteurs :

- l'intensité de la pluie
- l'état d'humectation du sol,
- la nature du sol et de son état de surface.

II.4.3.1. Relation intensité maximale de ruissellement (Rx) - intensité (I) de la pluie - Indice d'humectation du sol (IK)

A. CASENAVE en 1981 a étudié graphiquement les correlations entre ces trois paramètres et donne les équations des liaisons entre eux. Nous adoptons la même démarche :

- tracé du faisceau de courbes Rx(I) pour différentes valeurs de IK. Il s'agit d'un faisceau de courbes de pente inférieur à 1 (valeur qui correspond à un sol imperméable). L'ensemble des couples (Rx, I) relatifs à une parcelle est limité par deux courbes enveloppes supérieure et inférieure définissant respectivement des intensités limites IL1 et IL2 (figure 17).

Figure 17 : Corelation, intensité maximale de ruissellement intensité de la pluie pour differents états d'humectation du sol par parcelle.

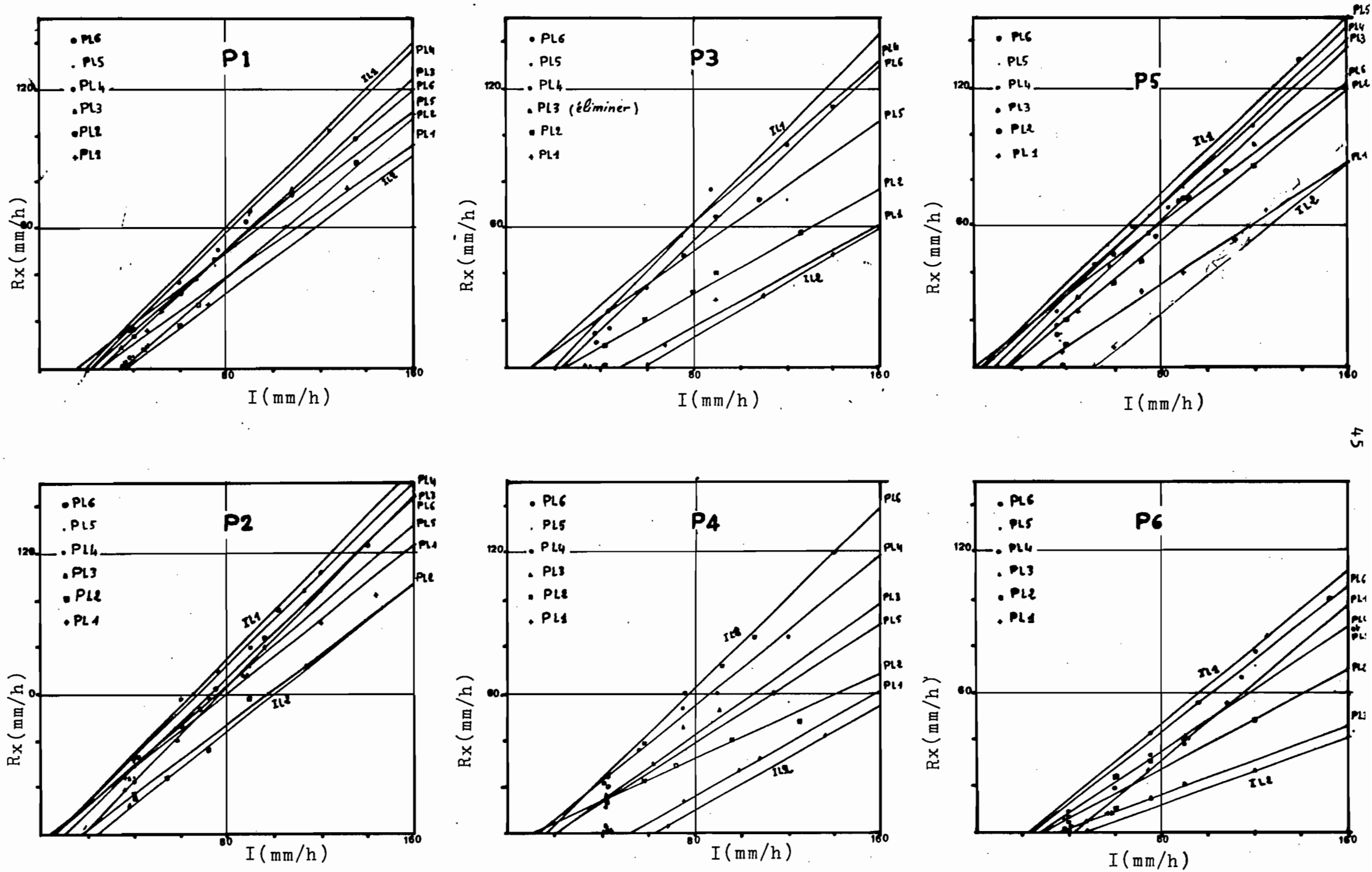
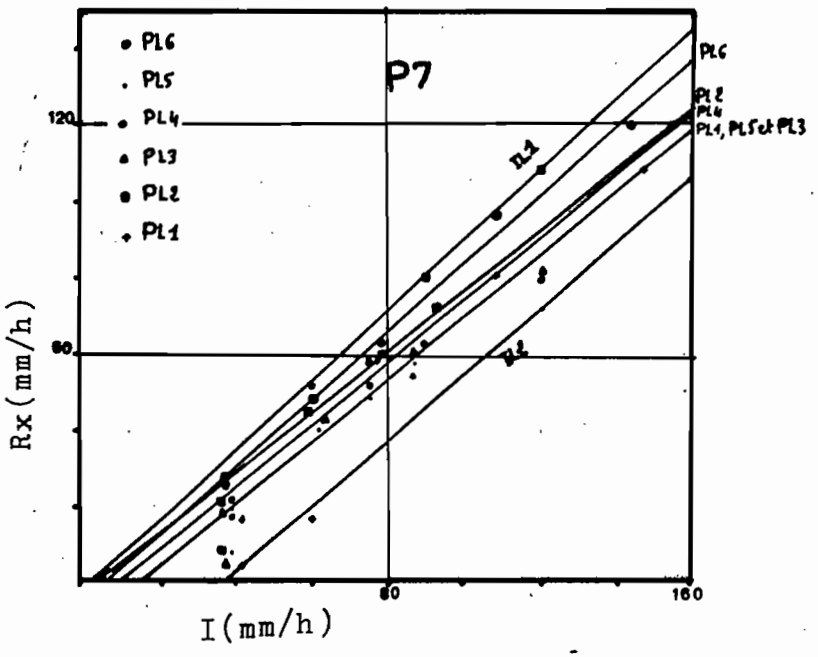
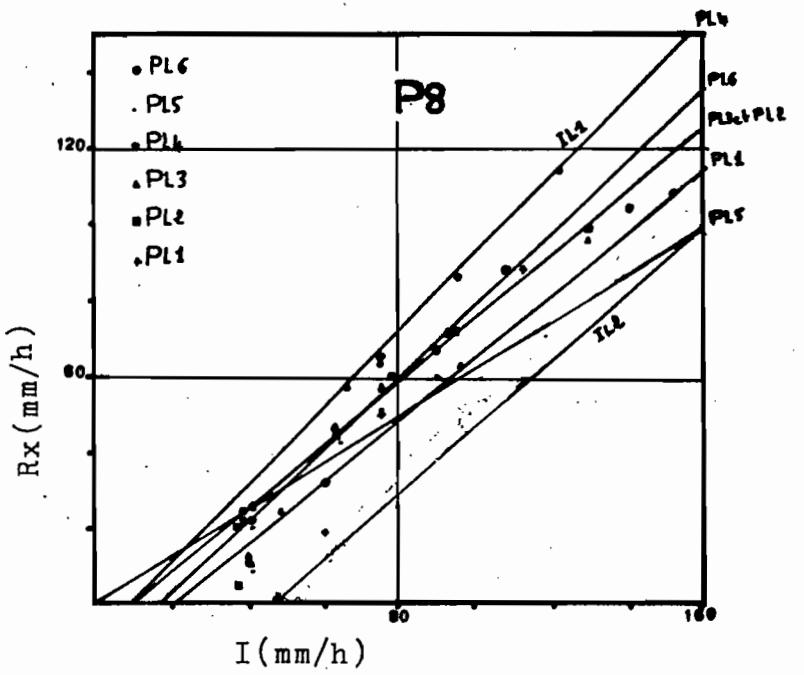


Figure 17 :suite





La courbe enveloppe supérieure IL1 est l'intensité limite au-dessus de laquelle la parcelle ne ruissellera jamais. La courbe enveloppe inférieure IL2 est l'intensité limite au-dessus de laquelle la parcelle ruisselle toujours. IL1 et IL2 correspondent aux valeurs des intersections de ces droites avec l'axe des I.

A partir des courbes Rx(I), on dépouille les Rx tous les 20 mm/h en fonction de I et on reporte sur un graphique les valeurs (Rx, IK) pour chaque valeur de I (figure 18). Nous obtenons ainsi des faisceaux de droites ou de segments de droites de pentes α et d'ordonnées à l'origine β si :

$$Rx = \alpha\ IK + \beta \qquad (33)$$

Les coefficients α et β varient à leur tour en fonction de I (Figure 19) suivant des relations types :

$$\alpha = a\ I + b \qquad (34)$$
$$\beta = c\ I + d \qquad (35)$$

(34) et (35) dans (33) donnent :

$$Rx = (a\ I + b)\ IK + (c\ I + d) \qquad (36)$$

d'où

$$Rx = a\ I\ IK + b\ IK + c\ I + d \qquad (37)$$

Le tableau 7 donne les équations Rx (I, IK), IL1, IL2 pour les différentes parcelles.

II.4.3.2. Relation lame ruisselée (Lr) - Pluie utile (Pu) - Indice d'humectation (IK)

La même démarche que pour les Rx, I et IK est appliquée à Lr, Pu et IK. Les résultats des courbes Lr=f (IK, Pu) faites pour des Pu de 10 en 10 mm sont sur la figure 20. La figure 21 donne les courbes relatives aux constantes α' et β' en fonction de Pu ainsi que les constantes a', b', c' et d' de la relation suivante du ruissellement sur parcelle :

$$Lr = \alpha'\ IK + \beta' \qquad (38)$$
$$\alpha' = a'\ Pu + b' \qquad (39)$$
$$\beta' = c'\ Pu + d' \qquad (40)$$
$$Lr = (a'\ Pu + b')\ IK + c'\ Pu + d' \qquad (41)$$

soit :

$$Lr = a'\ Pu\ IK + b'\ IK + c'\ Pu + d' \qquad (42)$$

Le tableau 8 donne les fonctions de production.

I.4.4. La phase de vidange

1. Dans une première approche, LAFFORGUE (1977) note que la détention superficielle récupérable (Dr) est proportionnelle à l'intensité maximale de ruissellement Rx à la fin de la pluie.

Figure 18 :corrélation, intensité maximale de ruisselle ment_indice d'humectation_intensité de la pluie par parcelle.

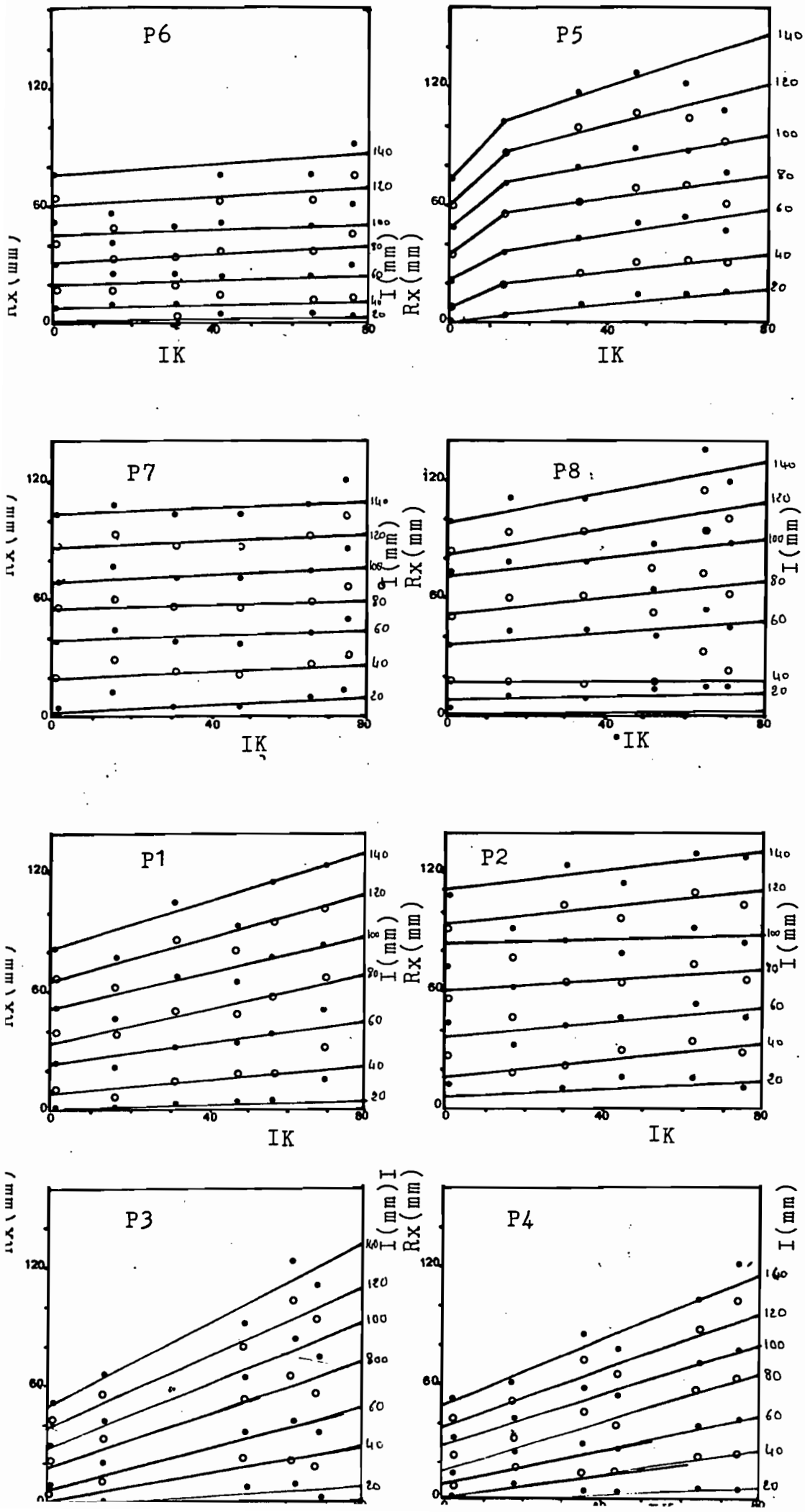


Figure 19 :graphiques de détermination des variables a, b, c et d en fonction de l'intensité de la pluie

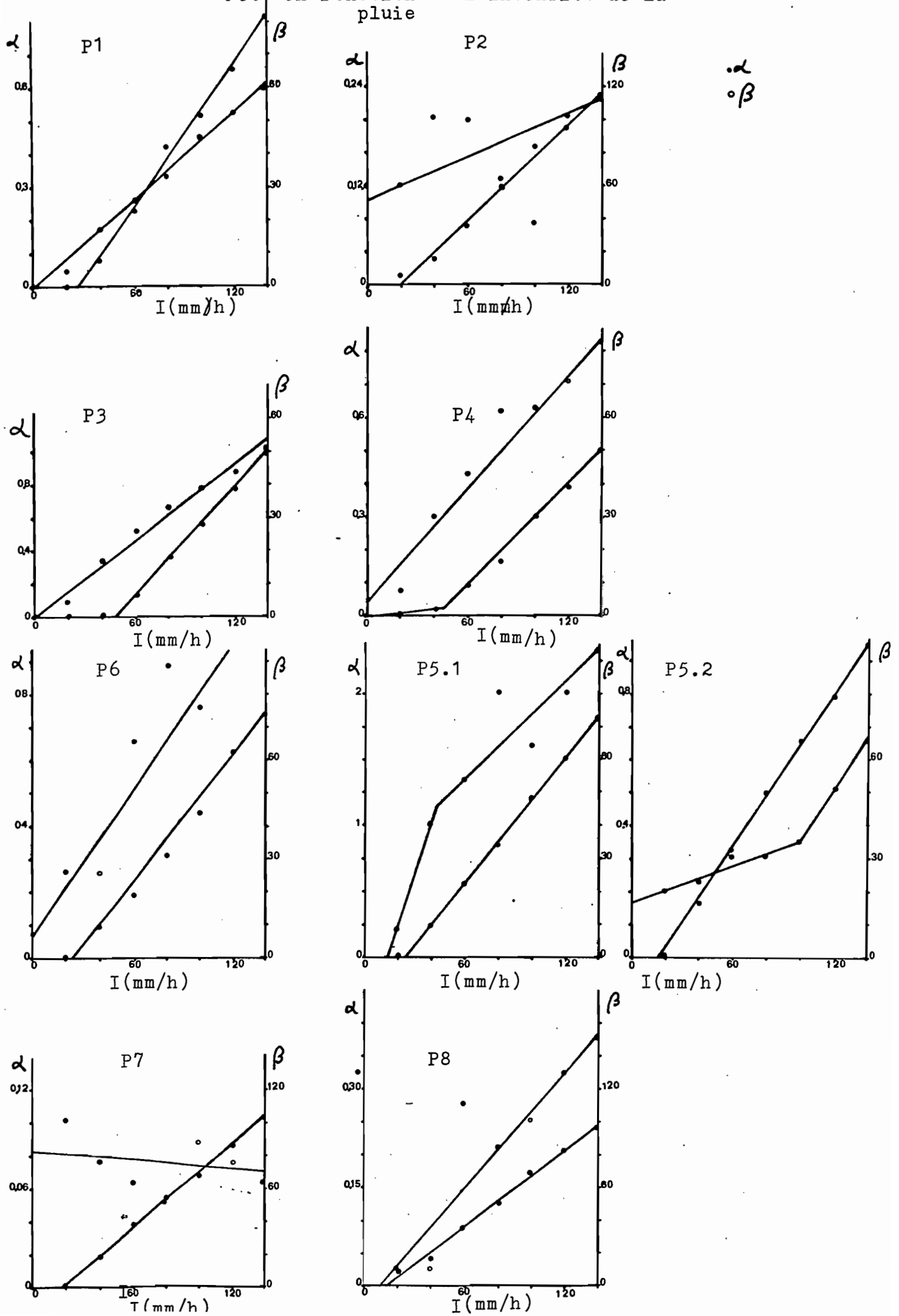


Tableau 7: Relation entre intensité maximale de ruissellement, intensité de la pluie, indice d'humectation pour les 8 parcelles.

Parcelle	Site	Nature de la parcelle	IL1 (mm/h)	IL2 (mm/h)	Domaine de validité	Equation de l'intensité maximale de ruissellement en fonction de I et de IK
P1	1	Sur sables grossiers Bas de pente SOl nu(précédant mil)	20	38	∀ IK	Rx=0.0044 I IK + 0.75 I - 19
P2	1	Sur sables grossiers Jachère inf. à 2 ans Bas de pente	6	24	∀ IK	Rx=0.00107 I IK + 0.10 IK + I - 18
P3	2	Sur sables grossiers Sous clairière Haut de pente	10	60	∀ IK	Rx=0.0075 I IK + 0.56 I - 25
P4	2	Sur sables grossiers Sous savane Haut de pente	16	62	∀ IK	Rx=0.0058 I IK + 0.04 IK + 0.5 I - 21
P5	3	Bas fonds Pseudo-jachère	4	52	IK<15, I<100 IK<15, I>100 IK>15, I<40 IK>15, I>40	Rx=0.045 I IK + 0.15 IK + 0.75 I - 12 Rx=0.008 I IK - 0.46 IK + 0.75 I - 12 Rx=0.0406 I IK - 0.5 IK + 0.75 I - 17 Rx=0.0125 I IK + 0.6 IK + 0.75 I - 17
P6	3	Bas-fonds Précédante culture riz	22	48	∀ IK	Rx=0.00084 I IK + 0.007 IK + 0.6 I - 15
P7	4	Versant de raccord Sur gravillons Sous savane	3	38	∀ IK	Rx=-0;000071 I IK + 0.082 IK + 0.857 I - 16
P8	4	Versant de raccord Sur gravillons Précédant mil	9	48	∀ IK	Rx=0.0006 I IK - 0.026 IK + 0.80 I - 10

∀ = quelque soit.

Figure 20 :correlation,graphique, lame ruisselée_pluie utile indice d'humectation(par parcelle).

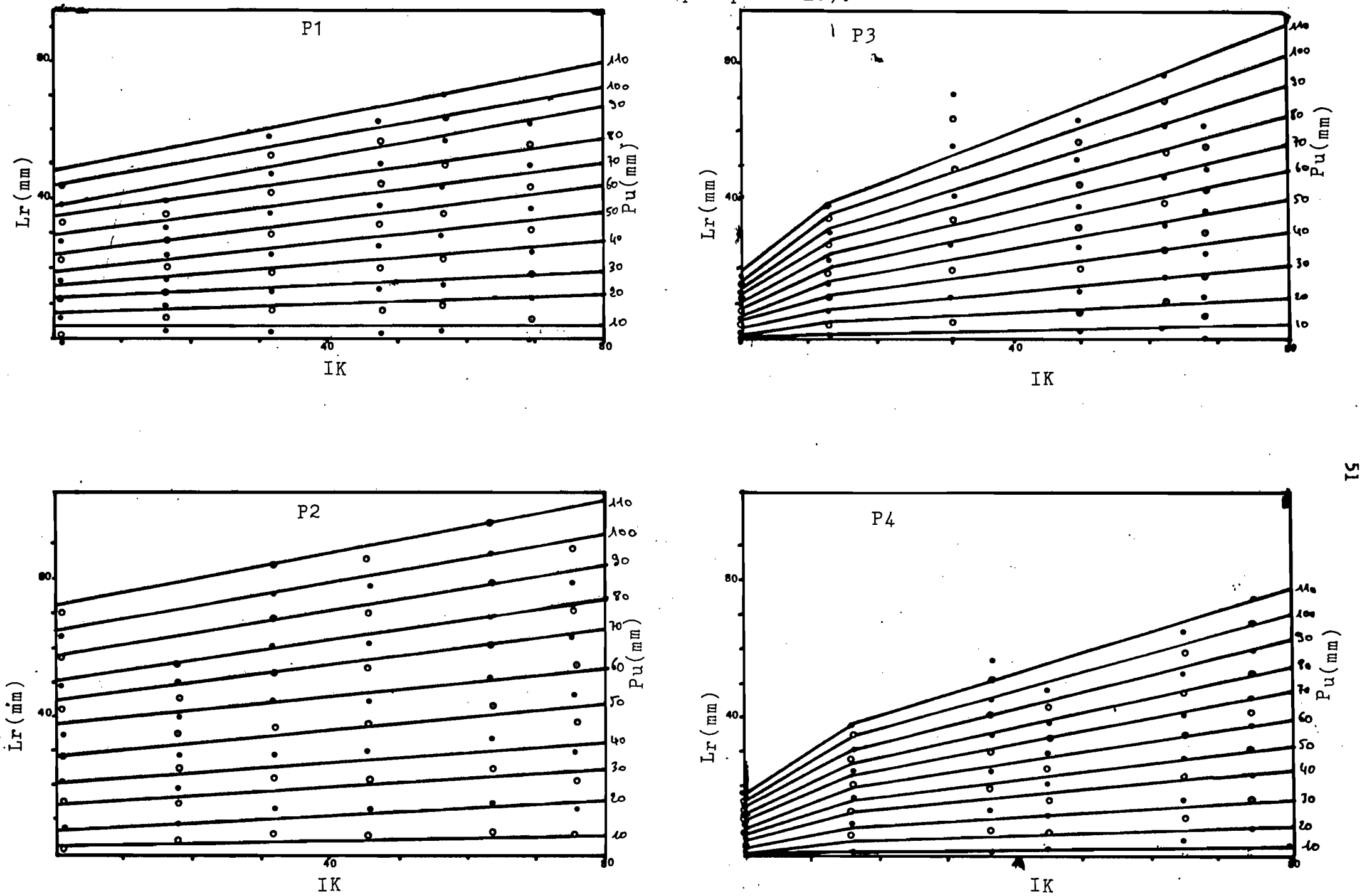
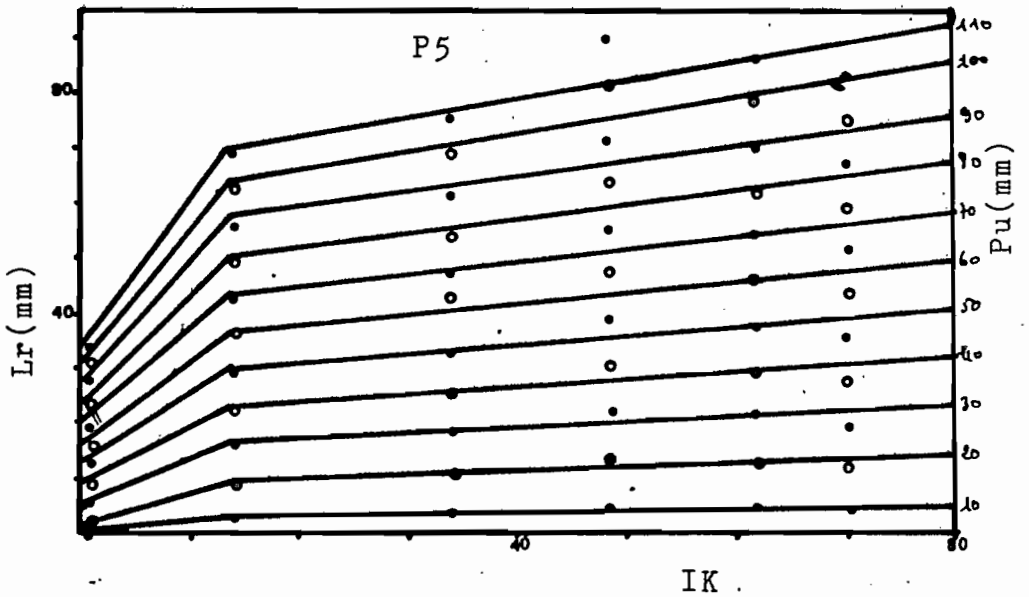
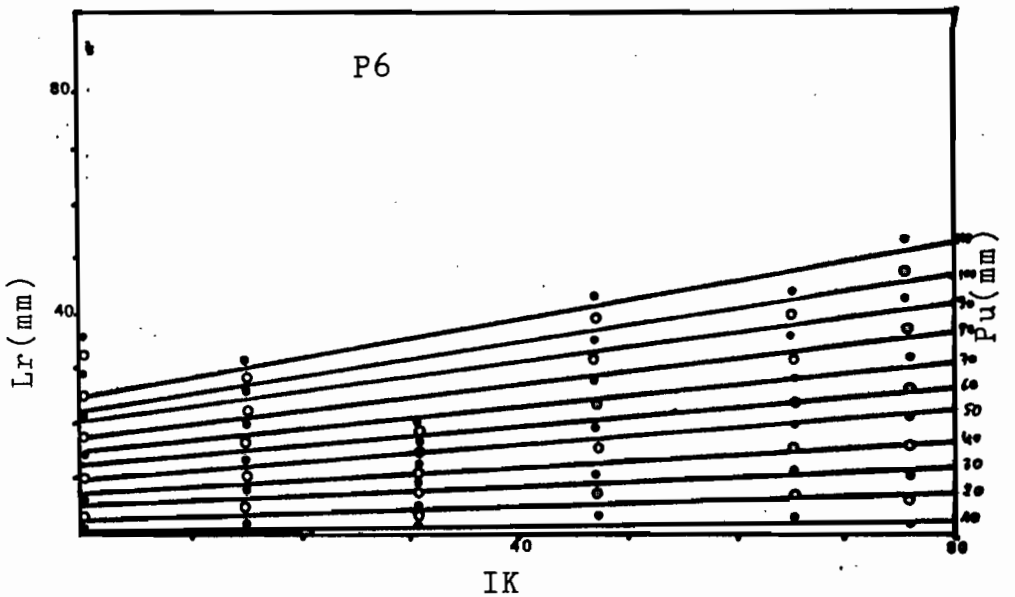
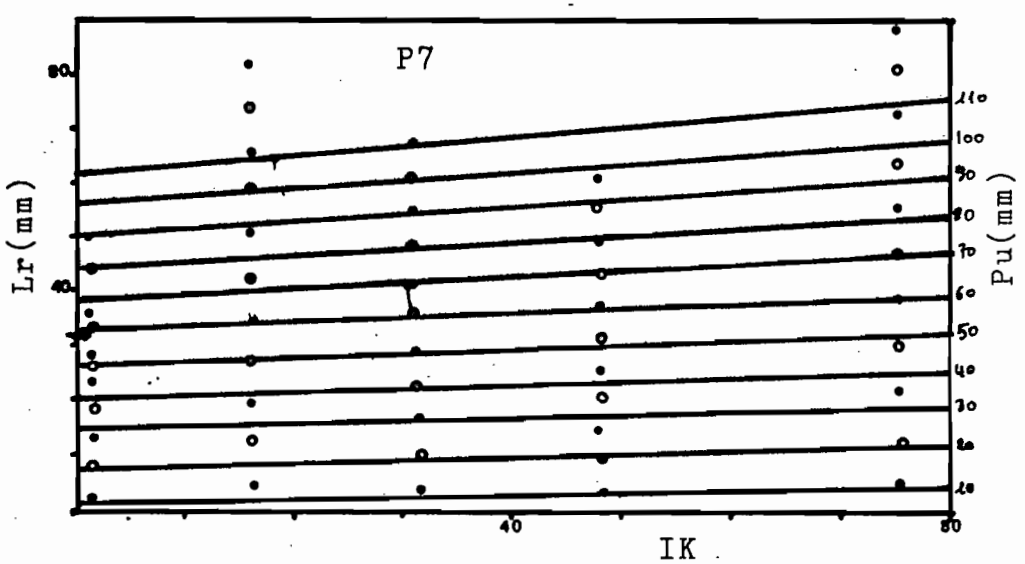


Figure 20 :suite







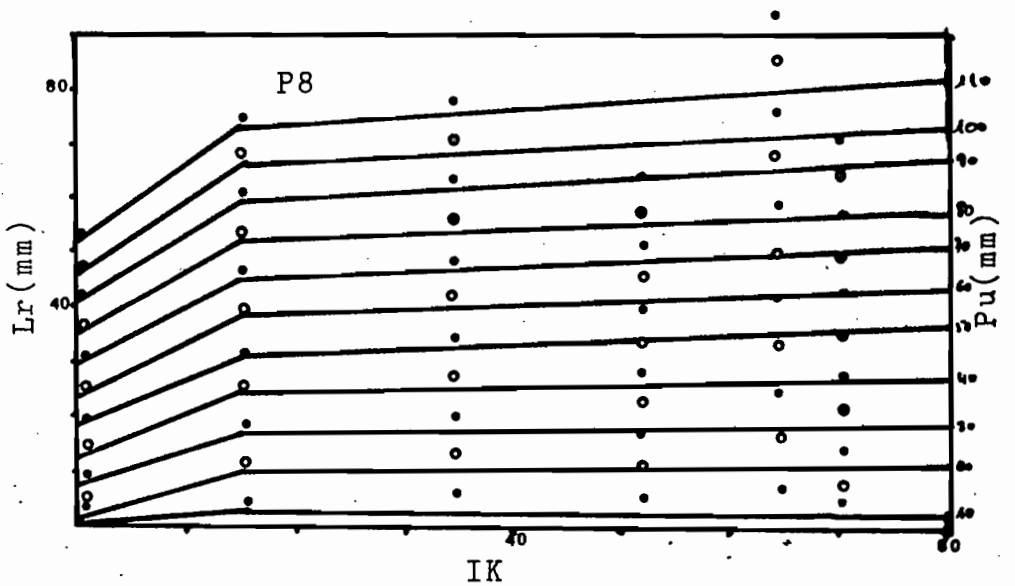


Figure 21 :graphiques de détermination des coefficients, α', β', α'et β' en fonction de la pluie utile.

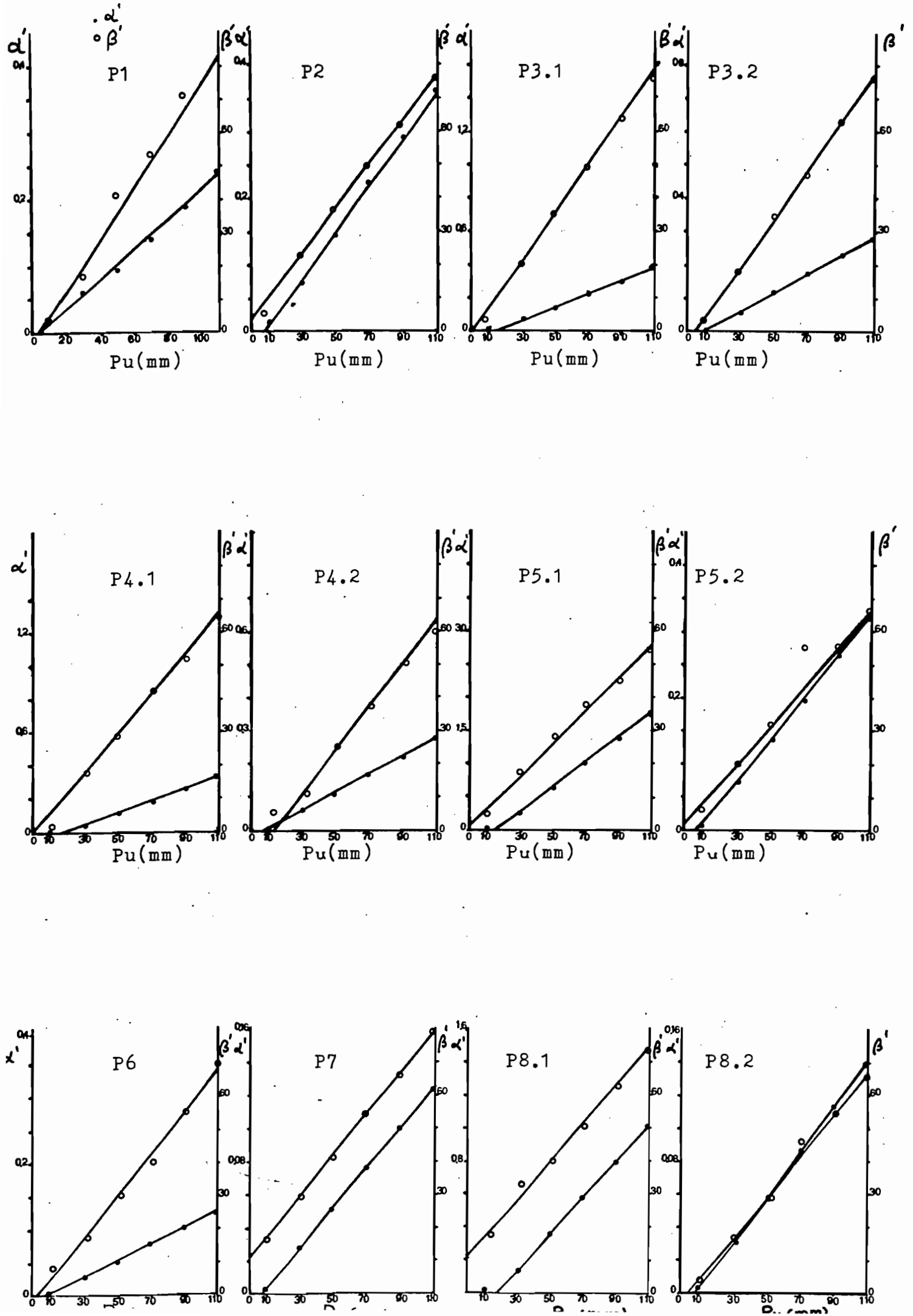


Tableau 8:Relation lame ruisselée, pluie utile, indice d'humectation IK pour les 8 parcelles.

Parcelle	Site	Nature de la parcelle	Domaine de validité	Equation de la lame ruisselée en fonction de IK et Pu(ou fonction de production)
P1	1	Sur sables grossiers Bas de pente Sol nu(précédant mil)	$\forall$ IK , $\forall$ Pu	Lr=0.004 Pu IK - 0.015 IK + 0.444 Pu - 1.5
P2	1	Sur sables grossiers Bas de pente Jachère inf. à 2 ans	$\forall$ IK , $\forall$ Pu	Lr=0.0034 Pu IK + 0.02 IK + 0.67 Pu - 5
P3	2	Sur sables grossiers Sous clairière Haut de pente	IK$\leq$13 , $\forall$ Pu IK>13 , $\forall$ Pu	Lr1=0.015 Pu IK + 0.2 Pu - 3 Lr2=0.0075 Pu IK - 0.03 IK + 0.285 Pu - 2
P4	2	Sur sables grossiers Sous savane Haut de pente	IK$\leq$16 , $\forall$ Pu IK>16 , $\forall$ Pu	Lr1=0.0125 Pu IK + 0.187 Pu - 3 Lr2=0.0067 Pu IK - 0.09 IK + 0.085 Pu - 2
P5	3	Bas-fonds Pseudo-jachère	IK$\leq$13 , $\forall$ Pu IK>13 , $\forall$ Pu	Lr1=0.025 Pu IK + 0.05 IK + 0.375 Pu - 5.5 Lr2=0.003 Pu IK + 0.01 IK + 0.624 Pu - 4
P6	3	Précédante culture riz Bas-fonds	$\forall$ IK , $\forall$ Pu	Lr=0.0032 Pu IK - 0.01 IK + 0.25 Pu - 2
P7	4	Versant de raccord Sur gravillons Sous savane	$\forall$ IK , $\forall$ Pu	Lr=0.00125 Pu IK + 0.022 IK + 0.625 Pu - 4
P8	4	Versant de raccord Sur gravillons Précédant mil	IK$\leq$15 , $\forall$Pu IK>15 , $\forall$Pu	Lr1=0.0114 Pu IK + 0.22 IK + 0.562 Pu - 10 Lr2=0.0012 Pu IK - 0.004 IK + 0.70 Pu - 6

$\forall$: quelque soit.

On l'exprime ainsi :

$$Dr = Td.Rx \quad (43)$$

où Td est appelé temps de détention de la parcelle. Pour nos parcelles les résultats sont dans le tableau 9 et les graphiques correspondants dans la figure 22.

Il est à noter que la végétation augmente la durée de la rétention superficielle (parcelle nue P1 de 0.0064 à parcelle couverte P2 de 0,02) mais celle-ci dépend plus de la morphologie de la parcelle. Les dépressions dans la parcelle P6 (Td : 0,0154) ont un diamètre de 10 cm pour une profondeur de 5 cm alors que pour P5 (Td : 0,0256) ces dépressions sont d'une profondeur beaucoup plus faible. Les parcelles P3 (Td : 0,0241), P4 (Td : 0,0228) présentent des dépressions semblables à celles de P5 (Td : 0,0252). Les dépressions favorisent l'infiltration d'où des faibles temps de détention Td. Les valeurs Td : 0,0108 pour P7 et Td: 0,0126 pour P8 sont légèrement différentes. Cette différence résulte du pourcentage élevé de gravillons sur P8 malgré une pente plus forte que celle de P7.

Plus les obstacles au ruissellement sont élevés (dépressions, % de gravillons, végétation) et plus l'infiltration est privilégiée sur le ruisselement ce qui diminue non seulement Td mais aussi Dr (effet de "rugosité apparente").

2. En deuxième approche, la loi de vidange est donnée par LAFFORGUE, 1977. Si x est la distance d'une section de droite de la parcelle supposée plane à la bordure amont prise comme origine, le débit q par unité de largeur sera :

$$q = x \; Rx \quad (44)$$

Si h = épaisseur de la lame d'eau
v = vitesse moyenne dans la section

$$q(x) = h(x).v(x) \quad (45)$$

En supposant que les lois d'écoulement des canaux découverts s'appliquent au ruissellement :

$$v = C \sqrt{(R\ i)} \quad (46)$$

$$c = (1/n)^{1/6} \quad (47)$$

où i = pente de la surface libre
C = coefficient de CHEZY
R = rayon hydraulique

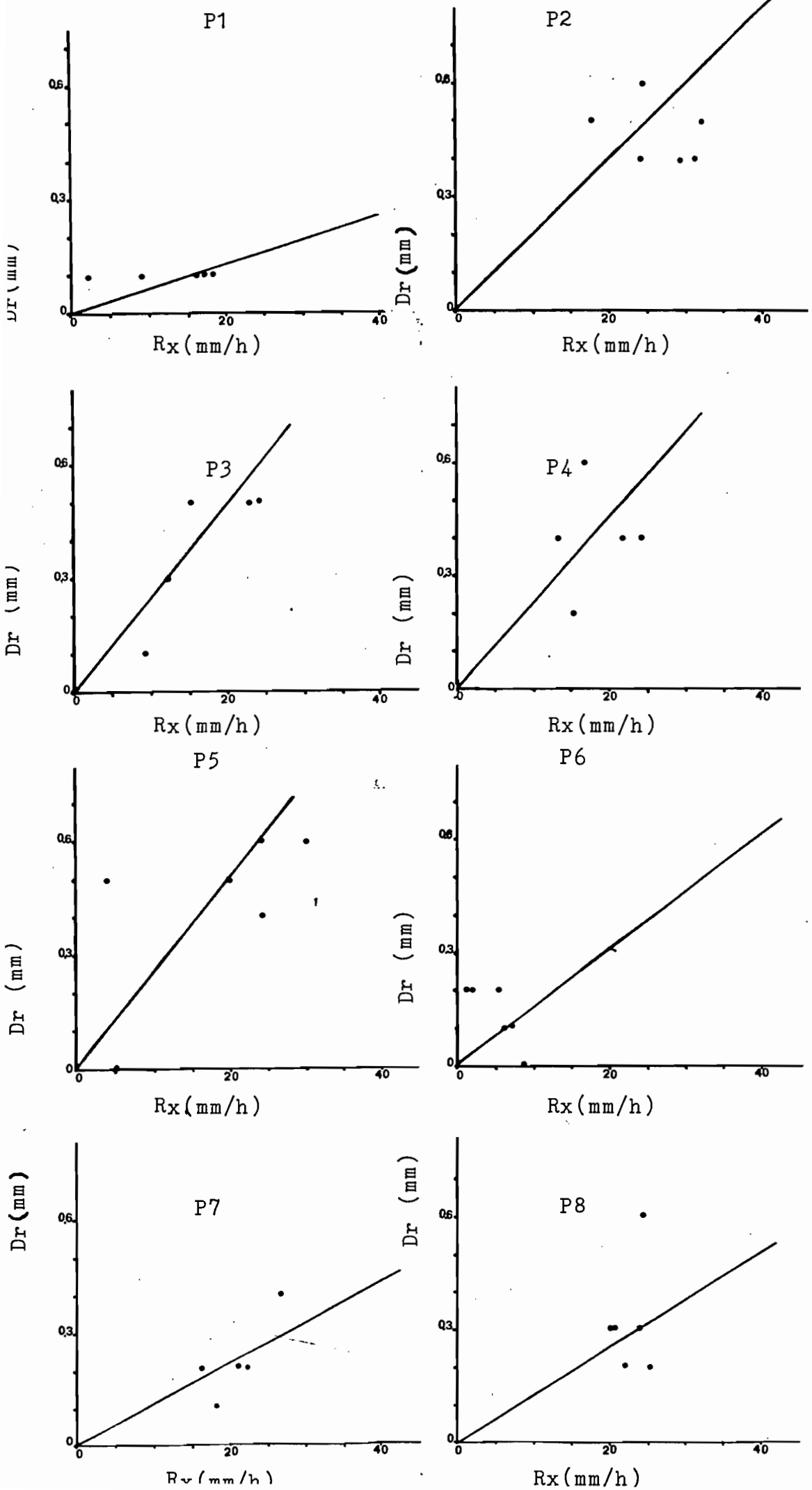
(46), (47) et (44) dans (45) donnent :

$$h(x) = i^{-0,3} \cdot n^{0,6} \cdot Rx^{0,6} \cdot x^{0,6} \quad (48)$$

Tableau 9:Le temps de detention des parcellles(Td).

Pacelle	Type de parcelle	Pente %	Td (en heure)
P1	Sur sables grossiers Bas de pente Sol nu(précédant mil)	3	0.0064
P2	Sur sables grossiers Bas de pente Jachère inf. à 2 ans	3	0.0200
P3	Sur sables grossiers Sous clairière Haut de pente	3	0.0248
P4	Sur sables grossiers Sous savane Haut de pente	5	0.0228
P5	Bas-fonds Pseudo-jachère	5.5	0.0252
P6	Bas-fonds Précédante culture riz	8	0.0154
P7	Versant de raccord Sur gravillons Sous savane	3	0.0108
P8	Versant de raccord Sur gravillons Précédant mil	5	0.0126

Figure 22 :corrélation, ladétention récupérable_
intensité maximale de ruissellement



La moyenne de la détention mobilisable serait si L est la longueur de la parcelle :

$$Dm = (1/L) \int_0^L h(x)\, dx \qquad (49)$$

et donc

$$Dm = 0{,}625\ i^{-0{,}3} \cdot n^{0{,}6} \cdot L^{0{,}6} \cdot Rx^{0{,}6} \qquad (50)$$

d'où

$$Dm = A\ Rx^{m} \qquad (51)$$

A dépend des caractéristiques de la parcelle.

N.B. : Ceci n'est valable que pour une parcelle plane imperméable.

Donc pour un instant quelconque de la vidange, (51) devient :

$$Dm(\tau) = A\ R^{m}(\tau) \qquad (52)$$

En dérivant :

$$dDm/dt = m \cdot A \cdot R^{m-1} \cdot (dR/dt) \qquad (53)$$

Si m = 0,5 (cas général), l'équation de continuité devient :

$$R + (A/2\sqrt{R})\ dR/dt = -\ Fn \qquad (54)$$

avec le changement de variable :

$$u = \sqrt{R} \qquad (55)$$

en intégrant entre 0 et τ, et si R = 0 à la fin de la vidange :

$$\tau f = A/\sqrt{Fn}\ \mathrm{arctg}\ \sqrt{(Rx/Fn)} \qquad (56)$$

Si Wf est l'infiltration cumulée :

$$Wf = Fn \cdot \tau f = A\ \sqrt{Fn}\ \mathrm{arctg}\ \sqrt{(Rx/Fn)} \qquad (57)$$

D'où

$$Dr = Dm - Wf = A\ [\sqrt{Rx} - \sqrt{Fn}\ \mathrm{arctg}\ \sqrt{(Rx/Fn)}] \qquad (58)$$

Si on désigne par $\omega(\tau)$ la proportion de la surface offerte à l'infiltration dans une parcelle naturelle, l'équation (54) devient :

$$R(\tau) + (A\ /\ 2\sqrt{R(\tau)}).dR/d\tau + Fn.\omega(\tau) = 0 \qquad (59)$$

et l'équation (58) devient :

$$Dr = A\ [\sqrt{Rx} - \sqrt{(\varpi.Fn)}\ .\ \mathrm{arctg}\ \sqrt{(Rx/\varpi.Fn)}] \qquad (60)$$

où ϖ est la moyenne de la surface offerte à l'infiltration.

Pour déterminer A et $\overline{\omega}$, la représentation graphique de A = f(Fn) (Figure 23) pour $\omega = 0$ et $\omega = 1$ nous donne A pour l'intersection de $A\omega 0$ et $A\omega 1$ et pour ω, elle se fait par tatonnement pour différentes valeurs de ω en vérifiant (60).

Nous n'avons pas calculé la valeur de $\overline{\omega}$ car le nombre de mesures ne dépasse pas 6 pour chaque parcelle et elles sont concentrées sur un seul niveau comme le montre la figure 23.

Le calcul de A est imprécis à cause de l'insuffisance de mesures, ses résultats sont dans le tableau 10.

On remarque que la végétation entraine un A faible (comparaison entre P1 et P2) par le freinage qu'elle induit, la parcelle P6 a le plus faible A à cause de la végétation et des dépressions liées aux techniques culturales malgré sa forte pente. Le pourcentage de gravillons agit sur A, ils varient dans le même sens (A de P7 < A P8). Les gravillons diminuent la surface offerte à l'infiltration et par conséquent augmente A. La végétation sèche en surface des parcelles P3, P4 et P5 (pour P5 c'est une végétation flétrie à la suite des couvertures de parcelles pour protéger des pluies naturelles libère toute l'eau stockée et donne un A élevé.

Figure 23 :graphiques de determination des paramètres A et par parcelle

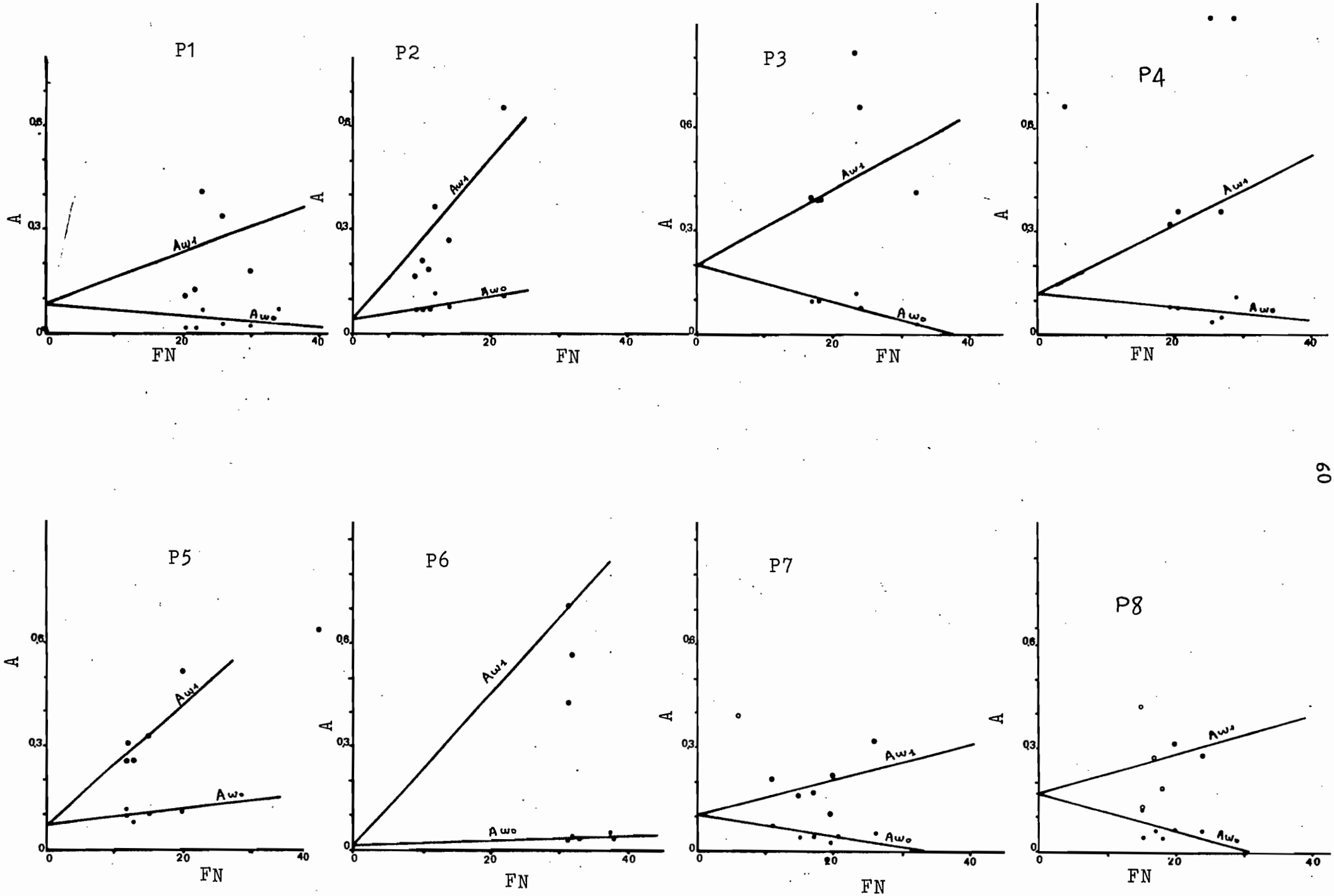


Tableau 10:Le paramètre de rugosité apparente(A) pour les 8 parcelles.

Parcelle	Nature des parcelles	Pente en %	A
P1	Sur sables grossiers Bas de pente Sol nu(précédant mil)	3	0.085
P2	Sur sables grossiers Bas de pente Jachère inf. à 2 ans	3	0.040
P3	Sur sables grossiers Sous clairière Haut de pente	3	0.200
P4	Sur sables grossiers Sous savane Haut de pente	5	0.120
P5	Bas-fonds Pseudo-jachère	5.5	0.070
P6	Bas-fonds Précédant riz	8	0.020
P7	Versant de raccord Sur gravillons Sous savane	3	0.100
P8	Versant de raccord Sur gravillons Précédant mil	5	0.180

CHAPITRE II.5. EXTENSION DES RESULTATS A L'ECHELLE DES BASSINS, ESTIMATION DE LA LAME DECENNALE.

II.5.1. Lame ruisselée à l'échelle d'un bassin

Un bassin est formé de sous-unités morphostructurales différentes dont la variabilité intra-unité à l'égard de l'hydrodynamique superficielle doit être inférieure à la variabilité interunités. La précision de la représentatiion de ces unités dépend des documents disponibles (cartes topographiques, photoaériennes, relevés de terrains, etc...) et de leur échelle (J.L. JANEAU, 1986).

Si une unité morphostructurale est représentée par une parcelle de simulation de pluie et si Ni est le coefficient de pondération de celle-ci par rapport à la surface du bassin, on peut écrire pour toutes les parcelles :

$$Lrc = \sum_{i=1}^{i=N} Ni \,.\, Lri \qquad (61)$$

où N = nombre de parcelles (pour Varalé = 8)

Autrement dit si :

$$Lri = ai\ Pu\ IK + bi\ IK + ci\ Pu + di \qquad (62)$$

alors :

$$Lrc = \sum_{i=1}^{i=N} Ni\ ai\ Pu.\ IK + \sum_{i=1}^{i=N} Ni\ bi\ IK + \sum_{i=1}^{i=N} Ni\ ci\ Pu + \sum_{i=1}^{i=N} Ni\ di \qquad (63)$$

soit :

$$Lrc = Pu\ IK \sum_{i=1}^{i=N} Ni\ ai + IK \sum_{i=1}^{i=N} Ni\ bi + Pu \sum_{i=1}^{i=N} Ni\ ci + \sum_{i=1}^{i=N} Ni\ di \qquad (64)$$

qui est l'équation globale du ruissellement pour le bassin.

II.5.2. Détermination des surfaces représentatives des parcelles (figure 24)

J.L. JANEAU 1986, a essayé lors d'une mission de déterminer les différentes unités composantes des bassins. Il a pu les représenter selon la nature pédologique seulement. Les visites de P. CHEVALLIER avant et au moment de la campagne de simulation lui ont permis de combler ces lacunes en donnant un coefficient raisonnable pour chaque parcelle. Le tableau 11 donne les valeurs correspondant à chaque parcelle et à chaque bassin. On en déduit l'équation numérique globale pour chaque bassin :

Grand bassin ou Boitao (GB)

$IK<15 \quad Lrc = 0{,}358\ Pu + 0{,}025\ IK + 0{,}065\ Pu\ IK - 3{,}229 \qquad (65)$

$IK>15 \quad Lrc = 0{,}393\ Pu - 0{,}015\ IK + 0{,}006\ Pu\ IK - 2{,}910 \qquad (66)$

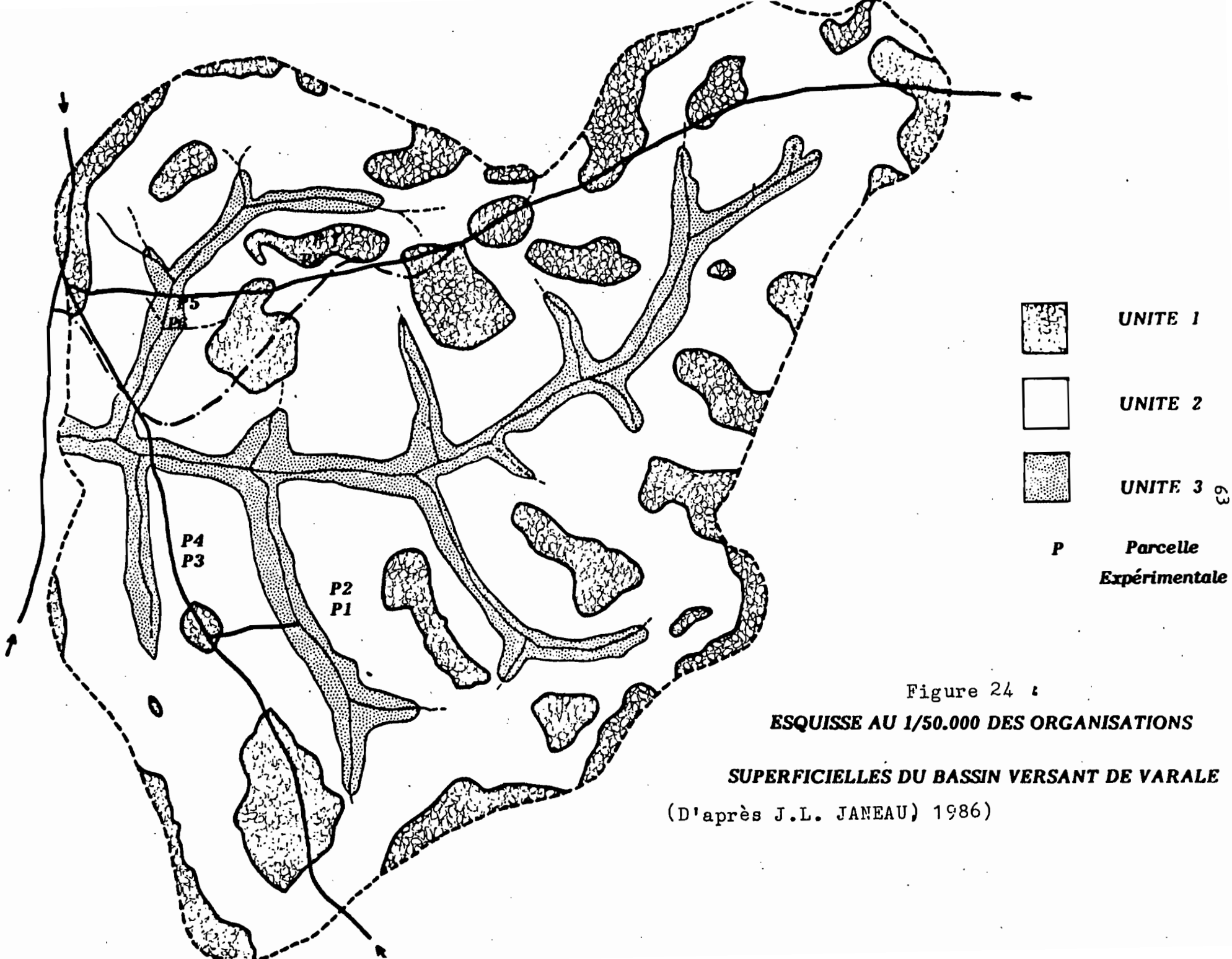


Figure 24 :

ESQUISSE AU 1/50.000 DES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES DU BASSIN VERSANT DE VARALE

(D'après J.L. JANEAU) 1986)

Tableau 11:Les coefficients de pondération correspondants aux différentes parcelles.

Site	N° de la parcelle	Type de l'unité	Composition totale de grande unité(Nui) en (%)		la Composition de chaque parcelle Pi sur chaque unité ui(NPiui) en (%)		Représentation de chaque parcelle ou coefficient de pondération parcelaire Ni	
			Gra. Bas.	Pet. Bas.	Gra. Bas.	Pet. Bas.	Gra. Bas.	Pet. Bas.
1	P1	u2	66.7	65.0	15.0	15.0	0.100	0.0975
1	P2	u2	66.7	65.0	15.0	15.0	0.100	0.0975
2	P3	u2	66.7	65.0	35.0	35.0	0.233	0.2275
2	P4	u2	66.7	65.0	35.0	35.0	0.233	0.2275
3	P5	u3	12.7	9.4	20.0	20.0	0.025	0.0188
3	P6	u3	12.7	9.4	80.0	80.0	0.101	0.0752
4	P7	u1	20.6	25.6	50.0	50.0	0.103	0.128
4	P8	u1	20.6	25.6	50.0	50.0	0.103	0.128

Petit bassin ou Guidère Kologo (PB) :

IK<15 Lrc = 0,374 Pu - 0,031 IK + 0,010 Pu IK - 4,040 (67)
IK>15 Lrc = 0,393 Pu - 0,015 IK + 0,006 Pu IK - 3,050 (68)

II.5.3. Lame ruisselée et analyse hydrologique

Pour le grand bassin, on possède un total de 22 crues mesurées dans les années 1961, 62 et 63 tandis que pour le petit bassin 20 crues ont été relevées. Les caractéristiques de ces crues sont reportées dans le tableau 12 où l'on trouve :

Pour les deux bassins :

- numéro de la crue (n°),
- l'année de la crue,
- la date de l'averse (jour-mois),

Et pour chaque bassin :

- Pmoy, la pluie moyenne sur le bassin,
- K, abattement = Pmoy/Pmaxg = le rapport entre la pluie moyenne est la pluie maximale,
- Vr, volume ruisselé en milliers de m3
- Lro, Epaisseur en mm de la lame ruisselée, répartie sur toute la surface du bassin. Elle correspond au volume Vr,
- Kr, le coefficient de ruissellement définie en pourcent par la formule Lro/Pmoy x 100%, Vr, Lro et Kr comprennent le ruissellement hypodermique,
- tp, temps de réponse du bassin, c'est le temps qui sépare le milieu du corps de l'averse du débit maximal de la crue,
- tm temps de montée, c'est la durée de la partie ascendante de l'hydrogramme,
- tb, temps de base du ruissellement. Il résulte de la délimitation faite entre écoulement de base et ruissellement,
- Qo, écoulement de base en m3/s avant le début de la crue,
- Qmax, débit maximal de la crue en m3/s
- Qrmax, débit maximal de la crue en m3/s, mais déduction faite de la valeur correspondant à l'écoulement de base,
- Qrmax/Lro = ce rapport est constant pour deux crues affines.

II.5.4. Fonction de calage du modèle simulateur

L'ensemble des crues observées pour chaque bassin est porté dans la figure 25 sous forme de Lro = Lame ruisselée observée en ordonnée et Lrc = Lame ruisselée calculée par l'équation générale de la simulation, pour la même pluie, en abcisse.

Les équations de calage sont :

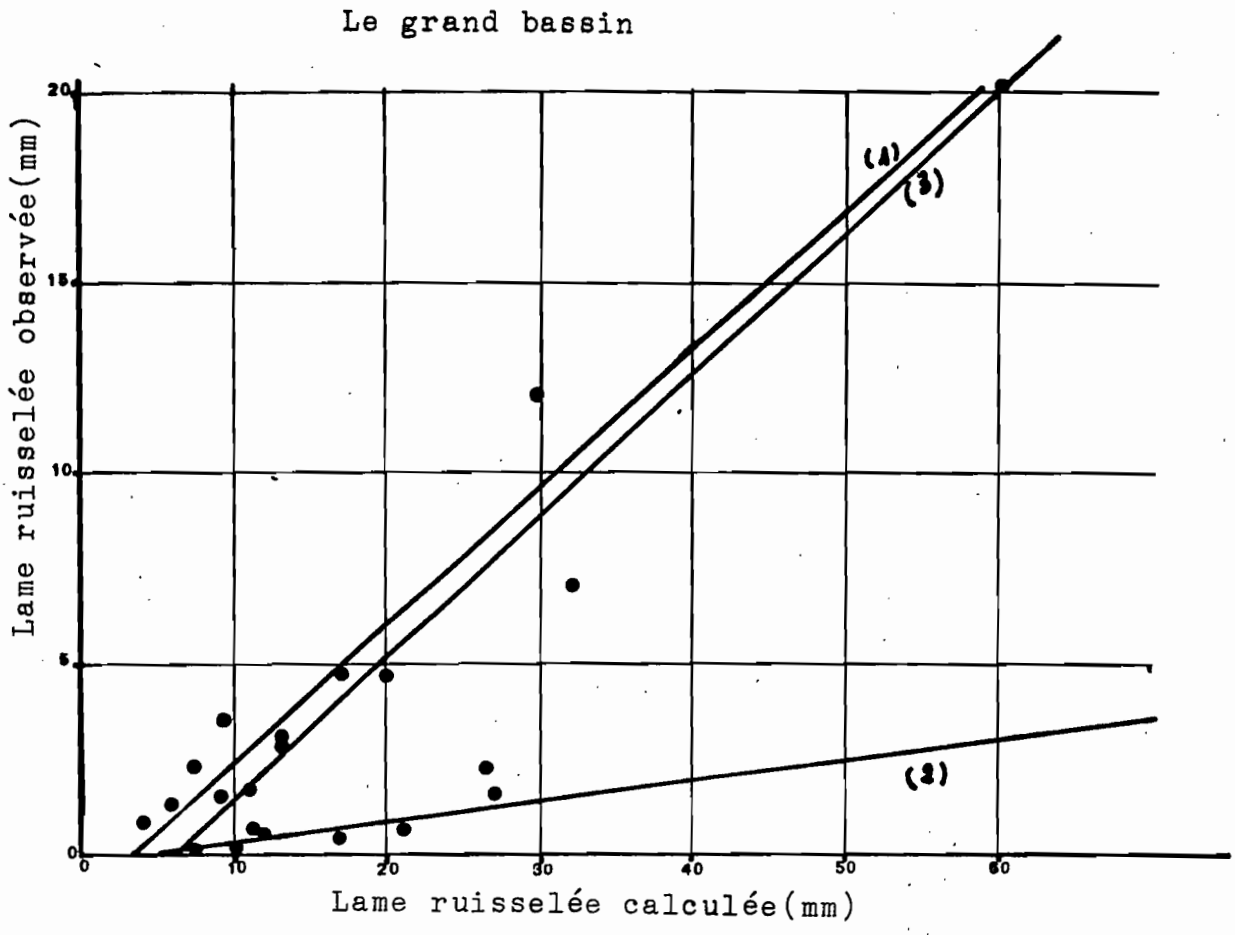
Grand bassin (GB) : Lro = 0,3688 Lrc - 2,30 (69) r = 0,77 courbe 3
Petit bassin (PB) : Lro = 0,2244 Lrc - 0,37 (70) r = 0,73 courbe 3'

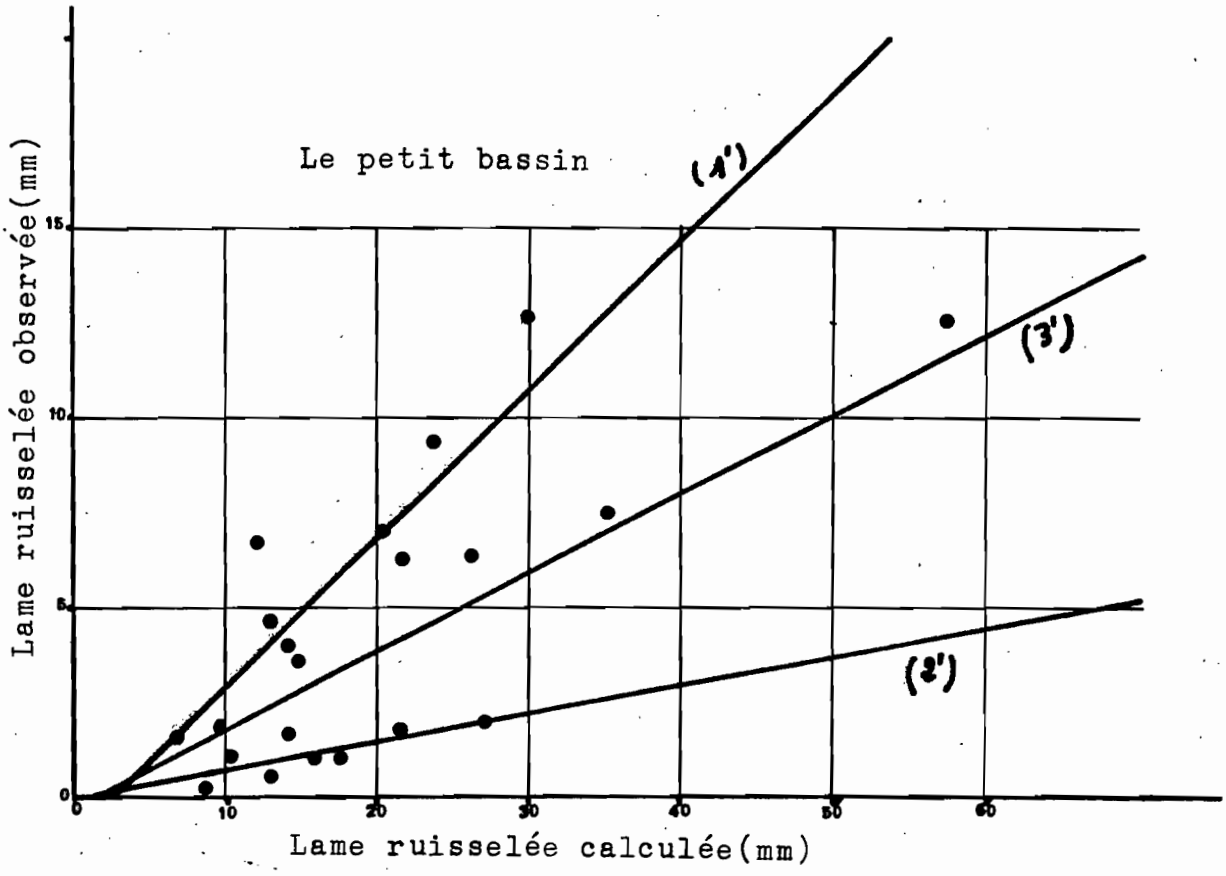
Les crues dont les lames ruisselées sont inférieures à 6 mm, ne ruisselleront pas pour le grand bassin et les crues dont les lames ruisselées sont inférieures à 1,5 mm ne ruisselleront pas pour le petit bassin.

Tableau 12: Les caractéristiques des crues observées sur les bassins versants en 1961, 62 et 63.

N°de crue	Année	Date J.M	GRAND BASSIN														PETIT BASSIN													
			Pecy	K	Vr	Lre	Kr	tp	ta	tb	Qe	Q max	Qmax	Qmax/Lre	IK	Lre	Pecy	K	Vr	Lre	Kr	tp	ta	tb	Qe	Qmax	Qmax	Qmax/Lre	IK	Lre
2	61	24.8	30.7	0.54	6.0	0.10	0.33	14H00	5H00	—	0.015	0.22	—	—	1.4	7.23	44.4	0.80	6.6	0.60	1.45	5H30	5H30	29H00	0.013	0.4			0.9	12.99
6	61	15.9	32.6	0.86	—	0.50	1.50	—	—	—	0.055	0.68	—	—	10.7	11.80	44.4	0.90	10.9	1.06	2.40	5H30			0.028	0.61			7.8	16.27
3	62	13.6	55.6	0.72	31.0	0.58	1.00	4H40	5H00	37H00	0.000	1.28	1.27	2.55	8.2	21.10	46.2	0.75	10.2	1.00	2.15	2H40	3H00	7H00	0.000	1.29	1.28	1.28	8.7	17.52
5	62	29.6	43.3	0.82	20.7	0.40	0.85	13H00	13H30	39H00	0.014	0.40	0.36	0.90	10.9	16.93														
6	62	17.4	84.4	0.78	124.8	2.20	2.65	9H30	12H00	54H30	0.011	2.42	2.36	1.07	0.0	26.40	83.9	0.87	19.4	1.90	2.24	4H00	5H30	22H00	0.017	0.92	0.88	0.46	0.0	27.30
7	62	20.8	29.4	0.81	42.0	0.75	2.55	12H40	11H00	33H00	0.136	0.90	0.73	0.98	21.3	11.49														
8	62	9.9	35.1	0.82	96.0	1.70	5.30	12H20	13H00	49H00	0.266	2.03	1.75	1.03	5.1	10.77	33.3	0.99	11.9	1.10	3.50	4H40	5H20	17H00	0.040	0.47	0.42	0.38	5.8	10.30
9	62	13.9	26.3	0.65	89.3	1.60	6.06	10H30	12H00	45H00	0.518	2.19	1.66	1.03	10.5	8.78	35.7	0.88	18.0	1.70	4.90	4H00	5H20	21H00	0.050	0.72	0.66	0.39	12.0	13.96
10	62	4.10	27.4	0.57	126.0	2.25	5.80	10H00	11H00	49H00	0.580	3.06	2.43	1.08	4.2	7.32	24.5	0.84	17.2	1.60	6.50	3H00	3H10	21H40	0.088	0.57	0.49	0.31	5.0	6.50
11	62	7.10	70.4	0.84	391.2	7.00	10.00	7H50	8H00	36H00	0.771	13.50	12.58	1.79	14.3	32.34	77.8	0.93	78.0	7.50	9.70	2H20	2H50	24H20	0.154	4.07	3.91	0.52	12.5	35.16
12	62	9.10	28.0	0.60	163.6	2.91	10.40	6H35	7H00	40H00	1.568	4.87	3.29	1.12	33.9	12.68	30.3	0.93	40.2	3.90	12.90	3H25	3H50	28H00	0.230	1.97	1.74	0.44	30.4	13.93
1	63	17.6	37.7	0.77	3.6	0.06	0.00	20H10	20H30	52H30	0.018	0.06	0.04	0.68	1.6	10.37	33.0	0.85	2.9	0.28	0.85	12H00	12H00	40H00	0.005	0.04	0.03	0.13	1.3	8.84
2	63	5.7	74.5	0.82	82.3	1.47	1.97	16H30	17H30	45H00	0.031	1.43	1.28	0.87	1.0	26.90	61.1	0.84	17.5	1.70	2.76	6H00	7H00	26H00	0.021	0.74	0.71	0.42	4.2	21.50
3	63	10.7	144.7	0.81	1132.8	20.23	13.98	2H00	3H30	25H00	0.230	65.00	64.30	3.20	7.8	60.05	130.4	0.92	130.2	12.64	9.69	2H55	3H55	19H20	0.046	13.87	1380	1.09	9.4	57.27
4	63	15.7	16.3	0.45	47.0	0.84	5.15	7H00	8H30	41H00	1.105	1.89	0.76	0.91	11.3	4.25	26.4	0.73	19.4	1.88	7.12	5H30	5H30	22H30	0.104	0.92	0.80	0.43	12.6	9.58
5	63	19.8	24.7	0.43	79.4	1.32	5.74	4H50	7H30	48H00	2.640	2.64	2.01	1.42	2.7	5.81	47.3	0.83	35.5	3.61	7.63	4H40	5H10	21H00	0.121	2.27	2.13	0.59	2.8	15.06
6	63	2.9	68.2	0.83	675.6	12.06	17.68	5H00	7H30	31H00	1.650	25.60	23.60	1.96	17.6	29.40	53.6	0.82	95.4	9.26	17.27	3H20	4H50	26H00	0.316	4.13	3.75	0.41	17.9	23.51
7	63	6.9	44.6	0.79	262.2	4.68	10.49	5H10	6H30	18H00	3.660	17.18	13.28	2.84	9.9	17.05	31.2	0.78	47.2	4.58	14.67	7H10	4H00	16H30	0.475	2.53	2.03	0.44	18.9	13.04
8	63	8.9	73.5	0.74	1224.0	21.80	29.60	3H10	4H30	18H00	2.470	62.70	59.80	2.74	15.1	30.91	62.5	0.86	130.2	12.64	20.19	4H40	3H20	14H20	0.105	10.50	9.87	0.78	23.4	29.99
9	63	11.9	23.8	0.69	247.5	4.42	18.57	5H15	6H00	25H00	3.660	11.08	8.05	1.82	23.8	9.01	27.8	0.80	68.2	6.62	23.81	2H30	2H40	16H00	0.492	4.53	4.00	0.60	27.4	12.04
10	63	1.10	61.0	0.86	259.2	4.63	7.59	5H30	5H30	36H00	1.850	13.63	11.32	2.44	2.9	19.96	62.0	0.87	73.7	7.15	11.53	4H00	4H30	17H35	0.282	3.34	3.00	0.42	1.8	20.31
11	63	30.10	42.2	0.59	175.5	3.13	7.41	3H00	4H30	31H30	1.110	7.65	6.35	2.02	3.9	13.13	59.2	0.82	65.0	6.31	10.65	2H30	3H20	14H50	0.196	4.62	4.39	0.70	5.3	21.40

Figure 25 : Corrélation, lame ruisselée observée_lame ruisselée calculée
Calage du modèle simulateur.





II.5.5. Estimation de la lame décennale

II.5.5.1. Analyse des crues observées

En analysant les correspondances entre lames calculées et lames observées (figure 25), on s'aperçoit qu'on peut classer les crues en deux sous-groupes :

1. les crues violentes et importantes en volume
2. les crues faibles.

1) Les crues violentes

Il s'agit de l'ensemble des crues du nuage de points (Lroi, Lrci) supérieur. L'examen du tableau nous permet de donner leurs caractéristiques principales qui se situent autour de la correspondance indice d'humectation (IK) et la pluie moyenne (P moy).

Ces crues répondent aux conditions suivantes :

a) IK > 5 et Pmoy > 80 mm
b) 5 < IK < 10 et Pmoy > 50 mm
c) IK > >0 et Pmoy > 30 mm.

2) Les crues faibles

Ce sont les crues du nuage de points (Lroi, Lrci) inférieur.
Les conditions auxquelles elles répondent sont :

a) IK < 5 et Pmoy > 80 caractéristiques en commun avec 1)
b) 5 < IK < 10 et Pmoy < 50
c) IK < 5 et Pmoy < 80.

II.5.5.2. Calcul de la crue décennale

1) Les distinctions du paragraphe II.5.5.1. nous amènent à distinguer trois équations de calage des lames ruisselées observées et calculées.

a. Pour les crues violentes :
On a choisi les couples (Lrci, Lroi) qui correspondent au nuage supérieur et on a déterminé l'équation de régression correspondante :

grand bas. : Lro = 0,37 Lrc - 1,29, n = 16 et r = 0,82 courbe 1
petit bas. : Lro = 0,38 Lrc - 1,10, n = 11 et r = 0,77 courbe 1'

b. Pour les crues faibles :
De même on a calculé les équations de régression pour l'ensemble des points du nuage inférieur par bassin :
grand bas. : Lro = 0,056 Lrc - 1,29, n = 7 et r = 0,81 courbe 2
petit bas. : Lro = 0,069 Lrc - 1,10, n = 8 et r = 0,76 courbe 2'

c. Cas intermédiaire ou global
Sans distinction entre les deux nuages, on détermine l'équation de régression globale :
grand bas. : Lro = 0,37 Lrc - 2,30, n = 22 et r = 0,77 courbe 3
petit bas. : Lro = 0,22 Lrc - 0,37, n = 21 et r = 0,73 courbe 3'

2) La crue décennale pour les bassins de Varalé

Une crue décennale est une crue violente provoquée par une pluie décennale de 110 mm dans des conditions d'humectation du sol moyennes correspondant à l'indice d'humectation au milieu de la saison des pluies. Cet indice est pris généralement entre 20 et 35 dans les études précédentes. On propose de la calculer pour ces deux indices.

-cas du grand bassin :
De l'équation (66)

$$Lrc = 0,375\ Pu - 0,0124\ IK + 0,0058\ Pu\ IK - 2,91$$

avec un abattement K de 0,85, pour Pu = 93,5 mm et IK = 35

$$Lrc = 50,7\ mm$$

Comme cette crue est classée parmi les crues violentes, on utilise l'équation de calage correspondant à la courbe 1 :

$$Lro = 0,37\ Lrc - 1,29$$

ce qui donne une lame ruisselée décennale Lrd de :

$$Lrd = 17,6\ mm$$

qui correspond à un coefficient de ruissellement pour la crue décennale (Krd) de :

$$Krd = 18,8\ \%$$

La valeur obtenue par la méthode globale (LE GUILLOU, 1965) est de Lrg = 17,9 mm. Soit une différence de 0,3 mm correspondant à une erreur inférieure à 2 %.

- avec un IK de 20 :
L'équation (66) donne Lrc = 42,7 mm
L'équation de la courbe 1 donne Lrd = 14,6 mm soit un Krd de 15,6 % et une erreur de 18,4%.

-cas du petit bassin :
De l'équation (68)

$$Lrc = 0,393\ Pu - 0,0015\ IK + 0,0060\ Pu\ IK - 3,05$$

pour Pu = 100 mm et IK = 35

$$Lrc = 56,7\ mm$$

De même que pour le grand bassin cette crue est classée parmi les crues violentes, on utilise l'équation de calage correspondant à la courbe 1':

$$Lro = 0,38\ Lrc - 1,10$$

ce qui donne une lame ruisselée décennale Lrd de :

Lrd = 20,5 mm

qui correspond à un coefficient de ruissellement pour la crue décennale (Krd) de :

Krd = 20,5 %

La valeur obtenue par la méthode globale (LE GUILLOU, 1965) est de Lrg = 19,3 mm. Soit une différence de 1,2 mm correspondant à une erreur de 6%.

- avec un IK de 20 :
  L'équation donne Lrc = 47,9 mm
L'équation de la courbe 1' donne Lrd = 17,1 mm soit un Krd de 17,1

Soit une différence de 2,2 mm correspondant à une erreur de 11%. On remarque finalement qu'un IK de 35 donne une meilleure estimation de la crue décennale (2% pour le grand bassin et 6% pour le petit bassin). Malgré des résultats moins intéressants avec un IK de 20 les erreurs restent acceptables (18% pour le grand bassin et 11% pour le petit bassin.

La méthode RODIER-AUVRAY (1965) donne :
- pour le grand bassin : Lrd = 17,3 mm et Krd = 18,5%, soit une différence avec la méthode globale de 3,3 %
- pour le petit bassin : Lrd = 31 mm et Krd = 31%, soit une différence avec la méthode globale de 60%.

On constate que la valeur du grand bassin est pratiquement la même pour les trois méthodes avec un IK de 35.

3) Comparaison avec les résultats obtenus sur d'autres bassins de savane :

Nous résumons les résultats dans le tableau 13. Ces bassins ont été étudiés par :
- J. ALBERGEL et H. TOUIRI (1982) à Binndé (Burkina Faso).
- A. GIODA (1983) à Korhogo (Côte d'Ivoire).
- A. GIODA et J.M. LAPETITE (1985) à Worossantiakaha (Côte d'Ivoire).
- A.CASENAVE, J. KONG et J.P. THIEBAUX à la Comba (Congo), 1985.
- et notre bassin de Varalé (Côte d'Ivoire).

Pour pouvoir comparer les résultats on a utilisé le rapport :

$\eta = |Lrd - Lrg| / Lrg \times 100\%$ qui exprime le pourcentage de différence.
où Lrd est la lame ruisselée décennale obtenue par la méthode de simulation de pluie.
Lrg est la lame ruisselée décennale obtenue par la méthode globale.

Les valeurs obtenues pour η dans le tableau 13 montrent bien la validité de la méthode de simulation. En effet on constate des faibles valeurs de l'erreur η sauf pour Worossantiakaha.

Tableau 13 : comparaison des résultats obtenus sur différents bassins de savane

bassin	surface km²	P dec. mm (moy)	IK mm	Lrd mm	Lrg mm	η
Varalé	53,3	93,5	35	17,6	17,9	<2
			20	14,6	17,9	18
	10,6	100,0	35	20,5	19,3	6
			20	17,1	19,3	11
Binndé	9,7	84,5	20	35,0	32,1	9
Korhogo	3,39	90,4	20	30,1	29,0	<4
Worossant.	12,0	90,4	20	24,9	13,7	82
Comba	1,18	126,0	30	93,0	98,8	<6

CHAPITRE II.6 . EXAMEN DES PROFILS HYDRIQUES

II.6.1. Calcul du stock hydrique du sol

A partir de l'humidité pondérale Hp avant chaque averse, on peut connaitre le stock hydrique pour une tranche de sol donnée selon :

- On mesure la densité sèche d'un sol avec un gamma densimètre (II.2.1.4) tous les vingts centimètres. Puis pour connaitre la densité en chaque point de profondeur, on lisse les courbes obtenues sur les points déterminés pour chaque tranche de 20 cm (les résultats sont sur la figure 5).

- On fait le produit des courbes d'humidité pondérale par les courbes de la densité en différents points de profondeur. On obtient ainsi par la relation :

$$Hv = \rho_s \times Hp \qquad (2')$$

l'humidité volumique Hv.

- On calcule une humidité volumique moyenne pour chaque profil hydrique en Hv pour différentes tranches du sol comme suit : nous intégrons la surface en dessous de chaque courbe lissée de Hv = f(prof.) qu'on divise par la hauteur de la tranche de sol.

$$Hvmoy = 1/l \int_0^l Hv \, dx \qquad (69)$$

où x, profondeur du sol
l, hauteur de la tranche de sol
Hv, l'humidité volumique

Le schéma de la figure 26 explique la méthode.

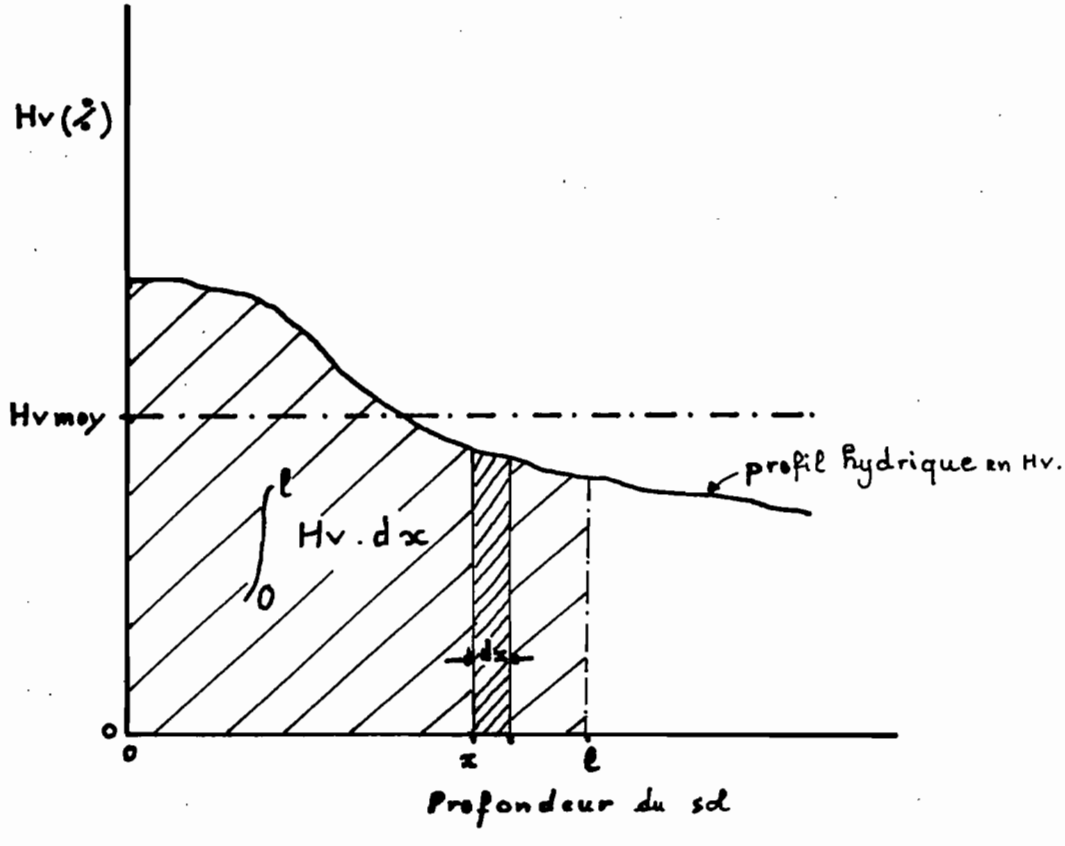
Pour connaitre la quantité d'eau en mm, on multiplie Hvmoy par la hauteur l de la tranche de sol concernée.

On remarque dans le tableau n° 14 que pour les sols gravillonnaires la surface du sol est primordiale dans la compréhension du comportement hydrodynamique de ces sols.

II.6.2. Relation pluie d'imbibition - stock hydrique du sol.

Les représentations de la pluie d'imbibition en fonction du stock hydrique du sol pour les tranches 0-1 cm, 0-2 cm, 0-5 cm, 0-20 cm, 0-40 cm et 0-80 cm montrent qu'il y a une relation linéaire entre le stock hydrique d'un sol et la pluie d'imbibition correspondante. Nous notons aussi que la pluie d'imbibition après un épisode sec de plus de 15 jours est toujours élevée. Elle indique que la tranche de sol qui l'a influencée est de dimension assez grande. Mais l'effet de la première pluie qui entraine des réorganisations dans le sol et à sa surface lui permettant de prendre une forme plus stable et à peu près définitive. Cette forme est engendrée par un horizon de surface qui influencera toujours la pluie d'imbibition à des indices d'humectations non nuls (généralement supérieurs à 15).

Figure 26:Schéma explicatif de calcul du stock hydrique du sol.



On peut déterminer la dimension de la tranche de sol concernée en évaluant par tatonnement l'épaisseur de cette tranche de sol que la pluie d'imbibition vient compléter. En fait les points (Pi, stock du sol) s'alignent sur une droite parallèle à la deuxième bissectrice (figure n° 27). Cette relation est nettement exprimée sur les parcelles P1, P2, P4 et P7, un peu moins pour les parcelles P3, P5, P6 et P8.

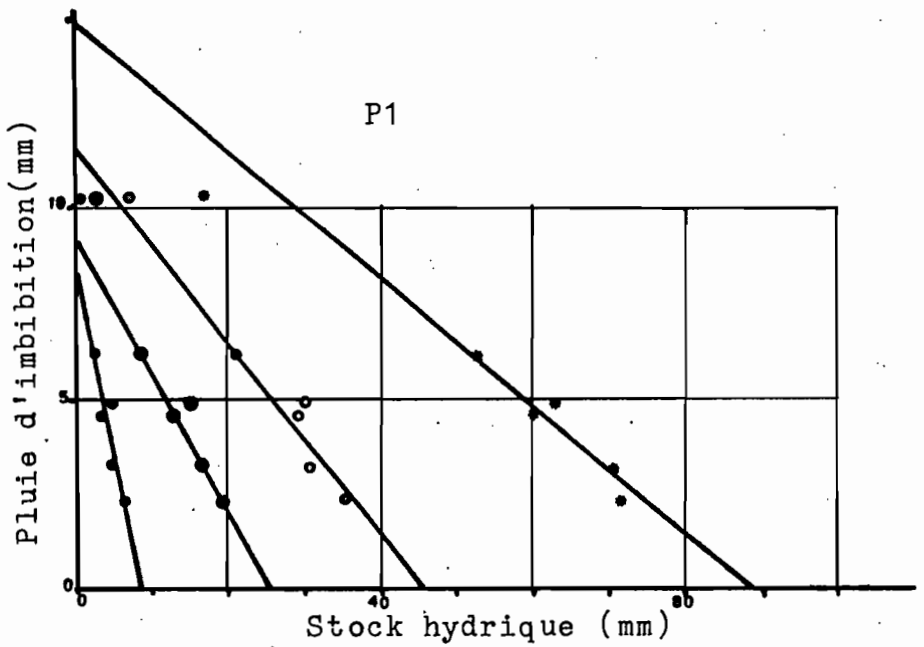
Nous pouvons donner dans le tableau n° 14 les épaisseurs de tranches de sol qui influencent la pluie d'imbibition et qui sont probablement déterminantes dans la compréhension du ruissellement et de l'infiltration.

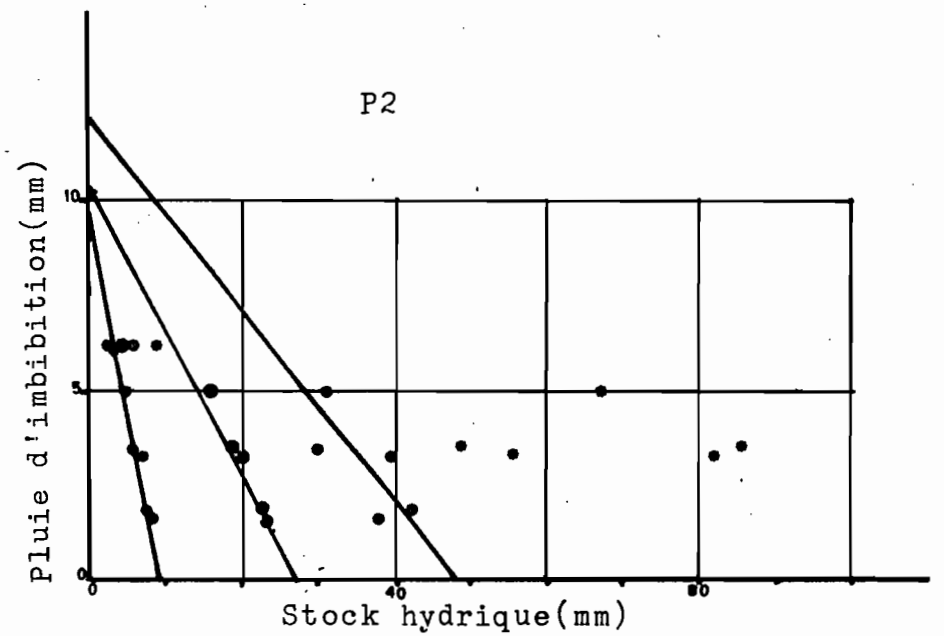
Tableau n°14 : épaisseur des tranches de sol influançant la pluie d'imbibition après la première pluie.

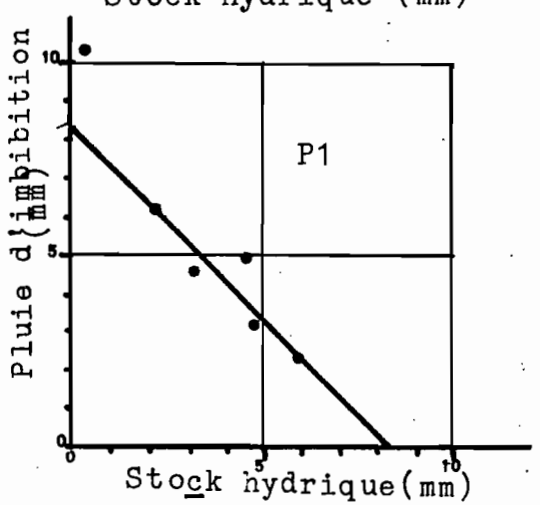
Parcelle	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
épaisseur (en cm)	0-5	0-5	0-20	0-20	0-1	0-5	0-2	0-2

Figure 27 :Corrélation, pluie d'imbibition_stock hydrique du sol par parcelle.

• Horizon 0-5 cm.
● Horizon 0-20 cm.
○ Horizon 0-40 cm.
• Horizon 0-80 cm.
• Horizon 0-2 cm.
. Horizon 0-1 cm.







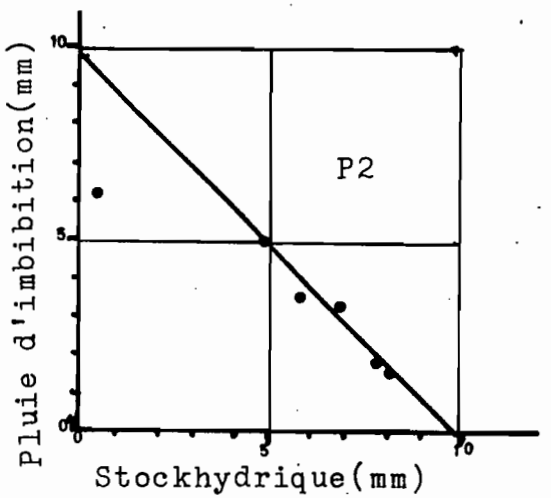


Figure 27 :(suite)

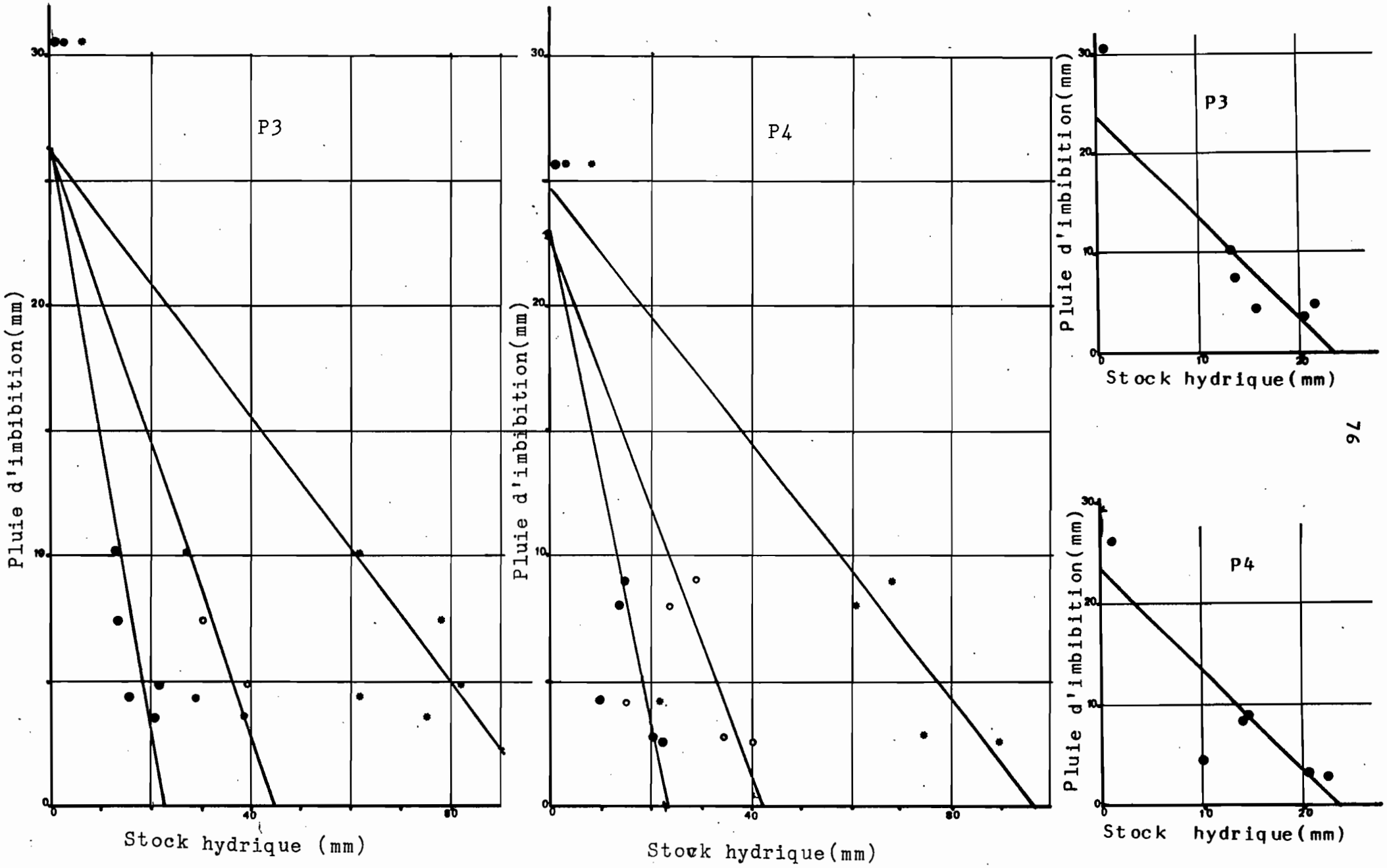
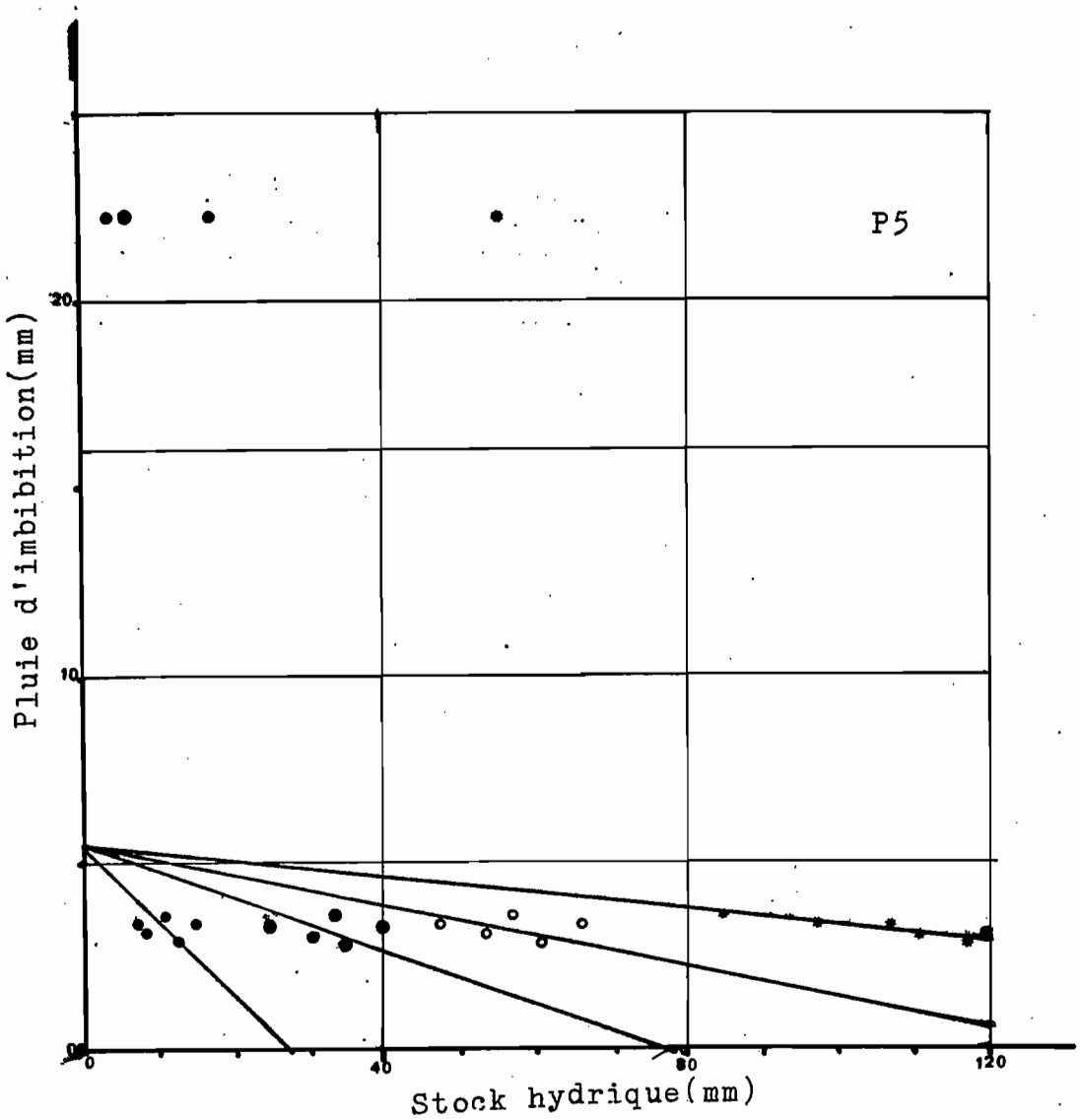


Figure 27 :(suite)



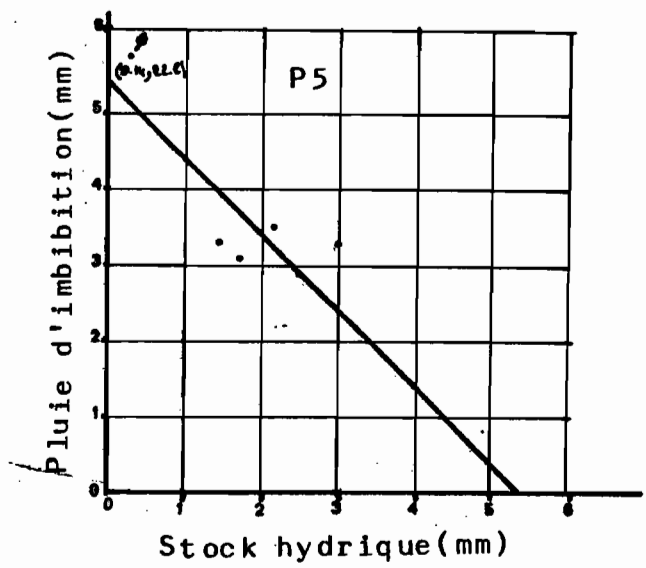
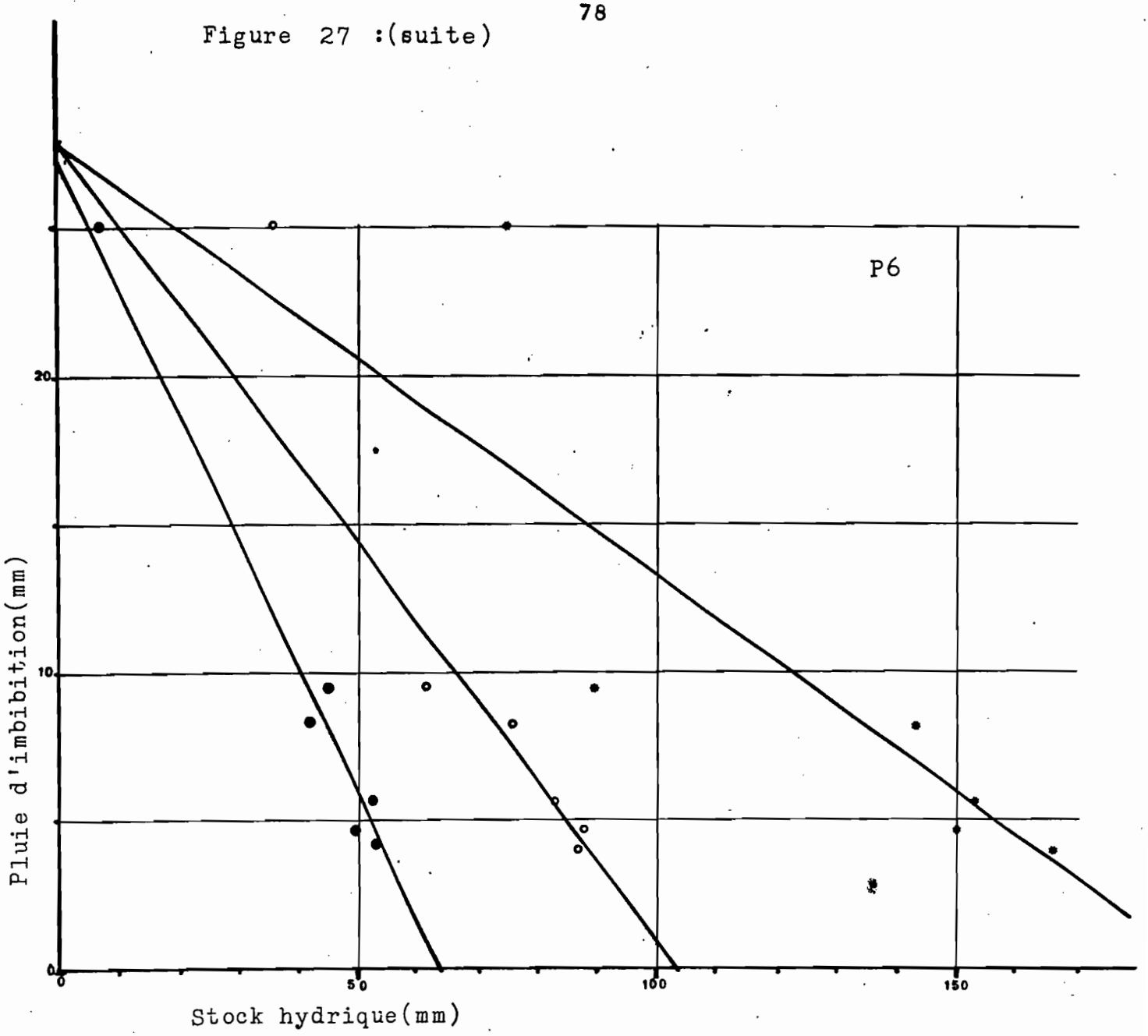


Figure 27 :(suite)



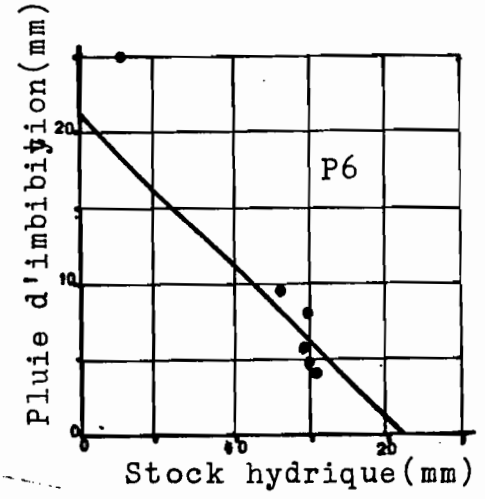
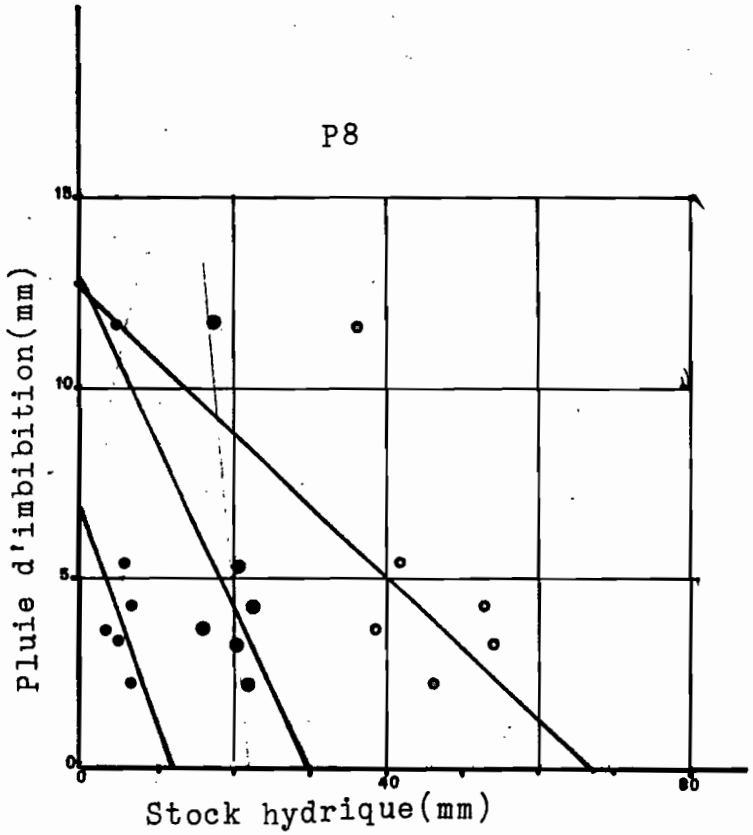
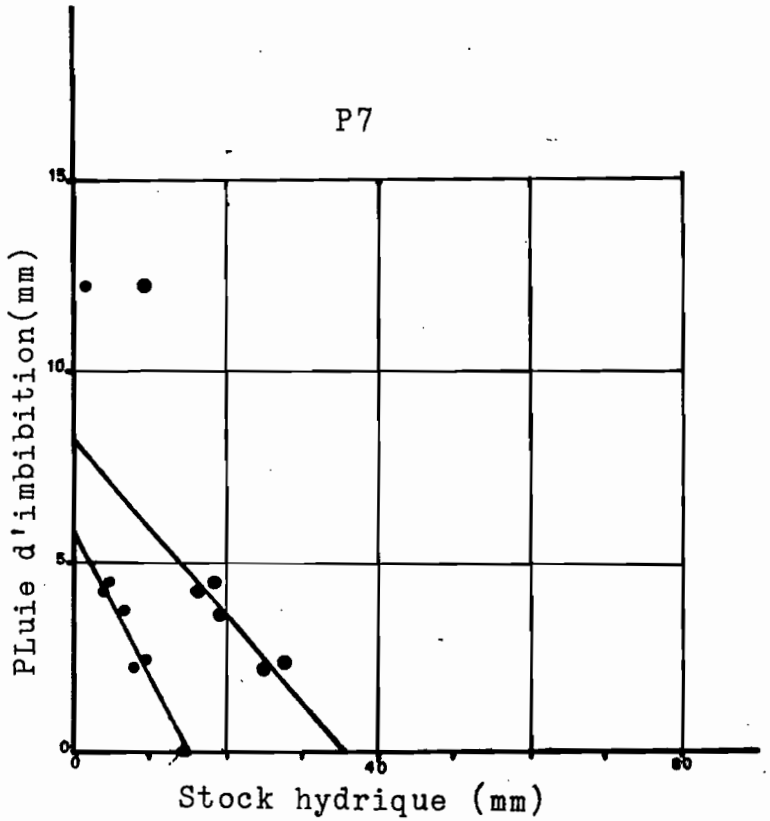
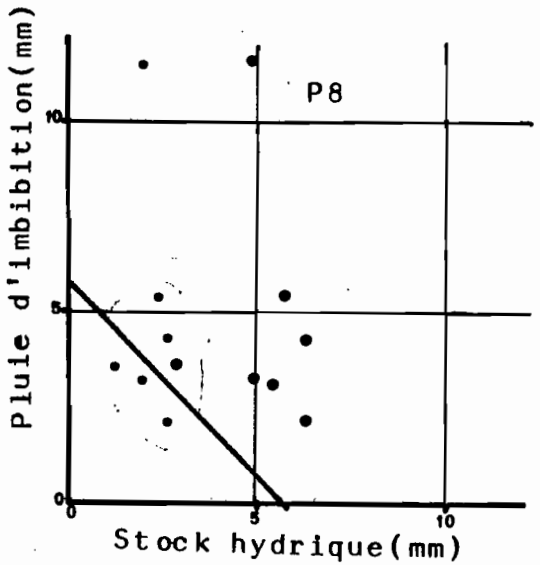
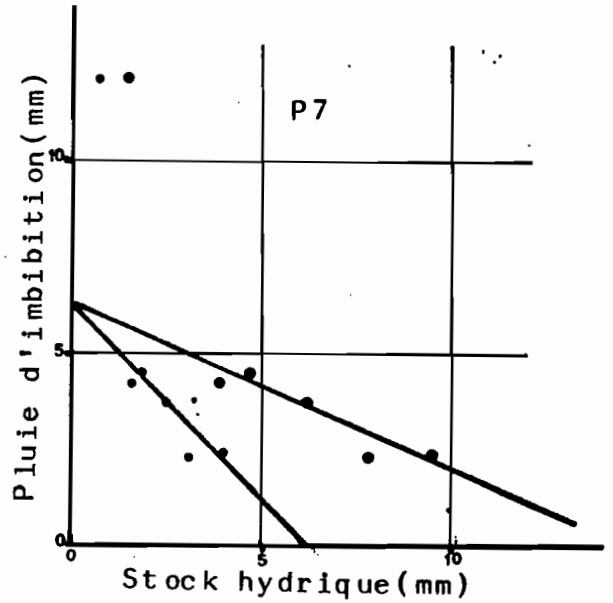


Figure 27 :(suite)









CONCLUSION

Le minisimulateur avec une bonne connaissance du milieu naturel en plus d'une campagne d'observations hydrologiques permet :

- d'une part de comprendre le comportement hydrodynamique des sols ;
- et d'autre part de quantifier le ruissellement à l'échelle d'une parcelle comme à l'échelle d'un bassin versant.

Plusieurs sols donnent l'impression d'avoir le même ruissellement, mais la réalité est tout autre. En effet les sols de Varalé (Nord-Est de la Côte d'Ivoire), à dominante sableuse présentent des variations suivant leur position topographique, leur couverture végétale et/ou les organisations pédologiques superficielles.

Bien entendu les valeurs obtenues par le minisimulateur sont suréestimées par rapport aux valeurs observées car le dispositif de mesure ne tient pas compte de la strate aérienne (arborée, arbustive ou buissonnante). Mais un calage de ce modèle simulateur est nécéssaire et donne des résultats convaincants.

N'oublions pas l'intérêt de cet appareil. En effet il peut tenir compte de tout changement affectant un milieu donné en l'étudiant au moment où l'on a besoin de la quantifier hydrologiquement.

BIBLIOGRAPHIE

ALBERGEL (J.), TOUIRI (H.), 1982
Un outil pour estimer le ruissellement sur petit bassin versant : le minisimulatuer de pluies. Expérimentation sur le bassin de Binnde. Rapport d'élève. Hydrologie ORSTOM, Centre de Ouagadougou, Burkina Faso, 2vol., 140 p.+ annexes multigraphiées.

ASSELINE (J.), 1981
Notice technique. Construction d'un infiltromètre à aspersion. ORSTOM Adiopodoumé, 26 p., 30 fig.

ASSELINE (J.), VALENTIN (C.), 1978
Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XV,4, pp. 312-349

BRUNET-MORET (Y.), 1963
Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. République de Haute-Volta. ORSTOM

BRUNET-MORET (Y.), 1974
Etablissement d'un fichier pluviométrique opérationnel et étude des averses exceptionnelles. Application à la Côte d'Ivoire. ORSTOM, CIEH, 14 p. + ann., multigr.

CASENAVE (A.), 1982
Le minisimulateur de pluie. Conditions d'utilisation et principe de l'interprétation des mesures. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol XIX, n°4, Paris.

CASENAVE (A.), 1981
Etude des crues décennales des patits bassins forestiers en Afrique Tropicale. Rapport Adiopodoumé - campagne 1980. ORSTOM Adiopodoumé.

CASENAVE (A.), KONG (J.), THIEBAUX (J.P.), 1985
Etude du ruissellement sous pluies simulées sur un bassin versant de la Comba (Congo). ORSTOM, Adiopodoumé, 31 p.+ann.

CHEVALLIER (P.), 1982
Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens. Mare d'Oursi (Haute-Volta). Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XIX, n°4, Paris.

CHEVALLIER (P.), 1983
L'indice des précipitations antérieures. Evaluation de l'humectation des sols de bassins versants représentatifs. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol XX, n°3-4, Paris.

CHEVALLIER (P.), CLAUDE (J.), POUYAUD (B.), BERNARD (A.), 1985
Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la Mare d'Oursi (Burkina Faso). 1976-1981. Travaux et documents de l'ORSTOM n°190.

COLLINET (J.), VALENTIN (C.), 1979
Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XVII (4), pp. 283-328

DABIN (B.), LENEUF (N.), RIOU (G.), 1960
Carte pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/200 000. Notice explicative. Adiopodoumé, Abidjan.

DE LA SOUCHERE (P.), 1965
Etude pédologique du terroir de Varalé, s.p. de Bouna, nord-est ivoirien. Adiopodoumé.

DUBREUIL (P.)
Recueil des données de base des bassins versants représentatifs et expérimentaux. pp177-183. Paris.

GIODA (A.), 1983
Etude du rapport pluie-débit sur un petit bassin de savane à l'aide d'un infiltromètre à aspersion (Korhogo- Côte d'Ivoire).
Rapport d'élève. Hydrologie, ORSTOM, centre d'Adiopodoumé, 64 p.

GIODA (A.), LAPETITE (J.M.), 1985
Etude du rapport pluie-débit sur un petit bassin de savane à l'aide d'un infiltromètre à aspersion (Worossantiakaha, Côte d'Ivoire). Campagne 1984. Hydrologie ORSTOM, centre d'Adiopodoumé, 28 p. + ann.

GIRARD (G.), 1962.
Etude hydrologique des bassins versants expérimentaux dans la région de Bouna. Campagne 1981. 156 p., 55 tabl., 50 fig.

JANEAU (J.L.), 1986
Le bassin versant de Varalé (Côte d'Ivoire). Esquisse pédologique au 1/50 000 des états de surface. ORSTOM, Adiopodoumé, 29 p.

KOUAME (B.), 1986
Analyse et traitement des observations des postes pluviométriques de Touba et de Bouna. Rapport de stage intégré ENIT, ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, 27 p. + ann.

LE GUILLOU (J.L.) 1965
Etude hydrologique des bassins versants expérimentaux de Varalé dans la région de Bouna (Côte d'Ivoire). Rapport définitif. Campagne 1962, 1963. 27 p., 11 fig., 6 tabl.

LAFFORGUE (A.), 1977
Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelle. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XIV, n°4, Paris.

LAFFORGUE (A.), CASENAVE (A.), 1980
Derniers résultats obtenus en zone tropicale sur les modalités de transfert pluie-débit par l'emploi d'un simulateur de pluie. La Houille Blanche n°4/5.

PUECH (C.), CHABI GONNI (P.) - 1984
Courbes, Hauteur de pluie, Durée, Fréquence en Afrique de l'Ouest et Centrale pour les pluies de durée 5 minutes à 24 heures.
Ouagadougou - C. I. E. H.

RODIER (J.A.), AUVRAY (G.), 1965
Estimation des débits de crues décennales pour petits bassins versants de supérficie inférieure à 200 km². ORSTOM, CIEH.

RODIER (J.A.), 1976
Estimation des débits de crue décennales pour les petits bassins forestiers en Afrique Tropicale. Etude préliminaire. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XIII, n° 4, Paris.

SAKLY (F.), 1985
Etude du rapport pluie-débit sous pluies simulées sur un petit bassin de savane humide (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire). Rapport d'élève, Hydrologie, ORSTOM, centre d'Adiopodoumé pp 13-42 +ann.

ANNEXES

Annexe 1 : Données de base

Annexe 2 : Infiltromètre à aspersion, pluie utile et lame ruisselée au pas de temps de 5 mn.

Annexe 3 : Tableau des paramètres mesurés pour la détermination de la densité des sols.

Annexe 4 : Humidité pondérale des échantillons

Annexe 5 : Tableau de mesure sur le marbre et le calcaire pour la courbe d'étalonnage du gamma densimètre

Annexe 6 : Courbe d'étalonnage du gamma densimètre

Annexe 7 : Tableaux de traduction des courbes HDF et IDF des stations voisines de Bouna

Annexe 8 : Tableaux des hyétogrammes classés des stations voisines de Bouna

Annexe 9 : Tableau des variations de l'indice d'humectation au cours des années 1961, 1962 et 1963

ANNEXE 1 :DONNEES DE BASE(dépouillement des hydrogrammes d'enregistrement).

Bassin:Varalé Parcelle N°:1 SiteN°:1 Campagne:1986

PLUIE	DATE	HEURE DEBUT	tu	te	ta	Pa	Pu	Pi	Pe	Lr	Li	Kru	Kre	IK	Dr
TYPE	J.M	H .mn	mn.s	mn.s	H.mn	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%		mm
1D	22.03	10.28	95.00	81.35	∞	—	118.6	10.3	108.3	55.2	63.3	46.6	51.0	0	0.1
2A	26.03	12.15	60.00	49.30	97.47	118.6	63.5	6.2	57.3	20.9	42.5	33.0	36.6	15.5	0.1
3A	28.03	8.55	60.00	51.30	44.40	63.5	63.4	4.9	58.5	32.3	31.0	51.1	55.3	31.1	0.1
4A	29.03	9.53	60.00	56.32	24.58	63.4	71.1	2.3	68.8	44.4	26.6	62.5	64.6	56.2	0.1
5A	31.03	9.54	60.00	52.50	48.01	71.1	69.9	4.6	65.3	39.4	30.4	56.5	60.5	46.8	0.1
6D	1.04	11.00	95.00	91.11	25.06	69.9	107.6	3.2	104.4	61.5	45.8	57.4	59.2	69.2	0.3

Bassin:Varalé Parcelle N°:2 Site N°:1 Campagne:1986

PLUIE	DATE	HEURE DEBUT	tu	te	ta	Pa	Pu	Pi	Pe	Lr	Li	Kru	Kre	IK	Dr
TYPE	J.M	H .mn	mn.s	mn.s	H.mn	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%		mm
1D	22.03	14.16	95.00	84.46	∞	—	113.6	6.2	107.4	75.0	38.0	66.5	70.4	0	0.6
2A	26.03	10.06	60.00	52.30	91.50	113.6	68.3	5.0	63.3	32.6	35.2	48.5	52.3	16.8	0.5
3A	28.03	10.46	60.00	54.49	48.40	68.3	66.8	3.3	63.5	49.1	17.7	74.1	77.9	30.8	0.4
4A	29.03	7.43	60.00	57.35	20.57	66.8	70.9	1.6	69.3	60.9	9.6	86.5	88.5	63.0	0.4
5A	31.03	11.50	60000	54.45	52.07	70.9	70.3	3.5	66.8	53.5	16.4	76.7	80.7	45.2	0.4
6D	1.04	8.19	95.00	92.18	20.29	70.3	110.3	1.8	108.5	89.1	20.7	81.2	82.6	75.4	0.5

ANNEXE 1 :DONNEES DE BASE(dépouillement des hydrogrammes d'enregistrement).

Bassin:Varalé Parcelle N°: 3 SiteN°:2 Campagne:1986

PLUIE	DATE	HEURE DEBUT	tu	te	ta	Pa	Pu	Pi	Pe	Lr	Li	Kru	Kre	IK	Dr
TYPE	J.M	H .mn	mn.s	mn.s	H.mn	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%		mm
1D	30.03	8.14	95.00	53.27	∞	—	103.4	30.5	72.9	17.5	85.9	16.9	24.0	0.0	0.0
2A	3.04	11.54	60.00	48.25	99.40	103.4	72.7	10.1	62.6	24.4	48.2	33.7	39.1	12.9	0.1
3A	5.04	9.29	60.00	54.30	45.35	72.7	73.0	4.4	68.6	47.1	25.4	65.2	69.3	33.1	0.5
4A	6.04	11.22	60.00	54.55	25.53	73.0	70.4	3.6	66.8	47.3	22.6	67.8	71.5	61.8	0.5
5A	8.04	10.18	60.00	49.17	46.56	70.4	68.6	7.4	61.2	38.4	29.9	56.4	63.2	49.7	0.3
6D	9.04	12.25	100.00	92.22	26.07	68.6	112.7	4.9	107.8	64.7	47.5	57.8	60.4	68.6	0.5

Bassin:Varalé Parcelle N°: 4 Site N°: 2 Campagne:1986

PLUIE	DATE	HEURE DEBUT	tu	te	ta	Pa	Pu	Pi	Pe	Lr	Li	Kru	Kre	IK	Dr
TYPE	J.M	H .mn	mn.s	mn.s	H.mn	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%		mm
1D	30.03	11.04	95.00	61.48	∞	—	113.9	25.6	88.3	17.8	96.1	15.6	20.1	0.0	0.0
2A	3.04	9.49	60.00	49.28	94.45	113.9	72.5	8.0	64.5	23.8	48.3	33.3	37.5	15.8	0.4
3A	5.04	11.36	60.00	54.01	49.47	72.5	70.8	4.2	66.6	35.0	35.2	50.3	53.5	31.3	0.6
4A	6.04	9.20	60.00	56.00	21.28	70.8	70.4	2.8	67.6	43.1	26.9	61.8	64.3	65.2	0.4
5A	8.04	12.23	60.00	49.05	51.03	70.4	70.9	9.0	61.9	29.1	41.6	41.3	47.3	44.9	0.2
6D	9.04	9.12	95.00	91.15	20.49	70.9	110.6	2.7	107.9	75.6	34.6	68.7	70.4	75.0	0.4

ANNEXE 1 :DONNEES DE BASE(dépouillement des hydrogrammes d'enregistrement).

Bassin:Varalé Parcelle N°: 5 SiteN°:3 Campagne:1986

PLUIE	DATE	HEURE DEBUT	tu	te	ta	Pa	Pu	Pi	Pe	Lr	Li	Kru	Kre	IK	Dr
TYPE	J.M	H .mn	mn.s	mn.s	H.mn	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%		mm
1D	7.04	10.16	95.00	61.44	∞	—	105.1	22.2	82.9	32.5	72.6	30.9	39.2	0.0	0.0
2A	11.04	12.53	60.00	54.40	98.37	105.1	70.3	3.5	66.8	43.0	26.8	61.8	65.1	13.5	0.5
3A	13.04	8.52	60.00	55.39	43.59	70.3	72.2	3.3	68.9	49.2	22.4	68.9	72.3	33.5	0.6
4A	14.04	11.00	60.00	54.52	26.08	72.2	66.0	3.1	62.9	50.6	14.9	77.4	81.2	61.4	0.5
5A	16.04	9.38	60.00	54.40	46.38	66.0	69.3	3.3	66.0	55.0	13.9	79.9	84.0	48.2	0.4
6D	17.04	10.40	95.00	90.13	25.02	69.3	106.4	2.9	103.5	80.0	25.8	75.7	77.9	69.8	0.6

Bassin:Varalé Parcelle N°: 6 Site N°:3 Campagne:1986

PLUIE	DATE	HEURE DEBUT	tu	te	ta	Pa	Pu	Pi	Pe	Lr	Li	Kru	Kre	IK	Dr
TYPE	J.M	H .mn	mn.s	mn.s	H.mn	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%		mm
1D	7.04	1.317	95.00	59.40	∞	—	105.8	25.1	80.7	33.7	72.0	31.9	41.9	0.0	0.1
2A	11.04	1.023	60.00	48.37	93.06	105.8	70.3	9.5	60.8	17.6	52.6	25.1	29.1	15.2	0.1
3A	13.04	1.058	60.00	52.55	48.35	70.3	73.2	5.6	67.6	12.0	61.2	16.4	17.7	31.1	0.0
4A	14.04	8.58	60.00	52.57	22.00	73.2	70.9	4.7	66.2	25.8	44.9	36.7	39.3	65.9	0.2
5A	16.04	11.39	60.00	49.00	50.41	70.9	69.9	8.2	61.7	25.4	44.5	36.3	41.2	47.5	0.2
6D	17.04	8.06	95.00	88.58	20.27	69.9	112.8	4.0	108.8	52.5	60.1	46.7	48.4	76.6	0.2

ANNEXE 1 :DONNEES DE BASE(dépouillement des hydrogrammes d'enregistrement).

Bassin:Varalé Parcelle N°: 7 SiteN°: 4 Campagne:1986

PLUIE	DATE	HEURE DEBUT	tu	te	ta	Pa	Pu	Pi	Pe	Lr	Li	Kru	Kre	IK	Dr
TYPE	J.M	H .mn	mn.s	mn.s	H.mn	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%		mm
1D	15.04	12.08	95.00	77.31	137.37	25.0	112.1	12.2	99.9	50.7	61.2	45.4	50.9	1.4	0.2
2A	21.04	9.15	60.00	53.45	52.30	27.3	70.2	3.7	66.5	49.8	20.2	71.2	75.2	15.2	0.1
3A	23.04	10.45	60.00	52.42	49.30	70.2	69.9	4.5	65.4	41.4	28.4	59.3	63.5	30.5	0.1
4A	24.04	7.32	60.00	56.23	20.47	69.9	70.5	2.4	68.1	45.9	24.4	65.4	67.7	65.1	0.2
5A	26.04	9.44	60.00	53.35	50.12	70.5	70.3	4.2	66.1	37.6	32.5	53.7	56.8	47.6	0.2
6D	27.04	7.48	95.00	91.14	22.04	70.3	108.1	2.3	105.8	85.7	22.0	79.6	81.4	74.4	0.4

Bassin:Varalé Parcelle N°: 8 Site N°: 4 Campagne:1986

PLUIE	DATE	HEURE DEBUT	tu	te	ta	Pa	Pu	Pi	Pe	Lr	Li	Kru	Kre	IK	Dr
TYPE	J.M	H .mn	mn.s	mn.s	H.mn	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%		mm
1D	15.04	8.55	95.00	80.29	134.20	25.0	118.4	11.6	106.8	57.1	61.0	48.5	53.8	1.5	0.3
2A	21.04	11.34	60.00	51.13	54.49	27.3	73.1	5.4	67.7	46.5	26.3	64.0	69.1	15.4	0.3
3A	23.04	8.46	60.00	55.09	45.12	73.1	73.4	3.3	70.1	48.6	24.6	66.5	69.6	34.5	0.6
4A	24.04	9.28	60.00	56.37	24.42	73.4	72.7	2.2	70.5	58.6	13.6	81.2	83.3	64.5	0.6
5A	26.04	7.50	60.00	54.34	46.22	72.7	71.6	3.6	68.0	38.3	33.0	53.9	56.7	52.2	0.3
6D	27.04	10.45	95.00	88.30	26.55	71.6	108.8	4.3	104.5	67.8	40.8	62.5	65.0	70.7	0.2

ANNEXE 2 :INFILTROMETRE A ASPERSION, PLUIE UTILE ET LAME RUISSELE AU PAS DE TEMPS DE 5 MINUTES.

Parcelle N°:1 Site N°: 1

Temps (en mn)	PLUIE 1D		PLUIE 2A		PLUIE 3A		PLUIE 4A		PLUIE 5A		PLUIE 6D	
	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)
5	3.8	0.0	3.0	0.0	2.9	0.0	3.2	0.0	3.2	0.0	3.3	0.0
10	7.6	0.0	6.0	0.0	5.8	0.0	6.5	0.3	6.4	0.1	6.6	0.4
15	11.4	0.0	17.3	4.7	14.8	5.3	16.8	6.8	16.4	5.6	9.9	1.3
20	15.2	0.2	28.6	11.4	23.8	11.5	27.2	14.8	26.4	12.6	13.2	2.4
25	19.0	0.8	34.3	14.3	30.8	16.0	34.7	21.0	33.9	17.8	16.5	3.5
30	23.0	1.4	40.1	16.5	37.8	20.3	42.2	26.4	41.4	22.4	20.0	4.6
35	29.0	4.0	45.1	18.0	43.4	23.7	48.5	30.9	47.6	26.6	25.5	7.1
40	35.0	6.7	50.1	19.3	49.0	26.8	54.8	35.1	53.9	30.4	30.0	9.6
45	46.0	12.6	53.8	20.0	53.9	28.9	59.7	38.3	58.7	33.4	41.2	18.6
50	57.0	19.0	57.6	20.7	57.6	30.9	64.6	41.4	63.5	36.2	52.5	27.0
55	66.0	26.0	60.6	20.8	60.5	31.7	67.8	43.0	66.7	37.8	61.5	32.6
60	75.0	32.8	63.5	20.9	63.4	32.3	71.1	44.4	69.9	39.4	70.5	39.5
65	83.7	37.8									77.8	44.8
70	92.5	42.6									85.1	49.9
75	99.8	46.8									91.3	53.4
80	107.1	51.3									97.6	57.1
85	110.9	52.8									100.9	58.7
90	1147	54.0									104.2	60.1
95	118.6	55.2									107.6	61.5

ANNEXE 2 :INFILTROMETRE A ASPERSION, PLUIE UTILE ET LAME RUISSELE AU PAS DE TEMPS DE 5 MINUTES.

Parcelle N°:2 Site N°: 1

Temps (en mn)	PLUIE 1D		PLUIE 2A		PLUIE 3A		PLUIE 4A		PLUIE 5A		PLUIE 6D	
	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)
5	3.0	0.0	3.3	0.0	3.2	0.0	3.3	0.6	3.3	0.0	3.5	0.7
10	6.0	0.0	6.7	0.5	6.4	0.7	6.6	2.6	6.7	1.4	7.0	3.0
15	9.0	0.6	16.2	6.0	15.9	8.1	16.6	10.7	16.7	8.7	10.5	5.2
20	12.0	1.5	25.7	11.4	25.5	16.7	26.6	19.8	26.7	17.3	14.0	7.6
25	15.0	2.8	33.2	15.6	32.5	23.1	34.1	26.8	34.2	24.2	17.5	10.0
30	18.0	4.0	40.7	19.7	39.5	28.9	41.6	34.7	41.7	30.1	21.0	12.7
35	24.0	8.4	46.7	26.8	45.1	33.5	47.9	41.3	47.9	35.4	26.0	16.5
40	30.0	11.8	52.7	25.6	50.8	38.1	54.2	46.8	54.2	40.4	31.0	20.3
45	42.0	20.2	57.2	27.9	55.6	41.7	59.2	51.3	58.9	44.5	42.6	29.9
50	54.0	28.4	61.7	29.9	60.5	45.1	64.2	55.6	63.7	48.2	54.3	39.9
55	64.0	35.6	65.0	31.3	63.6	47.2	67.5	58.3	67.0	50.9	62.8	48.2
60	74.0	42.8	68.3	32.6	66.8	49.1	70.9	60.9	70.3	53.5	71.3	55.8
65	82.0	49.4									79.3	62.9
70	90.0	56.3									87.3	69.7
75	97.3	62.7									93.5	75.3
80	104.6	68.5									99.8	80.5
85	107.6	71.2									103.3	83.6
90	110.6	73.1									106.8	86.5
95	113.6	75.0									110.3	89.1

ANNEXE 2 :INFILTROMETRE A ASPERSION, PLUIE UTILE ET LAME RUISSELE AU PAS DE TEMPS DE 5 MINUTES.

Parcelle N°:3 Site N°: 2

Temps (en mn)	PLUIE 1D		PLUIE 2A		PLUIE 3A *		PLUIE 4A		PLUIE 5A		PLUIE 6D	
	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)
5	2.8	0.0	3.4	0.0	4.0	0.0	3.5	0.0	3.0	0.0	3.2	0.0
10	5.7	0.0	6.8	0.0	8.0	0.8	7.0	1.1	6.0	0.0	6.4	0.1
15	8.4	0.0	17.3	2.6	17.3	3.3	17.0	7.5	16.0	4.7	9.6	0.4
20	11.2	0.0	27.8	7.2	26.7	6.1	27.0	15.1	26.0	10.8	12.8	0.8
25	14.0	0.0	35.3	10.8	34.2	10.5	34.3	21.4	33.5	16.2	16.0	1.5
30	17.0	0.0	42.8	14.3	41.7	16.0	41.6	27.4	41.0	21.1	19.2	2.4
35	22.0	0.0	49.4	16.7	48.3	23.3	47.8	32.3	47.2	25.4	24.2	4.8
40	27.0	0.0	56.1	19.5	55.0	31.0	54.1	36.6	53.5	29.7	29.2	7.7
45	38.6	2.1	61.0	21.2	60.0	37.1	58.7	40.2	58.0	32.9	34.2	10.4
50	50.3	5.7	65.9	22.7	65.0	42.6	63.4	43.1	62.5	35.8	45.8	18.4
55	59.4	8.1	69.3	23.8	69.0	45.2	66.9	45.4	65.6	37.4	55.5	27.7
60	68.6	10.5	72.7	24.4	73?0	47.1	70.4	47.3	68.6	38.4	66.5	34.8
65	76.1	12.5									75.5	41.4
70	83.6	14.9									83.0	47.0
75	89.2	16.3									90.5	52.4
80	94.9	17.1									96.8	56.6
85	97.7	17.4									103.1	60.5
90	100.5	17.5									106.3	62.3
95	103.4	17.5									109.5	63.4
100											112.7	64.7

* La séquence des intensités est: 40 mm/h, 60 mm/h, 75 mm/h, 120 mm/h, 90 mm/h, 40 mm/h.

ANNEXE 2 :INFILTROMETRE A ASPERSION, PLUIE UTILE ET LAME RUISSELE AU PAS DE TEMPS DE 5 MINUTES.

Parcelle N°:4 Site N°: 2

Temps (en mn)	PLUIE 1D		PLUIE 2A		PLUIE 3A		PLUIE 4A		PLUIE 5A		PLUIE 6D	
	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)
5	3.6	0.0	3.8	0.0	3.5	0.0	3.5	0.1	3.5	0.0	3.6	0.0
10	7.2	0.0	7.0	0.0	7.0	0.2	7.0	0.9	7.0	0.0	7.1	0.9
15	10.8	0.0	17.4	2.4	16.5	3.0	17.0	6.6	17.0	3.6	10.7	2.1
20	14.5	0.0	27.8	6.1	26.0	7.8	27.0	13.5	27.0	8.4	14.3	3.5
25	18.0	0.0	35.8	9.3	33.5	12.2	34.3	19.2	34.3	12.0	17.9	5.1
30	22.0	0.0	43.8	12.5	41.1	16.4	41.6	24.5	41.6	15.5	21.5	6.6
35	27.6	0.0	49.8	15.1	47.3	20.1	47.8	29.2	47.9	19.1	26.3	9.6
40	33.3	0.0	55.8	17.6	53.6	26.7	54.1	33.5	54.3	22.3	31.2	12.6
45	44.6	0.3	60.6	19.6	58.7	29.4	58.7	16.7	59.1	24.6	42.8	21.4
50	55.9	2.5	65.5	21.5	63.8	31.8	63.4	39.6	63.9	26.5	54.5	31.1
55	64.9	5.8	69.0	22.8	67.3	33.7	66.9	41.4	67.4	27.9	63.2	38.8
60	73.9	10.5	72.5	23.8	70.8	35.0	70.4	43.1	70.9	29.1	72.0	46.0
65	82.1	12.6									79.6	52.3
70	90.4	14.6									87.3	58.3
75	96.6	16.1									93.6	63.4
80	102.9	17.2									99.9	68.9
85	106.5	17.6									103.3	71.5
90	110.2	17.7									107.0	93.6
95	113.9	17.8									110.6	75.6

ANNEXE 2 :INFILTROMETRE A ASPERSION, PLUIE UTILE ET LAME RUISSELE AU PAS DE TEMPS DE 5 MINUTES.

Parcelle N°: 5 Site N°: 3

Temps (en mn)	PLUIE 1D		PLUIE 2A		PLUIE 3A		PLUIE 4A		PLUIE 5A		PLUIE 6D	
	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)
5	3.2	0.0	3.3	0.0	3.7	0.1	3.0	0.0	3.0	0.0	3.0	0.0
10	6.3	0.0	6.6	0.7	7.5	1.9	6.0	1.1	6.1	1.1	6.0	1.4
15	9.4	0.0	16.6	5.9	17.5	8.6	16.0	8.1	16.1	8.8	9.0	3.1
20	12.5	0.0	26.6	12.7	27.5	16.1	26.0	16.3	26.1	17.9	12.0	5.0
25	15.6	0.0	34.1	18.5	35.0	22.2	33.0	22.8	33.6	24.8	15.0	6.9
30	19.0	0.0	41.6	24.2	42.5	27.6	40.0	29.0	41.1	31.3	18.0	9.0
35	24.0	0.2	47.6	28.9	48.7	32.4	45.6	34.1	47.3	36.7	23.0	12.5
40	29.0	0.8	53.6	33.2	55.0	37.1	51.3	39.0	53.6	42.3	28.0	16.2
45	39.5	4.9	58.6	36.5	59.8	40.6	55.6	42.7	58.4	46.5	39.7	25.1
50	50.0	10.7	63.6	39.5	64.7	44.0	60.0	46.5	63.2	50.8	51.4	35.6
55	59.3	15.3	66.9	41.4	68.4	46.7	63.0	48.7	66.2	53.1	60.4	44.0
60	68.6	19.7	70.3	43.0	72.2	49.2	66.0	50.6	69.3	55.0	69.4	52.8
65	76.1	23.1									76.9	57.9
70	83.6	26.4									84.4	64.0
75	89.6	29.2									90.9	68.9
80	95.6	31.3									97.4	73.5
85	98.7	32.4									100.4	76.0
90	101.8	32.5									103.4	78.0
95	105.1	32.5									106.4	80.0

ANNEXE 2 :INFILTROMETRE A ASPERSION, PLUIE UTILE ET LAME RUISSELE AU PAS DE TEMPS DE 5 MINUTES.

Parcelle N°: 6 Site N°: 3

Temps (en mn)	PLUIE 1D		PLUIE 2A		PLUIE 3A		PLUIE 4A		PLUIE 5A		PLUIE 6D	
	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)
5	3.3	0.0	3.2	0.0	4.0	0.0	3.3	0.0	3.1	0.0	3.3	0.0
10	6.7	0.0	6.4	0.0	8.0	0.0	6.7	0.0	6.2	0.0	6.6	0.0
15	9.9	0.0	16.4	0.6	18.0	0.6	16.7	2.8	16.2	2.1	9.9	0.3
20	13.2	0.0	26.4	4.0	28.0	3.3	26.7	8.4	26.2	7.5	13.2	0.6
25	16.5	0.0	33.9	7.0	35.5	5.1	34.2	12.5	33.7	11.7	16.5	1.0
30	20.0	0.0	41.4	10.2	43.0	6.8	41.7	15.4	41.2	16.4	20.0	1.5
35	24.8	0.0	47.6	12.6	49.2	8.1	47.9	18.0	47.4	17.2	25.0	2.7
40	29.6	0.3	53.9	14.9	55.5	9.4	54.2	20.6	53.7	19.8	30.0	4.6
45	40.0	5.0	58.9	16.3	60.3	10.3	59.2	22.5	58.7	21.8	42.6	12.3
50	50.4	11.1	63.9	17.2	65.2	11.0	64.2	24.1	63.7	23.7	55.3	21.5
55	59.4	16.2	67.1	17.5	69.2	11.6	67.5	25.1	66.9	24.7	64.8	28.0
60	68.4	21.1	70.3	17.6	73.2	12.0	70.9	25.8	69.9	25.2	74.3	33.9
65	75.9	24.7									82.3	38.7
70	83.27	27.6									90.3	43.1
75	89.6	30.1									96.5	46.6
80	95.8	32.3									102.8	49.8
85	99.1	33.3									106.1	51.3
90	102.4	33.5									109.4	51.9
95	105.8	33.7									112.8	52.5

ANNEXE 2 :INFILTROMETRE A ASPERSION, PLUIE UTILE ET LAME RUISSELE AU PAS DE TEMPS DE 5 MINUTES.

Parcelle N°: 7 Site N°: 4

Temps (en mn)	PLUIE 1D		PLUIE 2A		PLUIE 3A		PLUIE 4A		PLUIE 5A		PLUIE 6D	
	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)
5	3.5	0.0	3.0	0.0	3.1	0.0	3.2	0.2	3.3	0.0	3.1	0.5
10	7.0	0.0	6.0	0.5	6.2	0.1	6.5	1.7	6.5	0.3	6.2	2.2
15	10.5	0.0	16.0	7.5	16.2	6.1	16.5	8.1	16.5	5.0	9.3	4.1
20	14.0	0.1	26.0	16.0	26.2	13.1	26.5	14.8	26.5	10.6	12.4	6.0
25	17.5	0.2	33.7	22.5	33.4	18.1	34.0	20.4	33.7	15.3	15.5	8.0
30	21.0	0.5	41.5	28.4	40.7	22.8	41.5	25.7	41.0	19.8	18.7	10.2
35	26.0	1.3	48.0	33.5	46.9	27.0	47.7	30.0	47.2	23.7	23.7	13.9
40	31.0	2.5	54.5	38.4	53.2	31.2	54.0	34.3	53.5	27.5	28.7	17.9
45	43.2	9.3	59.3	42.4	58.4	34.6	59.0	38.1	58.6	30.9	40.7	27.7
50	55.5	17.1	64.2	46.3	63.7	38.0	64.0	41.9	63.8	34.2	52.7	38.3
55	64.5	23.9	67.2	48.2	66.8	39.8	67.2	44.0	67.0	36.1	61.7	46.6
60	73.5	30.8	70.2	49.8	69.9	41.4	70.5	45.9	70.3	37.6	70.7	54.6
65	80.7	35.2									78.2	61.3
70	87.9	39.4									85.7	67.7
75	94.3	43.1									92.2	73.3
80	100.7	46.7									98.7	78.7
85	104.2	48.2									101.8	81.3
90	107.7	49.4									104.9	83.5
95	112.1	50.7									108.1	85.7

ANNEXE 2 :INFILTROMETRE A ASPERSION, PLUIE UTILE ET LAME RUISSELE AU PAS DE TEMPS DE 5 MINUTES.

Parcelle N°: 8 Site N°: 4

Temps (en mn)	PLUIE 1D		PLUIE 2A		PLUIE 3A		PLUIE 4A		PLUIE 5A		PLUIE 6D	
	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)	Pu (mm)	Lr (mm)
5	4.0	0.0	3.1	0.0	3.3	0.0	3.3	0.3	3.3	0.0	3.3	0.0
10	8.0	0.0	6.2	0.1	6.7	0.9	6.5	1.9	6.7	0.4	6.7	0.1
15	12.0	0.0	16.9	6.1	17.4	7.5	16.6	9.3	16.7	4.5	9.9	0.4
20	16.0	0.0	27.7	13.8	28.2	15.6	26.7	18.0	26.7	9.9	13.2	0.7
25	20.0	0.1	35.5	19.6	35.9	21.7	34.7	25.3	34.2	14.7	16.5	1.3
30	24.0	0.2	43.4	25.7	43.7	27.2	42.7	32.6	41.7	19.5	20.0	2.0
35	29.0	1.7	49.9	30.6	49.9	31.9	48.9	38.2	47.9	23.7	25.0	4.1
40	34.0	3.3	56.4	35.4	56.2	36.4	55.2	43.5	54.2	27.9	30.0	6.7
45	46.6	10.3	61.6	39.2	61.4	40.5	60.7	48.4	59.5	31.4	41.6	14.4
50	59.3	18.5	66.9	42.8	66.7	44.4	66.2	53.3	64.9	34.9	53.3	23.3
55	68.6	26.3	70.0	44.8	70.0	46.6	69.4	56.2	68.2	36.7	62.3	31.1
60	77.9	33.5	73.1	46.5	73.4	48.6	72.7	58.6	71.6	38.3	71.3	38.7
65	85.9	38.6									78.8	44.9
70	93.9	43.6									86.3	50.9
75	100.1	47.8									92.5	56.2
80	106.4	51.6									98.8	61.7
85	110.4	53.8									102.1	64.2
90	114.4	55.4									105.4	66.0
95	118.4	57.1									108.8	67.8

ANNEXE 3 :TABLEAU DES PARAMETRES MESURES POUR LADETERMINATION DE LA DENSITE DES SOLS(avec un gammadensimètre).

Etalonnage DR 18
Echelle de comptage 510
THT 570-Temps 60", seuil 0.4.

Parcelle	Profondeur 55(cm)	N (cpm)	C (cpm)	BF (cpm)	Nvrai (cpm)	ρ_γ	Hp (%)	ρ_s
P1	0-20	17234	600	292	17542	1.37	2.54	1.33
	20-40	14758	420	288	14890	1.51	1.07	1.49
	40-60	14123	390	293	14220	1.54	1.64	1.51
	60-80	12856	335	287	12904	1.62	1.72	1?58
P2	0-20	16214	515	306	16423	1.42	1.36	1.39
	20-40	14215	395	293	14317	1.54	1.94	1.50
	40-60	13477	360	284	13553	1.59	2.69	1.54
	60-80	13097	340	297	13140	1.60	2.69	1.55
P3	0-20	13559	370	282	13647	1.59	1.97	1.55
	20-40	14316	400	296	14420	1.54	1.23	1.51
	40-60	15173	455	295	15333	1.48	2.14	1.44
	60-80	14742	420	283	14879	1.51	1.91	1.47
P4	0-20	13455	360	303	13512	1.59	6.72	1.48
	20-40	14700	420	294	14826	1.51	8.21	1.38
	40-60	13446	360	304	13502	1.59	1.38	1.56
	60-80	12902	340	316	12926	1.62	1.39	1.59
P5	0-20	17405	605	308	17702	1.34	3.46	1.29
	20-40	13679	375	294	13780	1.59	1.83	1.55
	40-60	12344	300	318	12326	1.65	2.94	1.59
	60-80	12103	285	316	12072	1.68	5.04	1.59
P6	0-20	14331	400	307	14424	1.54	8.99	1.40
	20-40	10338	210	321	10227	1.80	5.23	1.70
	40-60	9415	175	328	9262	1.88	10.25	1.68
	60-80	9963	195	321	9837	1.83	8.48	1.67
P7	0-20	11022	250	323	10949	1.75	1.30	1.72
	20-40	15987	510	326	16171	1.43	3.74	1.70
P8	0-20	9388	170	316	9242	1.88	1.75	1.84
	20-40	8843	155	329	8669	1.94	6.05	1.81
	40-60	8176	125	351	7950	2.01	9.33	1.82

ANNEXE 4 : HUMIDITE PONDERALE DES ECHANTILLONS.

PARCELLE N° : 1 SITE : 1

Profondeur (cm)	PLUIE 1B	PLUIE 2A	PLUIE 3A	PLUIE 4A	PLUIE 5A	PLUIE 6B
	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)
5	0.53	3.22	7.01	9.24	4.81	7.26
10	0.62	2.93	5.33	6.23	4.71	6.85
15	0.75	3.13	4.21	5.00	4.53	4.46
20	1.34	3.35	4.41	5.01	4.29	4.33
30	1.69	4.15	5.10	5.28	4.56	4.82
40	2.02	4.97	5.49	5.79	5.13	5.52
50	1.85	5.17	5.73	5.95	5.40	6.47
60	1.82	5.40	5.34	5.60	5.55	6.48
70	2.05	5.08	5.25	5.17	5.62	6.18
80	2.05	5.14	4.86	4.92	5.55	5.95

PARCELLE N° : 2 SITE : 1

Profondeur (cm)	PLUIE 1B	PLUIE 2A	PLUIE 3A	PLUIE 4A	PLUIE 5A	PLUIE 6B
	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)
5	0.61	7.04	10.14	11.94	8.46	11.55
10	0.64	6.28	5.69	8.19	6.84	7.48
15	0.71	3.94	4.92	5.24	5.36	5.97
20	0.73	4.26	5.12	4.42	4.19	5.70
30	0.81	4.72	5.81	4.31	3.57	6.22
40	0.96	6.06	6.64	4.84	4.11	7.07
50	0.83	6.51	6.96	4.35	3.34	7.37
60	0.79	6.24	7.42	2.59	2.94	7.32
70	0.75	5.58	6.77	1.99	2.57	6.87
80	0.75	4.23	6.85	1.98	2.20	6.74

ANNEXE 4 : HUMIDITE PONDERALE DES ECHANTILLONS.

PARCELLE N° : 3 SITE : 2

Profondeur (cm)	PLUIE 1B	PLUIE 2A	PLUIE 3A	PLUIE 4A	PLUIE 5A	PLUIE 6B
	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)
5	0.34	4.47	5.46	7.50	3.92	7.02
10	0.32	3.82	4.72	6.81	4.46	7.10
15	0.34	4.34	4.37	6.31	4.60	6.71
20	0.43	4.02	4.32	5.14	4.89	5.88
30	0.42	4.55	4.91	5.90	5.53	6.06
40	0.51	5.23	5.25	6.24	6.33	6.84
50	0.65	5.72	5.35	6.50	6.45	7.25
60	0.59	6.19	5.69	6.36	6.57	7.79
70	0.65	6.04	5.43	6.44	6.77	7.48
80	0.62	6.16	5.94	7.09	6.90	7.55

PARCELLE N° : 4 SITE : 2

Profondeur (cm)	PLUIE 1B	PLUIE 2A	PLUIE 3A	PLUIE 4A	PLUIE 5A	PLUIE 6B
	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)
5	0.36	5.83	4.36	9.12	5.76	9.30
10	0.39	4.60	3.61	5.10	4.21	6.36
15	0.33	3.10	1.88	5.68	3.91	5.47
20	0.37	3.30	2.11	4.34	4.40	7.95
30	0.53	4.08	1.79	5.30	5.32	5.88
40	0.73	4.94	1.66	6.19	6.10	6.68
50	0.82	5.74	1.50	7.12	6.40	7.15
60	0.86	5.95	1.45	6.66	6.18	7.36
70	0.96	6.03	1.42	6.35	6.39	8.71
80	0.13	5.91	1.32	6.49	6.36	6.99

ANNEXE 4 . : HUMIDITE PONDERALE DES ECHANTILLONS.

PARCELLE N° : 5 SITE : 3

Profondeur (cm)	PLUIE 1B	PLUIE 2A	PLUIE 3A	PLUIE 4A	PLUIE 5A	PLUIE 6B
	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)
5	1.09	17.55	24.14	13.27	11.43	20.02
10	2.23	11.19	12.60	11.46	9.75	9.84
15	3.85	8.45	8.19	9.86	7.48	7.82
20	3.33	9.78	7.54	6.98	6.22	8.55
30	3.17	7.86	8.54	8.18	7.80	9.09
40	3.00	7.83	8.06	8.71	8.18	8.46
50	4.08	6.17	6.82	8.63	7.81	8.31
60	5.53	2.83	8.95	9.31	6.88	9.11
70	8.20	2.77	8.75	9.25	8.36	8.99
80	10.03	3.55	8.97	8.97	8.00	8.94

PARCELLE N° : 6 SITE : 3

Profondeur (cm)	PLUIE 1B	PLUIE 2A	PLUIE 3A	PLUIE 4A	PLUIE 5A	PLUIE 6B
	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)
5	4.42	18.96	21.89	22.66	22.04	22.14
10	4.84	16.39	19.75	18.45	15.68	18.49
15	4.04	14.88	17.03	12.13	10.52	14.69
20	3.25	7.40	10.66	10.79	8.48	11.66
30	3.05	4.48	8.55	10.50	8.73	10.27
40	5.14	3.68	10.23	12.46	10.64	12.68
50	5.34	3.72	11.90	10.31	11.75	13.02
60	7.67	4.06	11.61	9.39	9.92	11.93
70	8.51	4.82	8.46	7.81	8.99	10.00
80	13.30	7.83	8.21	7.06	9.30	7.56

ANNEXE 4 : HUMIDITE PONDERALE DES ECHANTILLONS.

PARCELLE N° : 7 SITE : 4

Profondeur (cm)	PLUIE 1B	PLUIE 2A	PLUIE 3A	PLUIE 4A	PLUIE 5A	PLUIE 6B
	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)
5	1.63	6.95	5.31	10.85	4.50	8.79
10	3.14	4.68	5.07	6.40	4.68	5.88
15	3.82	4.99	5.52	5.87	4.97	5.75
20	3.69	5.64	5.95	6.61	5.40	6.85
30	3.78	6.51	6.26	7.00	5.93	7.19
40	3.89	7.46	7.33	9.16	7.05	7.64
50			10.17	10.02	8.53	9.41
60			11.05	12.49	10.59	11.41

PARCELLE N° : 8 SITE : 4

Profondeur (cm)	PLUIE 1B	PLUIE 2A	PLUIE 3A	PLUIE 4A	PLUIE 5A	PLUIE 6B
	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)	Hp (%)
5	5.08	6.14	5.19	6.10	3.05	6.66
10	4.86	5.10	5.25	5.38	4.78	5.44
15	4.66	5.05	5.73	5.68	4.94	5.32
20	4.09	5.23	6.56	5.90	6.02	6.09
30	5.48	5.72	8.64	6.50	6.18	6.41
40	6.01	7.71	13.33	8.81	7.78	9.86
50			14.88	11.79	11.94	15.49
60			16.47	14.24	15.06	17.81

ANNEXE 5 :TABLEAU DES MESURES SUR LE MARBRE ET LE CALCAIRE POUR LA COURBE D'ETALONNAGE.(annexe suivant).

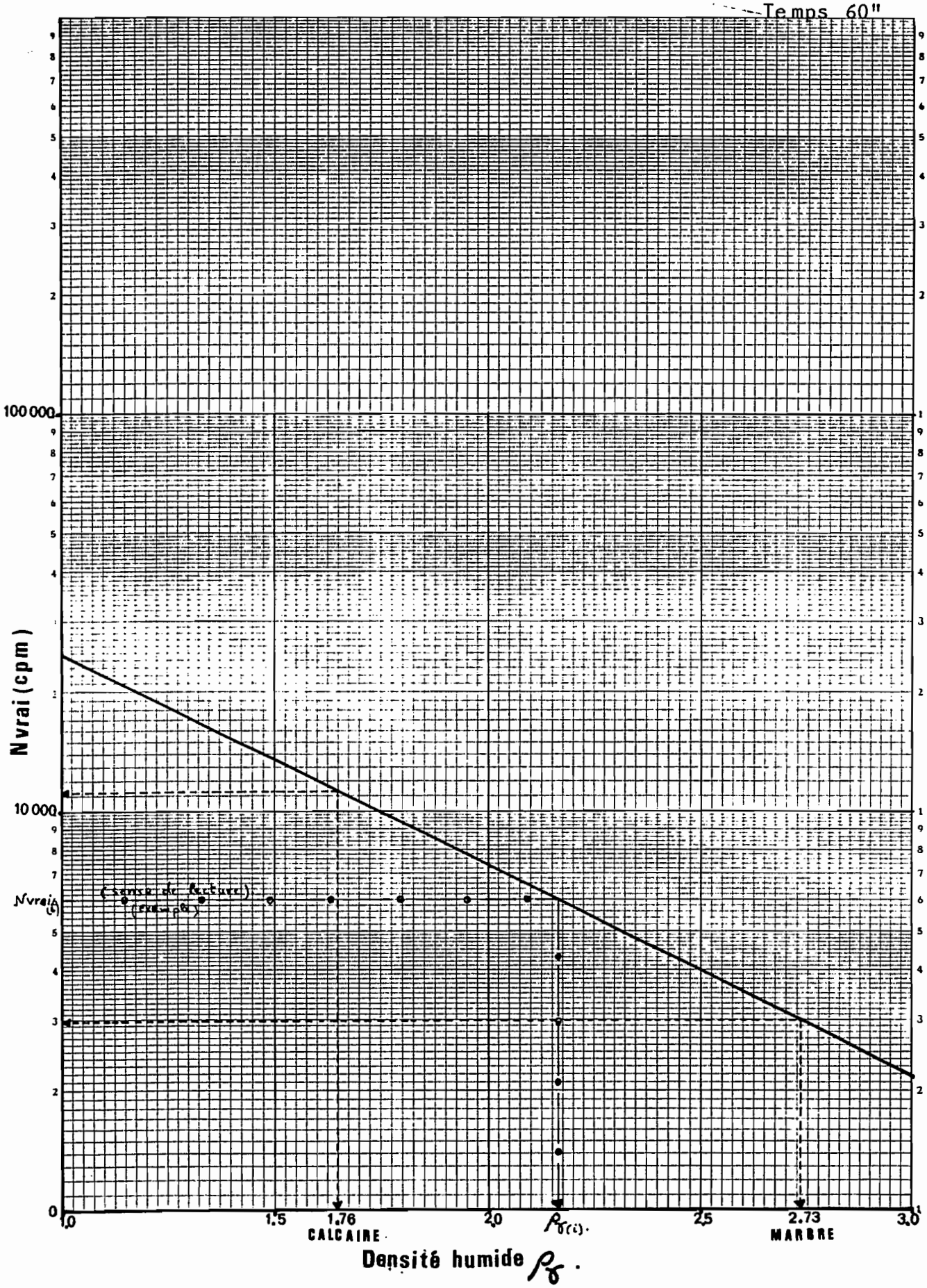
Mesures	Résultats (cpm) (répétitions).	Moyenne N (cpm)	Correction C en(cpm)	Nvrai (cpm)
BF(marbre)	400 396 441	412		
MARBRE	3612 3544 3585	3580	23	3191
CALCAIRE	10552 10238 10400	10397	210	10176
BF(calcaire)	418 435 441	431		

N.B: $\boxed{Nvrai = N + C - BF}$

$$\boxed{\rho_s = \frac{\rho_\gamma \times 100}{100 + 1.1Hp}}$$

ANNEXE 6:Courbe d'étalonnage du gamma densimètre

Etalonnage du DR 18
Echelle de comptage 510
THT 570
Seuil 0.4
Temps 60"



ANNEXE 7:TABLEAUX DE TRADUCTION DES COURBES H.D.F OU I.D.F DES STATIONS VOISINES DE BOUNA.

Ferkéssédougou -averse décennale- (durée étudiée 10 ans)

Temps en mn	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	90	95
Hauteur en mm	22	32	40	47	51	52	60	61	65	85	120	125
Intensité en mm/h	264	192	160	141	122	104	103	92	86	85	80	79

Ferkéssédougou -averse annuelle- (durée étudiée 10 ans)

Temps en mn	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	90	95
Hauteur en mm	14	20	25	30	33	36	41	42	45	51	65	70
Intensité enmm/h	168	120	100	90	79	72	70	63	60	51	43	43

Pour l'isohyète annuelle de 1114 mm -averse annuelle-(BRUNET MORET,1963)

Temps en mn	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	90	95
Intensité en mm/h		102	82	72	64	60	55	52	48	41	30	29
Hauteur en mm		17	21	24	27	30	32	35	36	41	45	46

Pour l'isohyète annuelle de 1114 mm -averse décennale-(BRUNET MORET,1963

Temps en mn	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	90	95
Intensité en mm/h		160	110	94	82	78	71	67	62	54	44	43
Hauteur en mm		27	28	31	34	39	41	45	47	54	66	68

Gaoua -averse décennale- (durée étudiée 16 ans)

Temps en mn	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	90	95
Hauteur en mm	28	37	42	50	51	53	55	56	60	65	71	72
Intensité en mm/h	336	222	168	150	122	106	94	84	80	65	47	45

Gaoua -averse annuelle- (durée étudiée 16 ans)

Temps en mn	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	90	95
Hauteur en mm	15	21	25	32	35	37	40	42	44	47	49	50
Intensité en mm/h	180	126	100	96	84	74	69	63	58	47	33	32

Korhogo -averse décennale- (durée étudiée 6 ans)

Temps en mn	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	90	95
Hauteur en mm	21	30	36	41	47	50	51	55	60	70	77	78
Intensité en mm/h	252	180	144	123	113	100	87	82	80	70	51	49

ANNEXE 7 :TABLEAUX DE TRADUCTION DES COURBES H.D.F OU I.D.F DES STATIONS VOISINES DE BOUNNA

Korhogo -averse annuelle- (durée étudiée 6 ans)

Temps en mn	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	90	95
Hauteur en mm	14	19	23	28	31	32	35	40	41	47	51	52
Intensité en mm/h	168	114	92	84	74	64	60	60	55	47	34	33

ANNEXE 8 :TABLEAUX DES HYETOGRAMMES CLASSES DES STATIONS VOISINES DE BOUNA.

Gaoua(durée étudiée 16 ans)

Averse décennale	Tranches de durée en mn	20	10	10	20		
	Intensité en mm/h	150	18	18	27		
Averse annuelle	Tranches de durée en mn	10	10	10	10	20	30
	Intensité en mm/h	126	66	30	30	15	4

Korhogo(durée étudiée 6 ans)

Averse décennale	Tranches de durée en mn	15	10	20	10	30	
	Intensité en mm/h	144	66	39	60	14	
Averse annuelle	Tranches de durée en mn	10	10	10	10	20	30
	Intensité en mm/h	114	54	48	36	27	18

Ferkéssédougou(durée étudiée 10 ans)

Averse décennale	Tranches de durée en mn	20	10	10	20	16	
	Intensité en mm/h	141	30	54	72	70	
Averse annuelle	Tranches de durée en mn	10	10	10	10	10	30
	Intensité en mm/h	120	60	36	36	36	28

Isohyète 1114 mm (BRUNET MORET , 1963)

Averse décennale	Tranches de durée en mn	10	10	10	10	20	30
	Intensité en mm/h	150	36	48	36	27	24
Averse annuelle	Tranches de durée en mn	10	10	10	10	10	30
	Intensité en mm/h	102	42	36	30	36	24

N.B:pour l'étude BRUNET MORET, on part des courbes I.D.F et pour le reste des stations, on part des courbes H.D.F.

ANNEXE 9:TABLEAU DE VARIATION DE L'INDICE D'HUMECTATION AU COURS DES ANNEES, 1961-1962-1963.

Année 1961		ta	Guidère		Boitao	
Mois	Jour	(en J)	P(mm)	IK	P(mm)	IK
Juin	18		4.5	0	3.3	0
	20	2	39.7	1.6	35.6	1.2
	23	3	21.4	9.2	16.2	8.2
	25	2	11.3	11.3	10.5	8.9
	28	3	1.8	5.0	1.4	4.3
	30	2	2.0	2.5	2.3	2.1
Juillet	3	3	15.5	1.0	14.4	0.9
	15	12	0.6	0.0	1.0	0.0
	16	1	2.7	0.4	2.3	0.6
	17	1	4.2	1.9	14.7	1.7
	18	1	3.4	3.7	2.7	9.9
	19	1	9.5	4.3	4.6	7.6
	20	1	30.9	8.3	24.9	7.3
	24	4	21.0	5.3	17.8	4.3
	25	1	7.6	15.9	9.0	13.4
	31	6	0.6	1.2	1.5	1.1
Aout	3	5	1.3	0.4	2.0	0.5
	8	5	1.7	0.1	0.8	0.2
	12	4	0.3	0.2	0.4	0.1
	14	2	0.5	0.2	0.5	0.2
	18	4	28.0	0.1	19.0	0.1
	24	6	42.8	1.4	30.8	0.9
	27	3	28.2	9.8	26.7	7.0
Septembre	3	7	17.3	1.1	15.8	1.0
	8	5	11.5	1.5	13.5	1.3
	10	2	6.6	4.7	10.7	5.4
	11	1	0.6	6.8	1.7	9.7
	13	2	26.4	2.7	17.1	4.2
	15	2	59.7	10.7	48.8	7.8
	17	2	11.2	25.8	11.0	20.8
	18	1	11.9	22.4	14.1	19.3
	21	3	18.3	7.6	23.7	7.4
	22	1	11.0	15.7	8.5	18.8
	25	3	6.1	5.9	5.4	6.1
	26	1	10.2	7.2	11.7	6.9
Octobre	2	6	19.5	0.8	13.4	0.9
	6	4	1.1	2.7	0.5	1.9
	8	2	2.4	1.4	3.3	0.9
	9	1	8.0	2.3	4.9	2.5
	12	3	11.3	2.3	7.0	1.6
	13	1	3.3	8.2	3.3	5.2
	14	1	1.1	6.9	0.7	5.1
	18	4	3.4	1.1	3.2	0.8
Novembre	8	21	17.4	0.0	13.2	0.0
	30	22	0.4	0.0	1.3	0.0

ANNEXE 9 :(suite).

Année 1962		ta	Guidère		Boitao	
Mois	Jour	(en J)	P(mm)	IK	P(mm)	IK
Avril	5	0	4.8	0	6.8	0
	6	1	1.5	2.9	25.5	1.9
	8	2	17.9	1.6	25.5	1.9
	16	8	0.1	0.3	0.3	0.5
	17	1	27.7	0.2	27.4	0.5
	20	3	13.1	6.2	9.1	6.2
	21	1	19.3	11.7	15.8	9.2
	23	2	26.5	11.4	16.6	9.2
	25	2	1.6	13.9	1.8	9.5
	28	3	0.8	3.4	2.7	2.5
Mai	2	4	40.4	0.5	41.2	0.7
	3	1	1.3	24.8	0.8	25.4
	7	4	30.4	3.5	18.6	3.5
	9	2	51.3	12.5	44.9	8.1
	12	3	21.5	14.2	11.9	11.8
	21	9	3.4	0.4	5.9	0.3
	23	2	2.3	1.4	20.8	2.3
	27	4	18.2	2.9	18.7	3.1
	29	2	2.8	7.7	7.3	8.0
Juin	6	8	4.0	0.2	4.2	0.3
	8	2	23.8	1.5	26.9	1.6
	9	1	6.4	15.3	6.1	17.2
	11	2	14.4	7.9	15.2	8.6
	13	2	46.2	8.2	55.6	8.7
	16	3	3.7	12.1	3.3	14.3
	20	4	18.1	2.1	18.2	2.4
	22	2	12.9	7.4	13.2	7.5
	26	4	46.3	2.7	42.2	2.8
	29	3	42.5	10.9	43.3	10.0
Juillet	1	2	32.9	19.6	28.2	19.6
	4	3	7.9	11.7	3.1	10.6
	6	2	11.6	7.2	13.0	5.0
	8	2	7.6	6.9	5.1	6.6
	14	6	0.4	0.7	1.3	0.6
	18	4	2.6	0.1	1.3	0.3
	26	8	23.5	0.0	23.0	0.0
Aout	1	6	4.1	1.1	6.3	1.1
	2	1	35.5	3.1	34.0	4.5
	17	15	83.9	0.0	84.4	0.0
	18	1	2.1	50.8	2.3	51.2
	19	1	3.2	30.2	6.6	32.4
	20	1	28.4	21.3	29.4	23.6
	24	4	21.5	6.7	21.9	7.2
	27	3	5.6	6.3	8.4	6.5
	29	2	2.5	4.3	2.0	5.5

ANNEXE 9 :(suite).

Année 1962		ta	Guidère		Boitao	
Mois	Jour	(en J)	P(mm)	IK	P(mm)	IK
Septembre	1	3	12.4	1.5	11.1	1.7
	3	2	13.1	5.1	16.6	4.7
	7	4	11.6	2.4	11.2	2.9
	9	2	33.3	5.1	35.1	5.2
	11	2	14.5	14.1	18.0	14.8
	13	2	35.7	10.5	26.3	12.0
	18	5	6.3	3.8	6.3	3.1
	19	1	7.9	6.1	15.4	5.7
	21	2	27.1	5.1	33.6	7.7
	22	1	4.2	19.5	3.9	25.0
	25	3	10.6	5.2	9.2	6.4
	26	1	16.3	9.6	20.1	9.5
	27	1	10.8	15.7	3.6	17.9
	28	1	10.7	16.0	13.0	13.0
Octobre	2	4	7.8	3.6	10.1	3.5
	4	2	24.5	4.2	27.4	5.0
	5	1	10.8	17.4	6.3	19.6
	6	1	6.5	17.1	4.9	15.7
	7	1	77.8	14.3	70.3	12.5
	9	2	30.3	33.9	28.0	30.4
	13	4	4.6	8.6	3.3	7.9
	14	1	12.4	8.0	9.4	6.8
	19	5	7.5	1.7	4.8	1.3
	20	1	10.2	5.8	5.0	3.7
	23	3	7.2	3.5	16.9	1.9
	24	1	8.8	6.5	3.3	11.4
Novembre	3	10	12.8	0.1	11.7	0.1
	6	3	20.0	2.8	19.2	2.6
	7	1	21.4	13.8	16.2	13.2
	10	3	1.5	7.8	4.4	6.6
	13	3	2.3	2.0	6.1	2.4
	14	1	0.5	2.6	1.0	5.1
	15	1	3.0	1.9	9.0	3.7
	18	3	6.2	1.1	5.5	2.8
	21	3	1.1	1.6	0.2	1.8
	25	4	8.4	0.4	8.8	0.3

ANNEXE 9 :(suite)

Année 1963		ta	Guidère		Boitao	
Mois	Jour	(en J)	P(mm)	IK	P(mm)	IK
Mai	2	0	32.5	0.0	28.8	0.0
	6	4	3.2	4.3	2.8	3.9
	7	1	28.3	4.5	28.6	0.9
	14	7	2.9	1.0	1.9	0.9
	15	1	16.3	2.3	16.1	1.7
	19	4	26.7	2.5	24.2	2.4
	20	1	3.4	17.7	1.7	16.1
	23	3	3.4	4.7	4.6	3.9
	26	3	22.1	1.8	20.1	1.9
	29	3	8.0	5.7	8.4	4.9
	30	1	59.6	8.0	50.2	8.0
Juin	3	4	16.4	9.1	13.8	7.9
	9	6	18.3	1.3	9.6	1.1
	10	1	1.3	11.9	5.9	6.5
	12	2	15.1	4.8	14.2	3.8
	17	5	33.0	1.6	37.7	1.5
	20	3	7.0	7.2	6.4	8.7
	22	2	8.5	5.2	4.8	5.6
	24	2	4.3	5.0	4.6	3.8
	26	2	10.2	3.4	19.8	3.1
	29	3	16.7	3.0	13.1	5.1
	30	1	13.6	11.9	14.1	11.0
Juillet	1	1	21.5	15.5	16.1	15.2
	5	4	60.1	5.0	74.5	4.2
	6	1	18 7	39.5	21.9	47.7
	10	4	130.4	7.8	144.7	9.4
	15	5	26.4	11.3	16.3	12.6
	21	6	0.1	1.8	0.4	1.4
	23	2	8.0	0.7	7.9	0.6
	24	1	6.6	5.3	5.9	5.2
	28	4	3.1	1.6	3.4	1.5
	29	1	18.1	7.7	15.3	2.9
	30	1	13.7	15.6	12.2	11.0
Aout	1	2	24.4	10.8	21.7	8.5
	2	1	6.5	21.3	6.9	18.3
	7	5	8.5	2.3	9.9	2.1
	9	2	20.4	3.9	22.3	4.4
	10	1	13.4	14.7	15.2	16.2
	13	3	0.5	6.3	1.2	7.0
	14	1	28.4	4.1	29.2	4.9
	19	5	47.3	2.7	24.7	2.8
	23	4	30.7	6.8	38.5	3.7
	25	2	12.5	13.8	10.4	15.5
	26	1	7.4	15.9	4.6	15.7
	28	2	47.0	8.5	48.0	7.4
	29	1	25.0	33.7	21.5	33.6
	30	1	37.0	35.6	41.5	33.4
	31	1	3.9	44.0	3.4	45.4

ANNEXE 9 :(suite)

Année 1963		ta	Guidère		Boitao	
Mois	Jour	(en J)	P(mm)	IK	P(mm)	IK
Septembre	2	2	53.6	17.6	68.2	17.9
	5	3	0.5	15.9	12.0	19.2
	6	1	31.2	9.9	44.6	18.9
	8	2	62.6	15.1	73.5	23.4
	10	2	10.7	28.6	9.6	35.6
	11	1	27.8	23.8	23.8	27.4
	14.	3	33.7	11.5	26.1	11.4
	15	1	1.1	27.4	0.5	22.7
	21	6	15.5	1.4	18.8	1.2
	26	5	22.8	1.4	15.4	1.6
	30	4	1.6	3.3	0.7	2.3
Octobre	1	1	62.0	2.9	61.0	1.8
	3	2	5.1	23.8	4.6	33.1
	4	1	14.1	17.5	12.7	16.6
	7	3	10.5	7.0	5.5	6.6
	10	3	18.0	3.9	12.8	2.7
	11	1	4.0	9.6	9.5	9.4
	12	1	2.0	8.2	3.1	11.5
	14	2	3.1	3.7	7.0	5.4
	22	8	21.2	0.1	16.1	0.2
	24	2	4.3	7.8	6.0	6.0
	25	1	7.4	7.3	13.3	7.3
	28	3	7.7	3.3	9.8	4.6
	30	2	59.2	3.9	42.2	5.3
	31	1	9.5	38.3	11.2	28.8

RESUME

Dans cette étude, les connaissances du rapport pluie-débit est faite à travers la simulation d'une série d'averses sur parcelles expérimentales jugées représentatives des unités morphostructurales d'un bassin versant.

L'utilisation de cette méthode permet d'appréhender les caractéristiques hydrodynamiques des sols. Cette étude sur les bassins versants de Varalé (Nord-Est Côte d'Ivoire) présente les résultats obtenus où des averses annuelles et décennales ont été simulées suivant des indices d'humectatiion du sol croissants.

Les sols de Varalé, à majorité sableux, présentent des différences de comportement hydrodynamique qui peuvent être schématisées de la manière suivante :

1) un fort ruisellement quand le sol présente une pellicule consolidée en surface (parcelle P2 et P5 avec un coefficient de 70 à 80 %)

2) un faible ruissellement sur les sols ayant un couvert végétal important (parcelle P6 avec un coefficient de ruissellement de 35 %)

3) un ruissellement moyen lié à un enracinement de gros calibre dû aux grosses touffes d'herbes (parcelles P3 et P4) ou au sol nu sur sable grossier (Parcelle P1) (avec un coefficient de ruissellement de 55 %)

4) un ruissellement intermédiaire entre (1) et (3) lié à la présence de gravillons et graviers dont le pourcentage de couverture donne sensiblement le pourcentage d'imperméabilisation (Parcelles P7 et P8 avec un coefficient de ruissellement de 65 %).

Ces différences sont aussi liées à la toposéquence. Elles conduisent à l'élaboration d'un modèle de calcul des lames ruisselées basé sur une intégration des différentes unités, complété par un calage sur les observations de quelques campagnes et permettent de quantifier le ruissellement du bassin versant.