

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION  
(O.R.S.T.O.M.)

CENTRE D'ADIPODOUME  
B.P. V51 ABIDJAN (Côte d'Ivoire)

---

Laboratoire d'Hydrologie

ÉTUDE DU RUISSELLEMENT SOUS PLUIES SIMULÉES  
SUR UN BASSIN VERSANT DE LA COMBA

A. CASENAVE\*

J. KONG\*\*

J.P. THIEBAUX\*\*

\* Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, B.P. V51, ABIDJAN

\*\* Centre ORSTOM de Brazzaville, B.P. 181, BRAZZAVILLE.

## S O M M A I R E

	Pages
I - INTRODUCTION .....	1
II - DESCRIPTION DU BASSIN .....	2
III - LA CAMPAGNE DE SIMULATION DE PLUIES .....	10
IV - ANALYSE DES DONNÉES DE BASE .....	14
V - APPLICATION DU MODÈLE SIMULATEUR À L'ÉTUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN .....	23
VI - CONCLUSION .....	29

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

---

## I. INTRODUCTION

Un grand nombre de projets de développement (routes, petits barrages, aménagement en vue de cultures irriguées, etc..) nécessitent l'estimation de la crue décennale. La méthode classique, utilisée par les hydrologues de l'ORSTOM, basée sur l'étude d'un bassin versant représentatif de la zone à aménager afin d'y déterminer les relations pluie-débit, nécessite des investissements onéreux et plusieurs années de mesures avant d'obtenir un résultat fiable. Depuis quelques années se développent à l'ORSTOM de nouvelles techniques devant permettre une réduction du coût et de la durée des études. L'utilisation de la simulation de pluie couplée à une cartographie des états de surface paraît être, à l'heure actuelle, parmi ces nouvelles techniques, l'une des plus prometteuse. Mise au point lors d'une étude des crues décennales en zone forestière de Côte d'Ivoire (CASENAVE, 1981) puis testée avec succès au Burkina Faso (CHEVALLIER, 1982 - ALBERGEL et *al.*, 1982, 1984), c'est cette nouvelle technique qui a été appliquée à l'étude d'un petit bassin versant de la région de Mindouli ; le bassin n° 2 de la Comba.

L'ensemble des bassins versants de la Comba avaient déjà fait l'objet d'études classiques entre octobre 1972 et juin 1976, dans le cadre du programme de recherche sur les mécanismes hydrologiques (MOLINIER, 1981).

Le présent rapport rédigé par A. CASENAVE, rend compte des résultats de la campagne de mesures sous pluies simulées effectuée en juillet-août 83 par J. KONG et A. CASENAVE. Le simulateur de pluie utilisé lors de cette campagne a été cons-

truit par J.P. THIEBAUX et la cartographie des états de surface du bassin a été assurée par C. VALENTIN, pédologue du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé.

## II. DESCRIPTION DU BASSIN

### 2.1. Situation du bassin et caractéristiques physiques (fig. 1)

Situé à une quinzaine de kilomètres à l'ouest de la ville de Mindouli le bassin 2 couvre une superficie de 1,18 km<sup>2</sup>. Son coefficient de compacité  $K_c = 1,28$  dénote un bassin relativement "compact". L'indice global de pente  $I_g = 34$  m/km montre que le relief est assez accentué. Ce bassin serait classé en R4 dans la classification ORSTOM.

### 2.2. Géologie (fig. 1)

D'après la carte géologique à 1/50.000<sup>e</sup> (SCOLARI, 1965) la géologie du bassin est simple. Près de 90% du substratum est constitué d'argilite, seule une bande au Sud-Est du bassin est constituée de calcaires marneux à cherts.

### 2.3. Végétation

La végétation est une savane arbustive. Le bassin contrairement aux deux autres bassins est dépourvu de galerie forestière. La végétation essentiellement graminéenne (*Hyparrhenia* sp.) a une densité très variable en liaison avec l'horizon de surface du sol. La densité est maximale dans les zones de sols à horizon humifère normal sans éléments grossiers en surface. Dès que le sol est en pente et présente une surface caillouteuse la densité des arbustes et la hauteur des graminées diminuent.

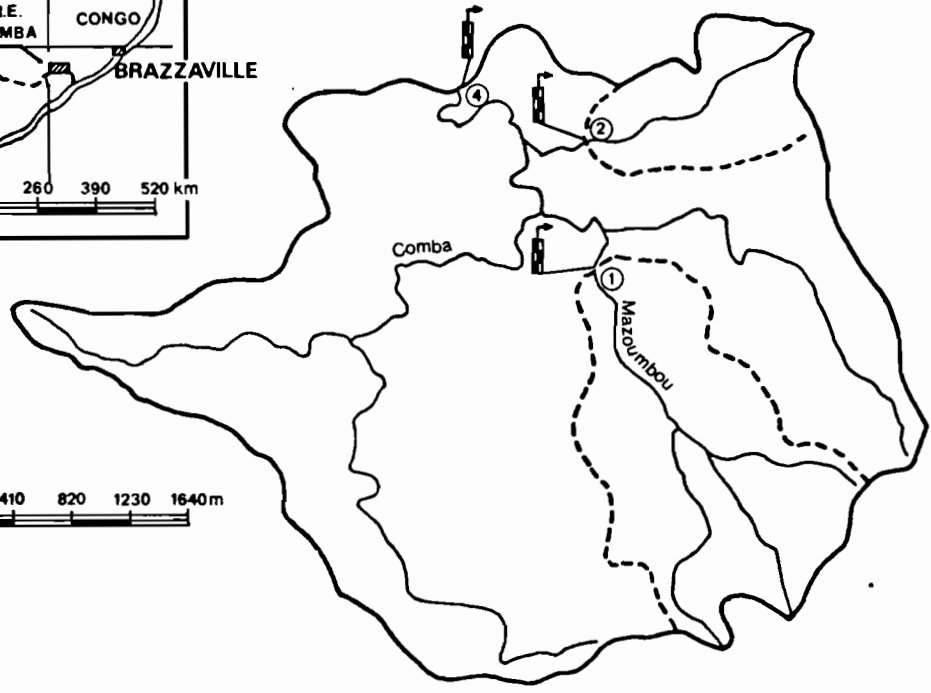
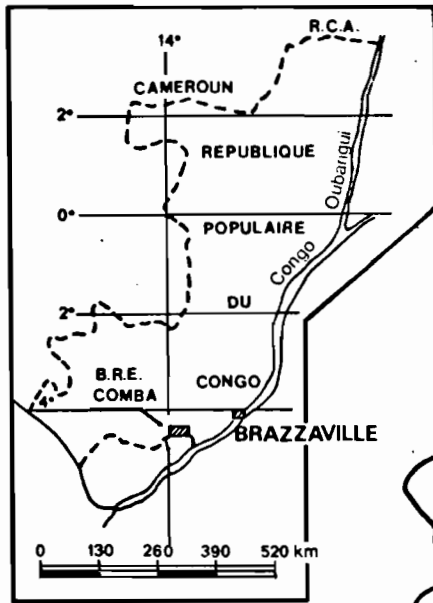
### 2.4. Pédologie (fig. 2)

La carte des sols a été dressée à 1/5.000 par MARTIN et BOSSENO (1975). Ils distinguent huit unités cartographiques :

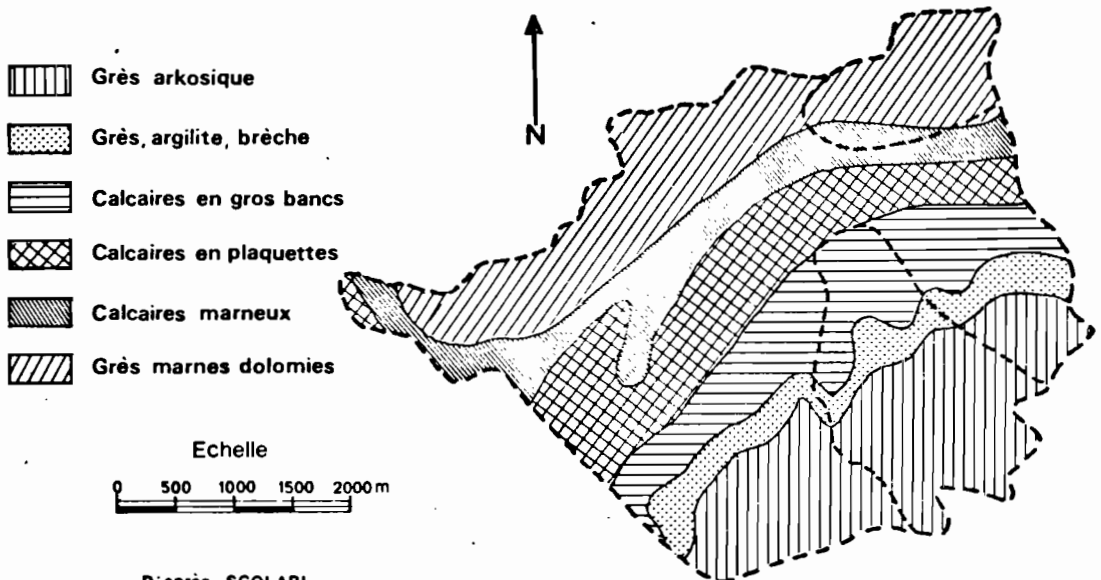
FIG. 1

### BASSINS DE LA COMBA

#### CARTE DE SITUATION



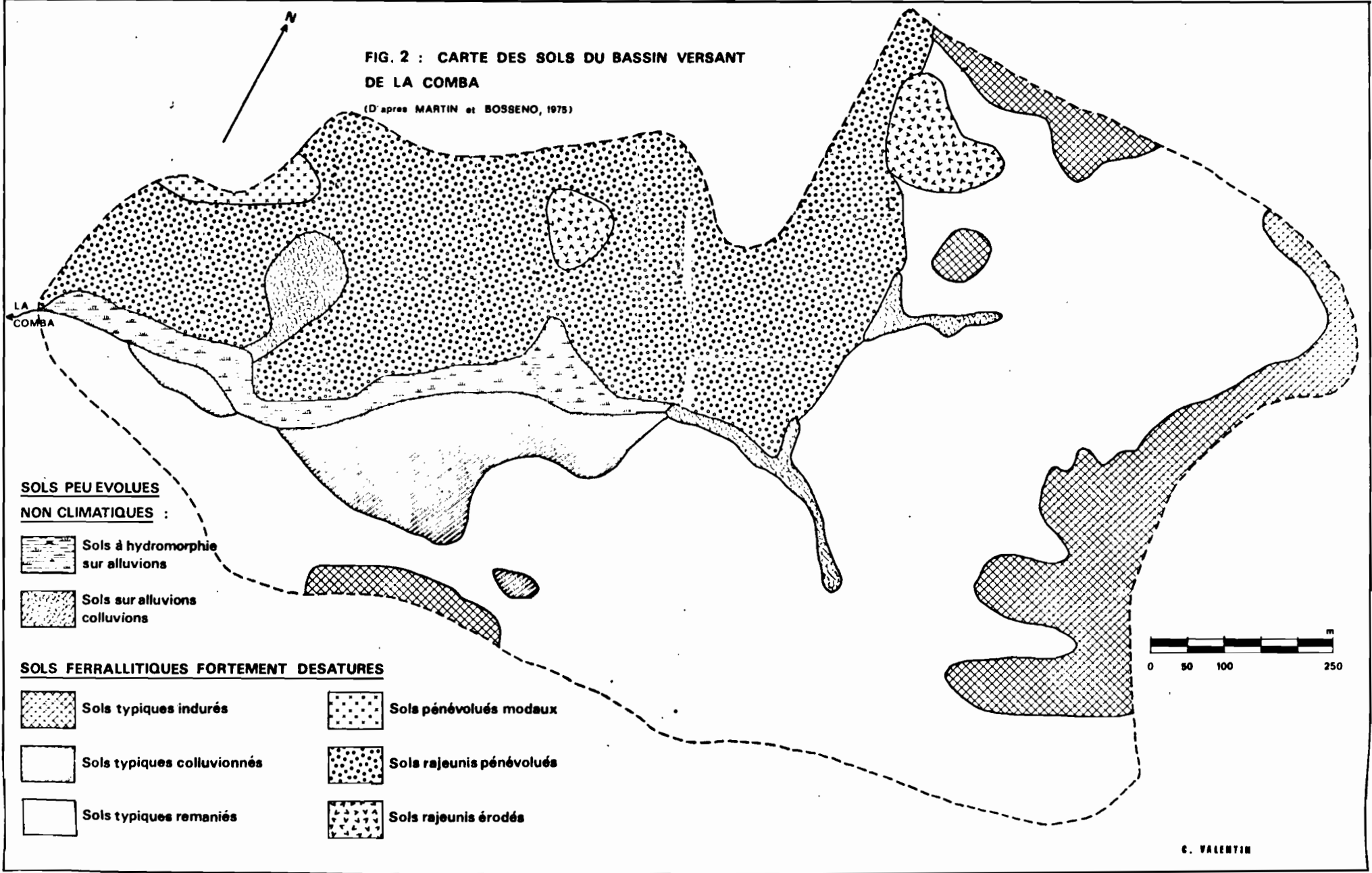
#### CARTE GEOLOGIE





D'après SCOLARI

**FIG. 2 : CARTE DES SOLS DU BASSIN VERSANT DE LA COMBA**







(D'après MARTIN et BOSSENO, 1975)

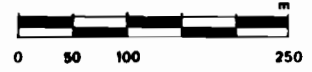


**SOLS PEU EVOLUES  
NON CLIMATIQUES :**

-  Sols à hydromorphie sur alluvions
-  Sols sur alluvions colluvions

**SOLS FERRALLITIQUES FORTEMENT DESATURES**

- |  |  |
|--|--|
|  Sols typiques indurés      |  Sols pénévolués modaux   |
|  Sols typiques colluvionnés |  Sols rajeunis pénévolués |
|  Sols typiques remaniés     |  Sols rajeunis érodés     |



- Sols peu évolués complexes

- . Sols à hydromorphie sur alluvions.

Ces sols qui se localisent à l'aval de l'axe de drainage ne couvrent que 3% du bassin.

- . Sols sur alluvions-colluvions

Ces sols se localisent aussi le long du réseau de drainage mais plus en amont que les précédents. Ils sont très voisins des précédents. Seule diffère l'origine de leurs matériaux qui comprennent une part de colluvions et non plus des alluvions strictes. Ils occupent 2% du bassin.

- Sols ferrallitiques fortement désaturés

- . Typiques indurés

Situés sur les lignes de crêtes Est et Nord du bassin, où ils forment soit des petits plateaux aplanis soit des collines étroites, ces sols occupent 11% du bassin.

- . Typiques colluvionnés

Ils forment une bande de largeur variable sur la rive sud du cours d'eau. Ils représentent 5% du bassin.

- . Typiques remaniés

Ce sont les sols les plus représentés puisqu'ils couvrent 50% du bassin : toute la partie Sud ainsi que toutes les pentes de l'Est et du Nord-Est.

- . Pénévolués modaux

Ces sols n'occupent que la partie sommitale d'une colline de la crête Nord du bassin. Ils ne représentent que 2% de la superficie du bassin.

- . Rajeunis, pénévlués, remaniés

Ces sols couvrent les versant de la partie Nord et Nord-Ouest du bassin soit au total 25% de la superficie du bassin.

### . Rajeunis érodés

Ces sols qui ne couvrent que 2% du bassin se caractérisent par l'absence d'horizons humifères et la présence à faible profondeur (< 50 cm) de premiers éléments altéritiques.

#### Aptitude des sols au ruissellement (fig. 3)

Les auteurs de la carte pédologique ont essayé de caractériser l'infiltrabilité des sols essentiellement à partir des caractéristiques des horizons de surface.

L'épaisseur et la structure de l'horizon humifère des deux premières unités en font des sols particulièrement filtrants. Pour l'unité n° 3 l'infiltrabilité est assez forte à l'exception de quelques plages dénudées par l'érosion où l'horizon humifère a disparu. Les sols de l'unité 4 sont également peu aptes au ruissellement. Par contre pour les unités 5 et 8, du fait du décapage par l'érosion de l'horizon A1, le ruissellement doit être particulièrement important. MARTIN et BOSSENO notent que l'infiltrabilité de l'unité 7 doit être satisfaisante, inférieure toutefois à celle de l'unité 6.

#### 2.5. Cartographie des organisations superficielles (fig. 4)

Cette cartographie a été faite par C. VALENTIN (1984) qui distingue 5 unités cartographiques.

##### - Unité 1

C'est celle dont les limites suivent le mieux celles de la carte pédologique. Elle correspond aux sols d'apport complexes et aux sols ferrallitiques, fortement désaturés, typiques, colluvionnés. Cette unité qui couvre 12% du bassin est caractérisée par : une végétation constituée d'arbres assez hauts mais assez distants (10 m) et d'une strate herbeuse haute (1,9 à 2,5m) et dense (couvert 70-100%). Les éléments grossiers y sont absents ou en très faible quantité. Les réorganisations superficielles et l'érosion y sont nulles ou très peu marquées. Par contre l'activité faunique est importante.

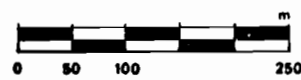
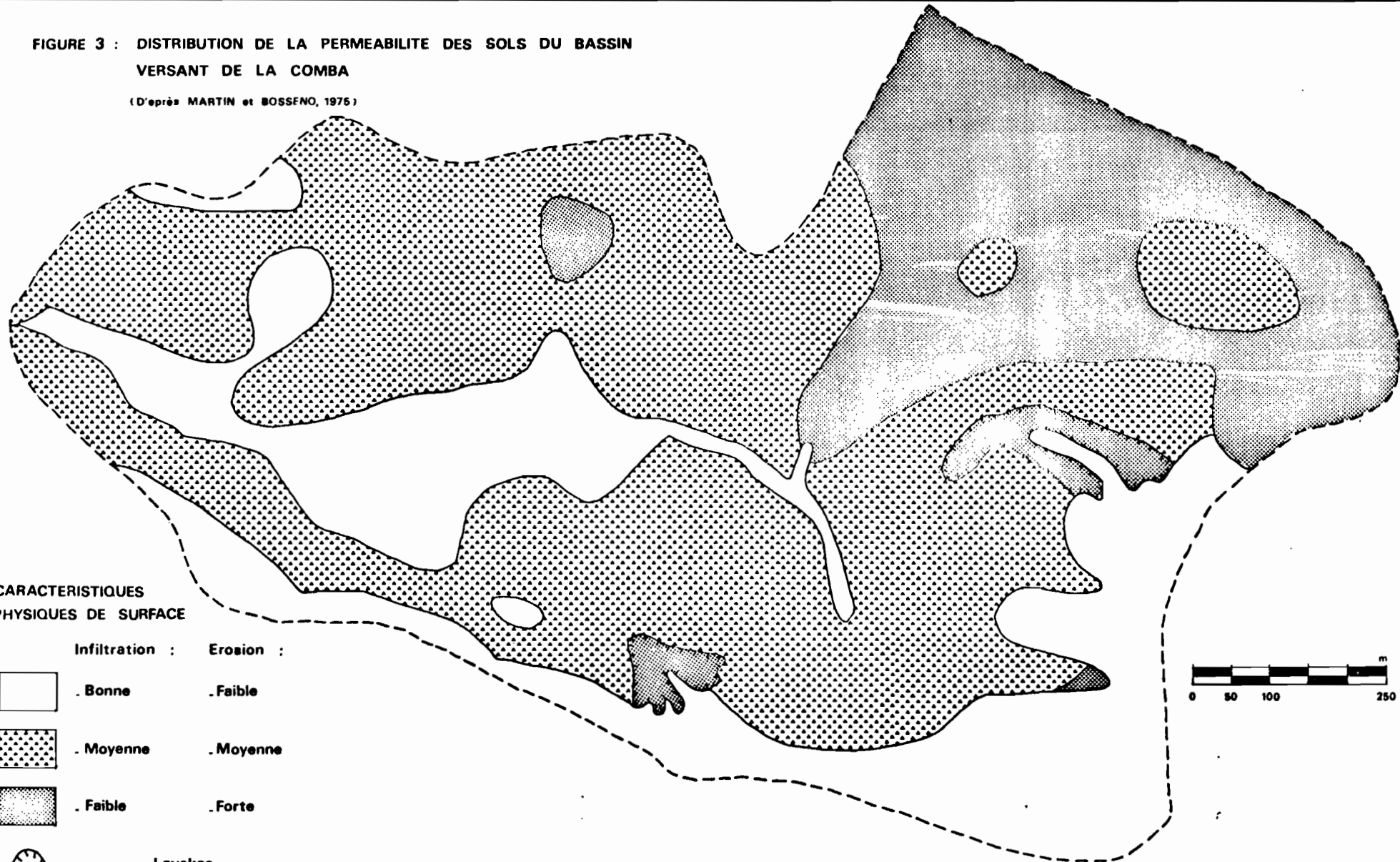


**FIGURE 3 : DISTRIBUTION DE LA PERMEABILITE DES SOLS DU BASSIN  
VERSANT DE LA COMBA**

(D'après MARTIN et BOSSFENO, 1975)

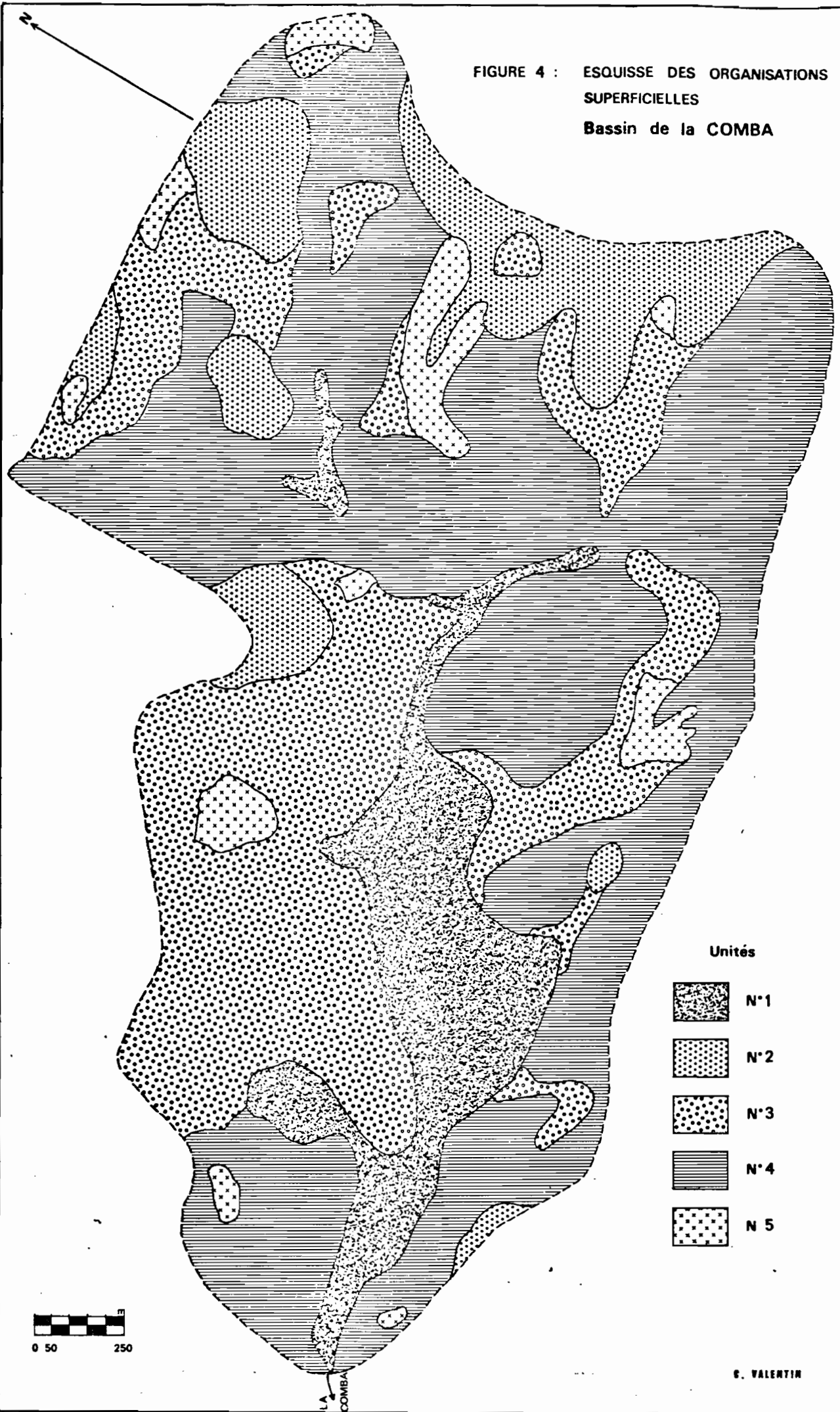
**CARACTERISTIQUES  
PHYSIQUES DE SURFACE**

<p><b>Infiltration :</b></p> <p>□ . Bonne</p> <p>▒ . Moyenne</p> <p>■ . Faible</p> <p>⌒ Lavakas</p>	<p><b>Erosion :</b></p> <p>□ . Faible</p> <p>▒ . Moyenne</p> <p>■ . Forte</p>
---	---



C. VALENTIN

FIGURE 4 : ESQUISSE DES ORGANISATIONS  
SUPERFICIELLES  
Bassin de la COMBA



### - Unité 2

Localisée au sommet de quelques collines elle représente 13% de la surface du bassin. Les principales caractéristiques sont :

- . une végétation arborée de faible densité, mais une strate herbeuse haute et fournie ;
- . absence d'éléments grossiers en surface mais forte couverture de la surface par des mousses et des lichens ;
- . réorganisations superficielles nulles. Pas de plages dénudées ;
- . traces d'érosion nulles ou faibles ;
- . activité faunique importante.

### - Unité 3

Cette unité s'étend sur la majeure partie de la zone aval de la rive droite. Elle couvre 27% du bassin. Elle est caractérisée par :

- . une faible densité d'arbustes et un couvert herbacé peu dense et court ;
- . un pourcentage élevé d'éléments grossiers représentés surtout par des cailloux et blocs ;
- . de faibles taux de couverture par des pellicules biologiques ;
- . des intensités très réduites de réorganisations superficielles et d'érosion ;
- . une faible activité faunique.

### - Unité 4

C'est l'unité qui couvre la plus grande surface sur le bassin (43%). Ses principaux caractères sont :

- . un couvert arbustif assez dense mais un couvert herbacé réduit ;
- . une quasi absence d'éléments grossiers ;
- . une pellicule de type particulier, très probablement associé à un développement biologique ;
- . une absence de réorganisations superficielles ;
- . une érosion modérée ;
- . une activité faunique moyenne.

### - Unité 5

Cette unité correspond aux zones fortement érodées qui constituent 5% de la surface du bassin. Elle est caractérisée par :

- . une densité très élevée d'arbustes rabougris et un très faible couvert herbacé ;
- . une quasi absence d'éléments grossiers (2%) ;
- . une couverture faible (23%) d'une pellicule biologique ;
- . une intensité de réorganisation qui est soit nulle ou faible (67%) soit au contraire très marquée avec des vésicules (33%) ;
- . une intensité d'érosion très marquée ;
- . une activité faunique faible.

#### Occupations des sols

Les champs ne couvrent que 4% du bassin : 2% dans l'unité 1 et 2% dans l'unité 4. Il s'agit d'une culture associant le manioc à d'autres plantes : maïs dans les bas fonds, arachide dans les zones moins humides.

### III. LA CAMPAGNE DE SIMULATION DE PLUIES

Le simulateur de pluie utilisé pour cette campagne est le modèle mis au point par l'ORSTOM à Abidjan (ASSELINE 1981, CASENAVE 1982).

#### 3.1. Protocole des mesures

##### 3.1.1. Sites expérimentaux

Le choix des sites expérimentaux a été fait par A. CASENAVE avant la cartographie de C. VALENTIN ce qui explique que la concordance entre ces sites et les unités cartographiques ne soit pas toujours parfaite. De plus l'une des unités cartographiques (N° 3), bien que reconnue et décrite par A. CASENAVE est inaccessible avec un véhicule lourdement chargé d'eau nécessaire à la simulation de pluie et n'a donc pu être testée directement. Au total 6 parcelles regroupées en 3 sites ont été étudiées.

- Site I

Installé à proximité immédiate de l'exutoire du bassin, en rive gauche, il comporte deux parcelles, l'une sous végétation naturelle (P1), l'autre dans un champ préparé pour la culture du manioc (P2). La parcelle 1 est caractéristique de l'unité cartographique 1 et la parcelle 2 des zones cultivées. C'est à la parcelle 1 qu'est également rattachée l'unité cartographique 2 qui malgré une situation topographique totalement différente à des caractéristiques de surface similaires.

- Site II

Ce deuxième site a été implanté à une cinquantaine de mètres en amont du premier. Il comporte également deux parcelles, l'une sur brûlis (P3) et l'autre sur végétation naturelle (P4). La parcelle 3 est couverte d'une pellicule d'un type particulier qui caractérise l'unité cartographique n° 4. La parcelle 4 est elle représentative de l'unité cartographique n° 5.

- Site III

Ce dernier site se trouve en position haute sur des sols typiques indurés. Elle comporte 2 parcelles. La parcelle 5 est caractérisée par un horizon gravillonnaire peu profond surmonté par un horizon sableux colluvionnaire. La parcelle 6 présente un horizon superficiel contenant 40% de gravillons. Cet horizon sub-affleurant est épais de 70 cm. Bien que le taux de gravillons superficiels soit moins élevé que pour la moyenne de l'unité cartographique n° 3, c'est à cette parcelle que sera rattachée cette unité.

Dans le tableau 1 sont indiqués les pourcentages de la surface du bassin occupés par les différentes unités cartographiques, ainsi que les parcelles représentatives de ces unités.

Tableau 1 : Correspondance entre unités cartographiques et parcelles expérimentales.

Unité cartographique	Pourcentage de la surface du bassin	Parcelle
1	10	1
2	13	1
3	27	6
4	41	3
5	5	4
champ	4	2

### 3.1.2. Protocole des pluies simulées

Afin de suivre au mieux les conditions climatiques de la région, la forme et la taille des pluies simulées doivent répondre aux conditions suivantes :

- . averse à pointe d'intensité unique ,
- . taille de chaque averse ne dépassant pas la hauteur de pluie journalière de fréquence annuelle ou décennale,
- . total des pluies sur une parcelle inférieur à la valeur de la pluviométrie moyenne interannuelle,
- . composantes intensité-durée-fréquence suivant le mieux possible celles communément admises pour la région.

L'analyse de la pluviométrie faite pour l'étude classique des bassins de la Comba (MOLINIER, 1981) permet de retenir comme hauteurs des pluies journalières annuelle et décennale 84 et 130 mm. Les corps des averses (intensités supérieures à 15 mm/h) sont respectivement de 71,5 et 113,3 mm. Les pluies simulées "annuelles" sont constituées de la succession des intensités suivantes :

10 minutes à	40 mm/h
10 "	70 "
10 "	120 "
10 "	90 "
10 "	60 "
10 "	30 "

Soit une pluie de 68,4 mm en 1 heure.

Les pluies simulées "décennales" ont la forme suivante :

30 minutes à	40 mm/h
10 "	80 "
10 "	120 "
10 "	110 "
10 "	90 "
10 "	70 "
30 "	30 "

soit une pluie de 113,3 mm en 1h50.

Sur chaque parcelle six pluies simulées ont été faites, 2 pluies "décennales", une sur sol sec (1ère pluie) et une sur sol très humide (6ème pluie) et 4 pluies "annuelles".

La succession des pluies sur chaque parcelle est indiquée dans le tableau 2.

Tableau 2 : Protocole sur une parcelle

Type de pluie	Temps de ressuyage en h
Décennale	96
Annuelle	48
Annuelle	24
Annuelle	48
Annuelle	24
Décennale	

Ce protocole de base est souvent modifié en cours d'expérimentation, les temps de ressuyage pouvant être légèrement différents en fonction des déménagements de l'appareil.

### 3.1.3. Données de base

Le limnigraphe enregistre les lames ruisselées cumulées. Par dérivation on établit l'hydrogramme représentant les réactions de la parcelle à une averse.

L'analyse de ces hydrogrammes a été faite par LAFFORGUE (1977). Elle est résumée et complétée par LAFFORGUE et CASENAVE (1980).

Rappelons brièvement que le processus de ruissellement et d'infiltration consécutif à une averse peut se décomposer en quatre phases distinctes et successives :

• La phase d'imbibition, durant laquelle la totalité de la pluie ( $P_i$ ) s'infiltré ou se stocke à la surface de la parcelle,

- . la phase de transition durant laquelle le ruissellement se déclenche et croit,
- . la phase de régime permanent qui marque une stabilisation du ruissellement qui prend sa valeur maximale (Rx) et de l'infiltration qui est minimale (FN),
- . la phase de vidange qui débute à la fin de la pluie et pendant laquelle une partie de l'eau stockée en surface s'écoule. C'est la détention superficielle récupérable (Dr).

On trouvera en annexe les données de base pour la totalité des averses réalisés au cours de la campagne.

#### IV. ANALYSE DES DONNES DE BASE

##### 4.1. Indice d'humectation du sol

Les mesures directes de l'humidité du sol ne donnant pas toujours de bon résultats, l'état d'humectation du sol avant chaque pluie simulée est représenté par la valeur d'un indice intégrant la hauteur des pluies et les temps de ressuyage entre chaque pluie. Cet indice est défini par l'équation :

$$Ik_n = (Ik_{n-1} + P_{n-1})e^{-\alpha t}$$

où  $Ik_n$  = valeur de l'indice avant la pluie n

$Ik_{n-1}$  = valeur de l'indice avant la pluie n-1

$P_{n-1}$  = hauteur de la pluie n-1

t = temps en fraction de jours séparant la fin de la pluie n-1 du début de la pluie n

$\alpha$  = coefficient d'ajustement : 0,5.

La valeur de cet indice IK avant chaque pluie simulée est reportée dans les tableaux des données de base en annexe.



#### 4.2. Pluie d'imbibition

La pluie d'imbibition est la hauteur de précipitation totalement infiltrée dans le sol ou stockée en surface entre le début de l'averse et l'instant où le ruissellement se déclenche. Si on met en relation les valeurs de la pluie d'imbibition avec celles des IK correspondants, on constate dans tous les cas une décroissance de  $P_i$  quand IK augmente. Les courbes ont une allure d'hyperboles décroissantes tendant vers une asymptote pour IK maximum (fig. 5).

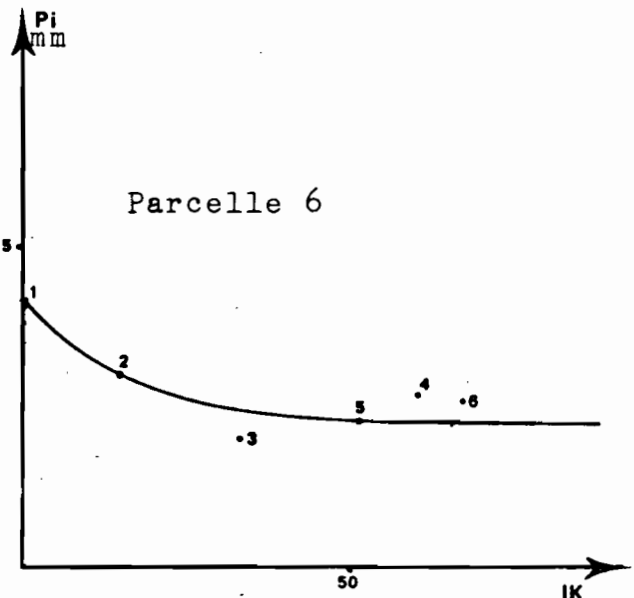
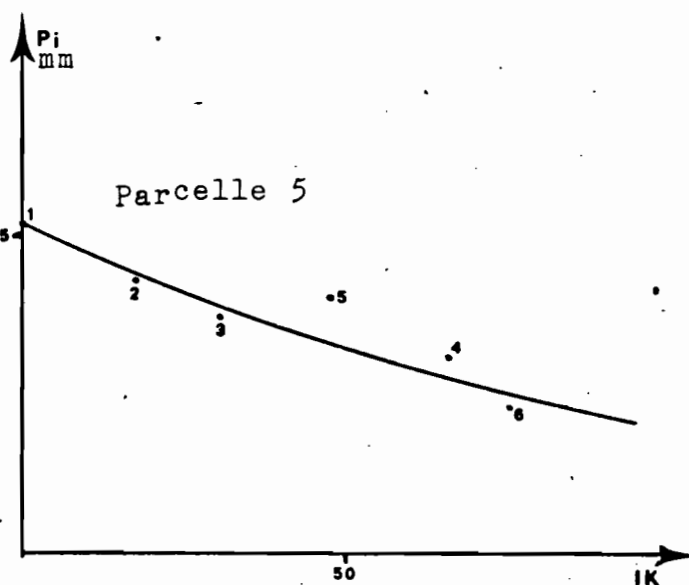
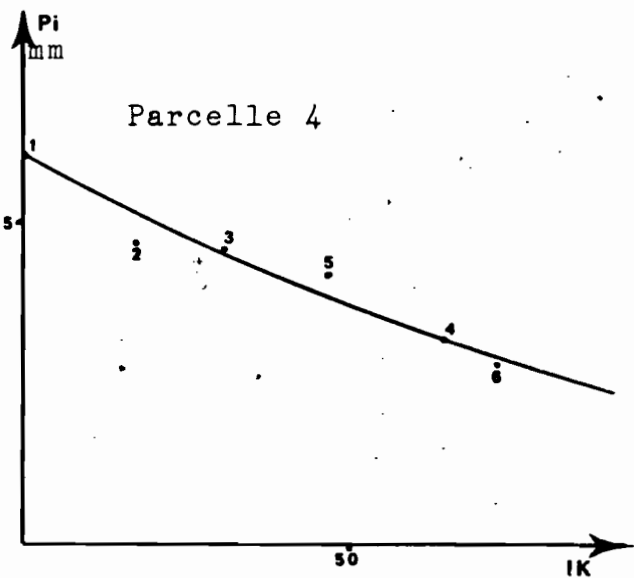
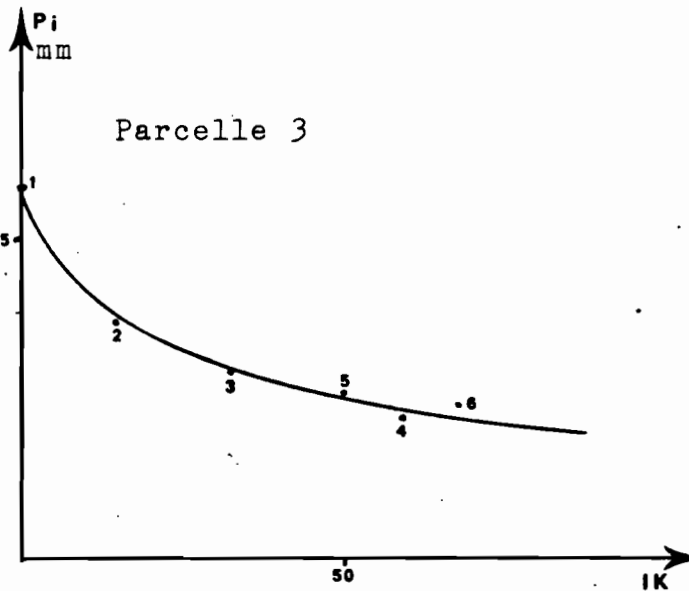
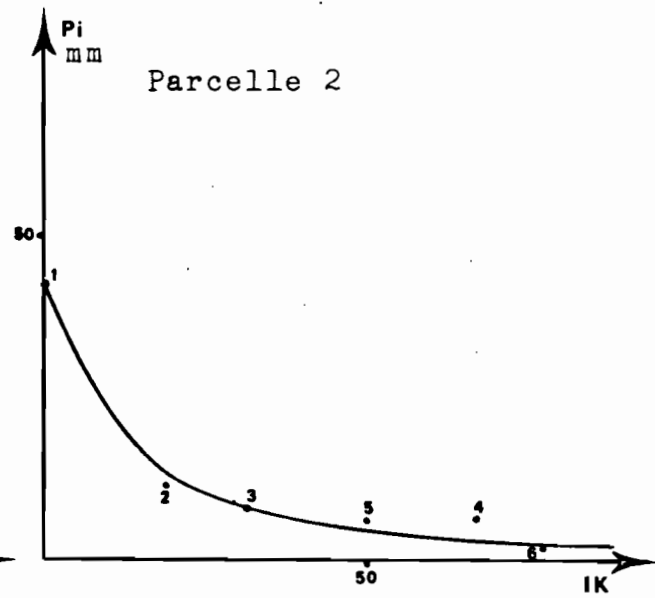
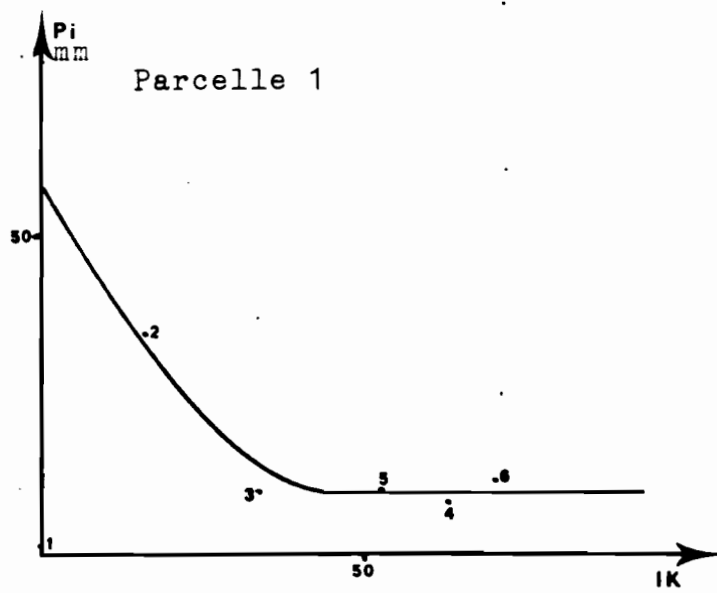
Alors que pour les parcelles des sites 2 et 3 les valeurs de la pluie d'imbibition pour un même état d'humectation du sol sont du même ordre de grandeur, pour les parcelles 1 et 2, pour les faibles valeurs de IK, les pluies d'imbibition sont beaucoup plus importantes. Pour ces deux dernières parcelles la décroissance de  $P_i$  est assez rapide et les hauteurs de  $P_i$  pour les fortes valeurs de IK sont du même ordre de grandeur que pour les autres parcelles. La comparaison des courbes  $P_i(K)$  des parcelles 1 et 2 met en évidence l'influence de la végétation sur la pluie d'imbibition. Cette dernière est nettement plus importante sur la parcelle 1 couverte de végétation qui favorise le développement d'une macroporosité importante.

Dans le tableau 3 sont reportées les hauteurs de la pluie d'imbibition sur chacune des parcelles pour deux valeurs de IK, l'une correspondant à un sol très sec ( $IK = 0$ ) et l'autre à un sol fortement humecté ( $IK = 50$ ).

Tableau 3 : Hauteur de la pluie d'imbibition en mm

Parcelle	IK = 0	IK = 50
1	58	10
2	42,5	4,2
3	5,7	2,5
4	6,0	3,7
5	5,2	3,2
6	5,2	2,3

FIG. 5



#### 4.3. Coefficients de ruissellement

Si on reporte le coefficient de ruissellement de chaque pluie en fonction de la valeur correspondante de IK (fig. 6) on constate que :

- les parcelles 3 et 6 qui sont couvertes d'une pellicule de battance sont peu sensibles à l'état d'humectation du sol. Ceci est particulièrement vrai pour la parcelle 6 où les coefficients de ruissellement sont pratiquement constants ;
- les parcelles 4 et 5 ont un comportement voisin. Le coefficient de ruissellement croit fortement jusqu'à une valeur de IK de 30 à 40 puis devient pratiquement constant ;
- la parcelle 1 ne ruisselle pratiquement pas quel que soit l'état d'humectation du sol. Sous végétation naturelle ce sol a un pouvoir d'infiltration énorme : sur 509 mm de pluie au total, 498 mm se sont infiltrés ;
- la parcelle 2 a un comportement tout à fait particulier. Cette parcelle est située sur le même sol que la parcelle 1 mais ce sol est dénudé. Les variations du coefficient de ruissellement traduisent la superposition de 2 phénomènes : une saturation progressive du sol et surtout la formation d'organisations pelliculaires de surface qui réduisent progressivement l'infiltrabilité.

#### 4.4. Relations lames ruisselées - Pluie utile - Etat d'humectation du sol

Pour une parcelle donnée, chaque averse permet de déterminer la relation entre la lame ruisselée et la hauteur de la pluie. La courbe qui exprime cette relation peut être assimilée à une droite sans erreur notable, la partie incurvée, caractéristique du déficit de saturation du sol en début de pluie, étant toujours très brève. Cette relation correspond à un état d'humectation du sol donné, caractérisé par la valeur de l'indice IK au début de la pluie. Le report de l'ensemble des droites  $L_r(P_u)$ , correspondant à la série des pluies sur une même parcelle, permet de constater que la pente de ces droites varie

FIG. 6

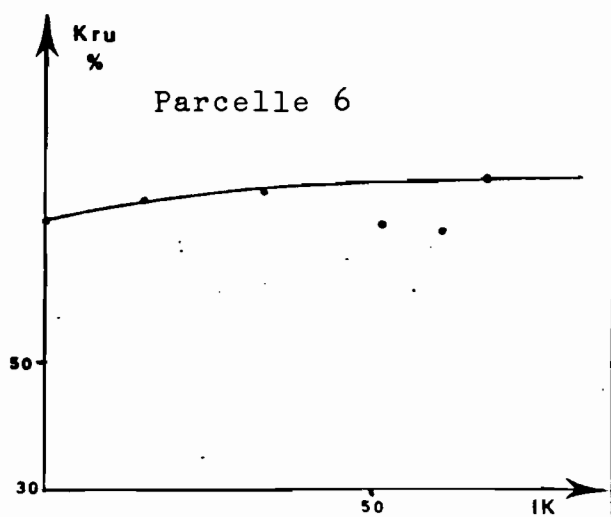
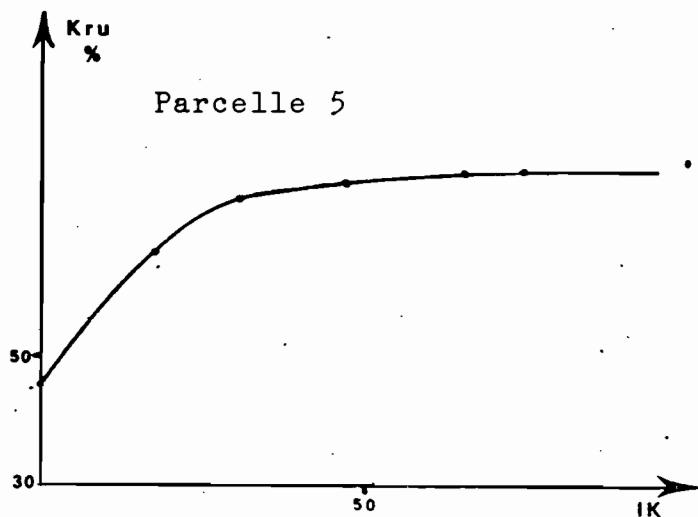
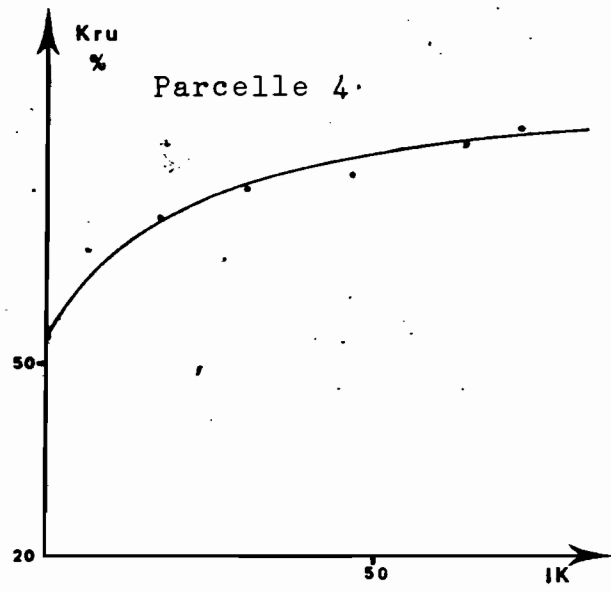
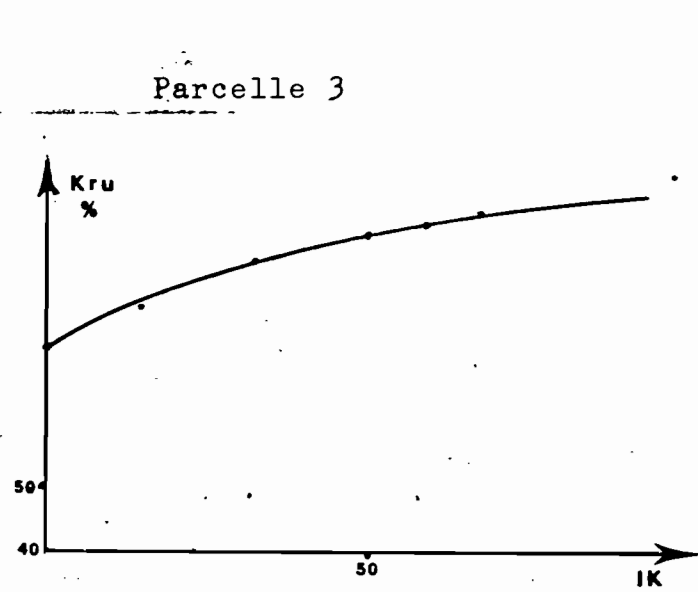
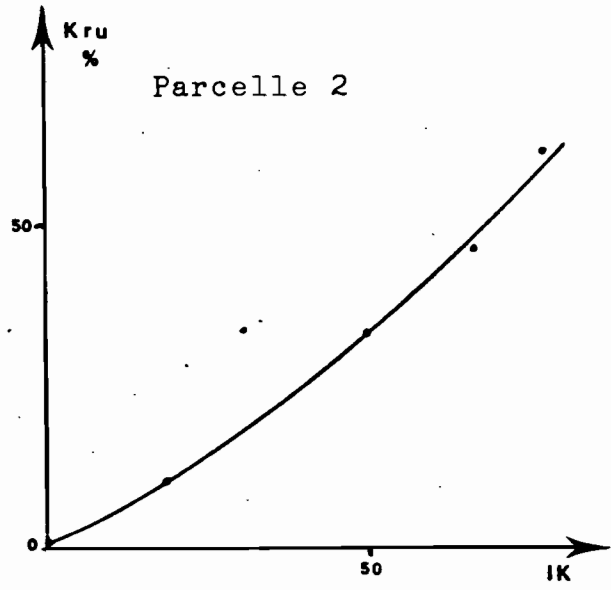
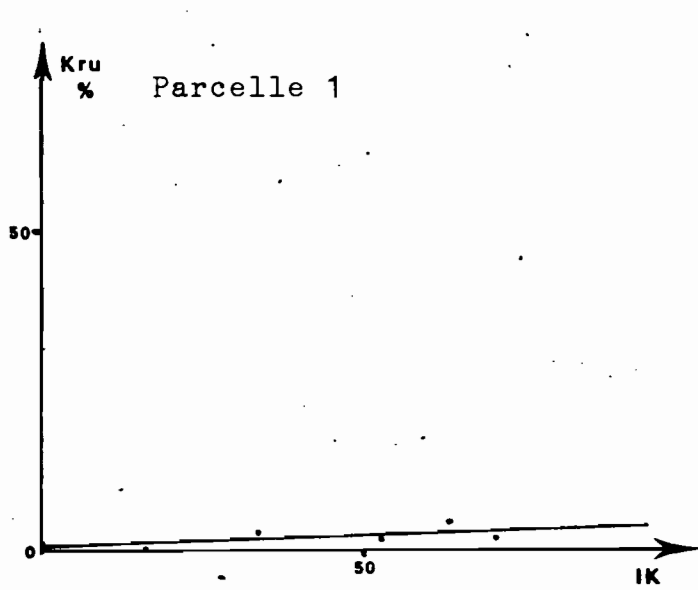


FIG. 7

PARCELLE 3

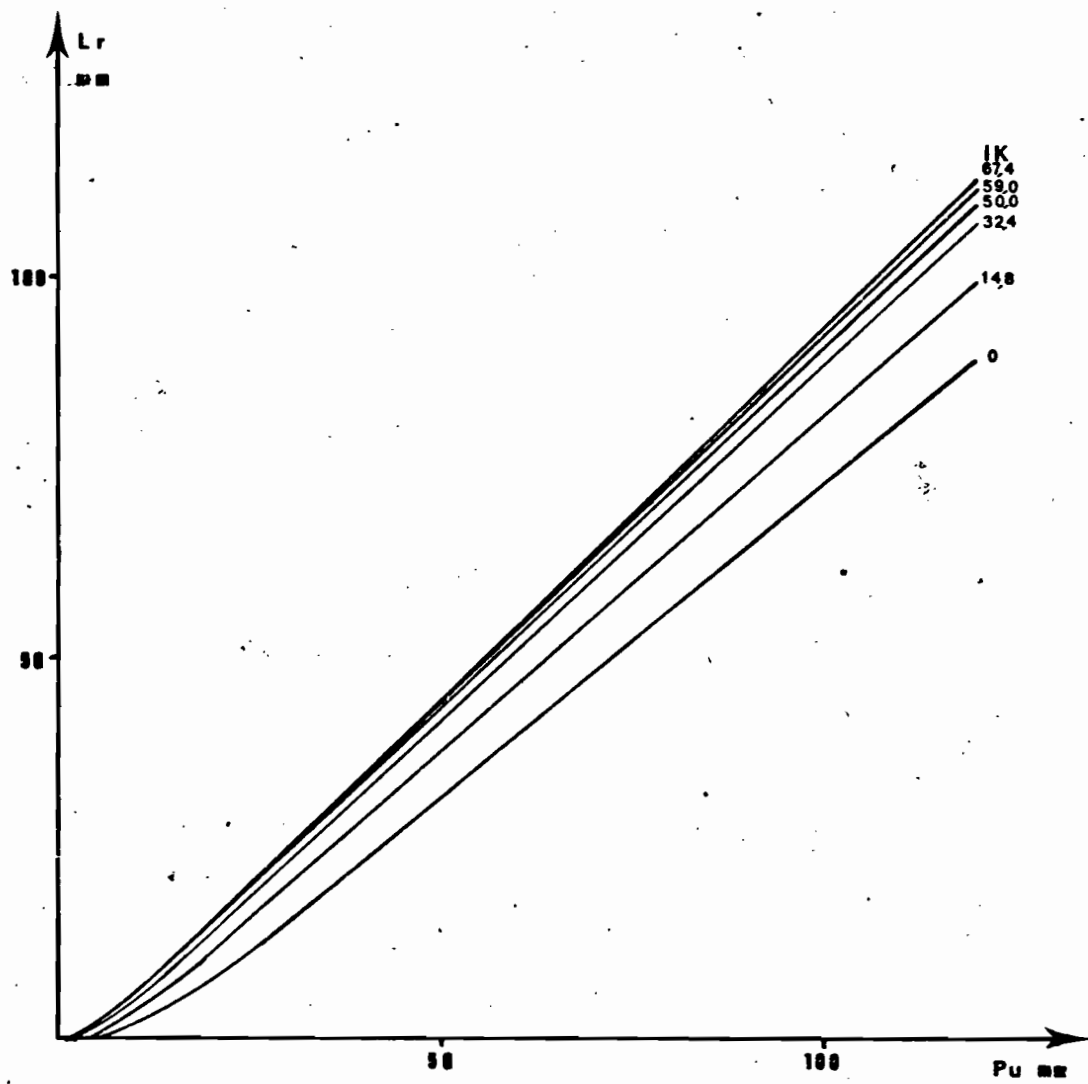
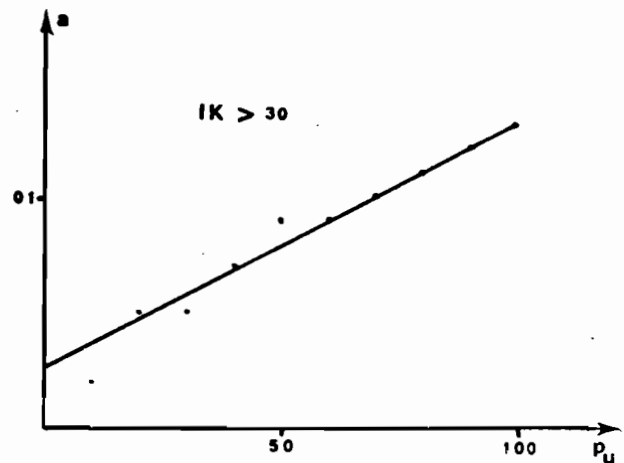
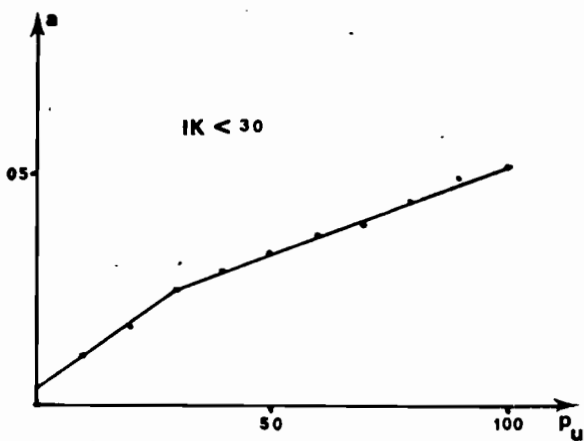
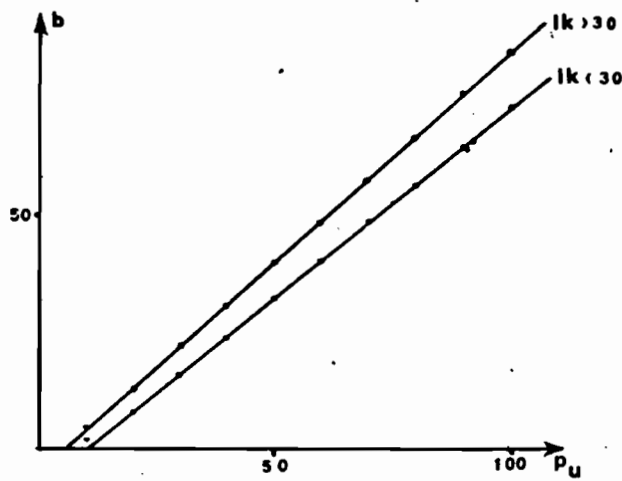
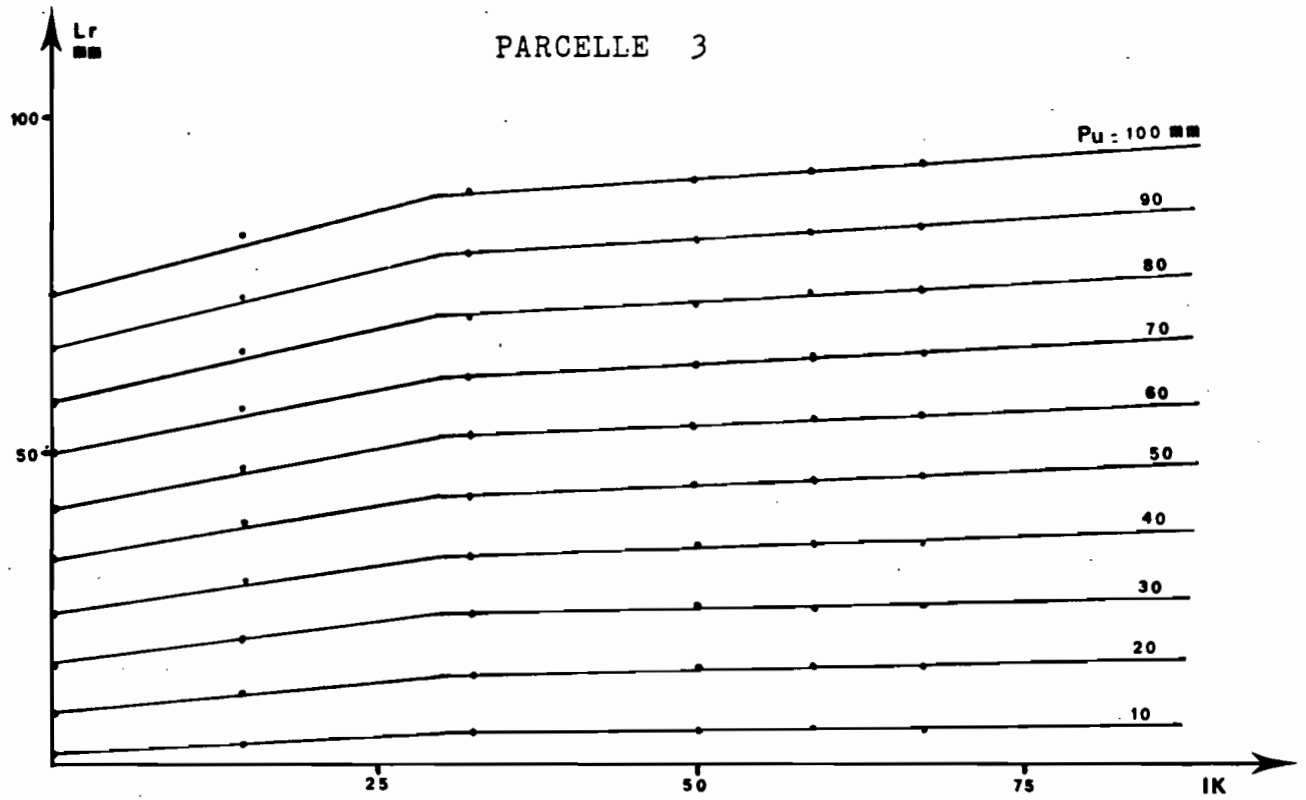


FIG. 8



dans le même sens que IK (fig. 7). Pour chaque parcelle il existe une relation linéaire entre la lame ruisselée et l'indice IK (fig. 8)

$$Lr = aIK + b \quad (1)$$

Les coefficients  $a$  et  $b$  de cette équation varient de façon linéaire en fonction de la hauteur de la pluie. Très fréquemment, les points représentatifs de ces liaisons s'alignent sur deux tronçons de droites (fig. 8). Ces changements de pente des relations  $a(Pu)$  et  $b(Pu)$  correspondent à des seuils pluviométriques à partir desquels l'influence du facteur IK décroît. Si on introduit dans l'équation (1) les valeurs  $a(Pu)$  et  $b(Pu)$  l'équation exprimant les liaisons entre  $Lr$ ,  $Pu$  et  $IK$  devient :

$$Lr = aPu + b IK + c PuIK + d$$

C'est cette relation qui caractérise l'aptitude au ruissellement d'une parcelle et donc d'un état de surface. On trouvera ci-après les équations caractéristiques de chacune des parcelles.

- Parcelle 1

. $Pu \leq 50$ mm	$Lr = 0,03 Pu - 0,005 IK + 0,0005 PuIK - 0,69$
$50 < Pu \leq 60$ mm	$Lr = 0,03 Pu + 0,02 IK - 0,69$
$Pu > 60$ mm	$Lr = 0,01 Pu + 0,02 IK + 0,62$

- Parcelle 2

$$Lr = 0,05 Pu - 0,05IK + 0,009 PuIK - 2,73$$

- Parcelle 3

. Pour $IK \leq 30$	
$Pu \leq 30$ mm	$Lr = 0,81 Pu + 0,04 IK + 0,007 PuIK - 8,82$
$Pu > 30$ mm	$Lr = 0,81 Pu + 0,14 IK + 0,004 PuIK - 8,82$

. Pour  $IK > 30$

$$Lr = 0,89 Pu + 0,03 IK + 0,001 PuIK - 5,48$$

- Parcelle 4

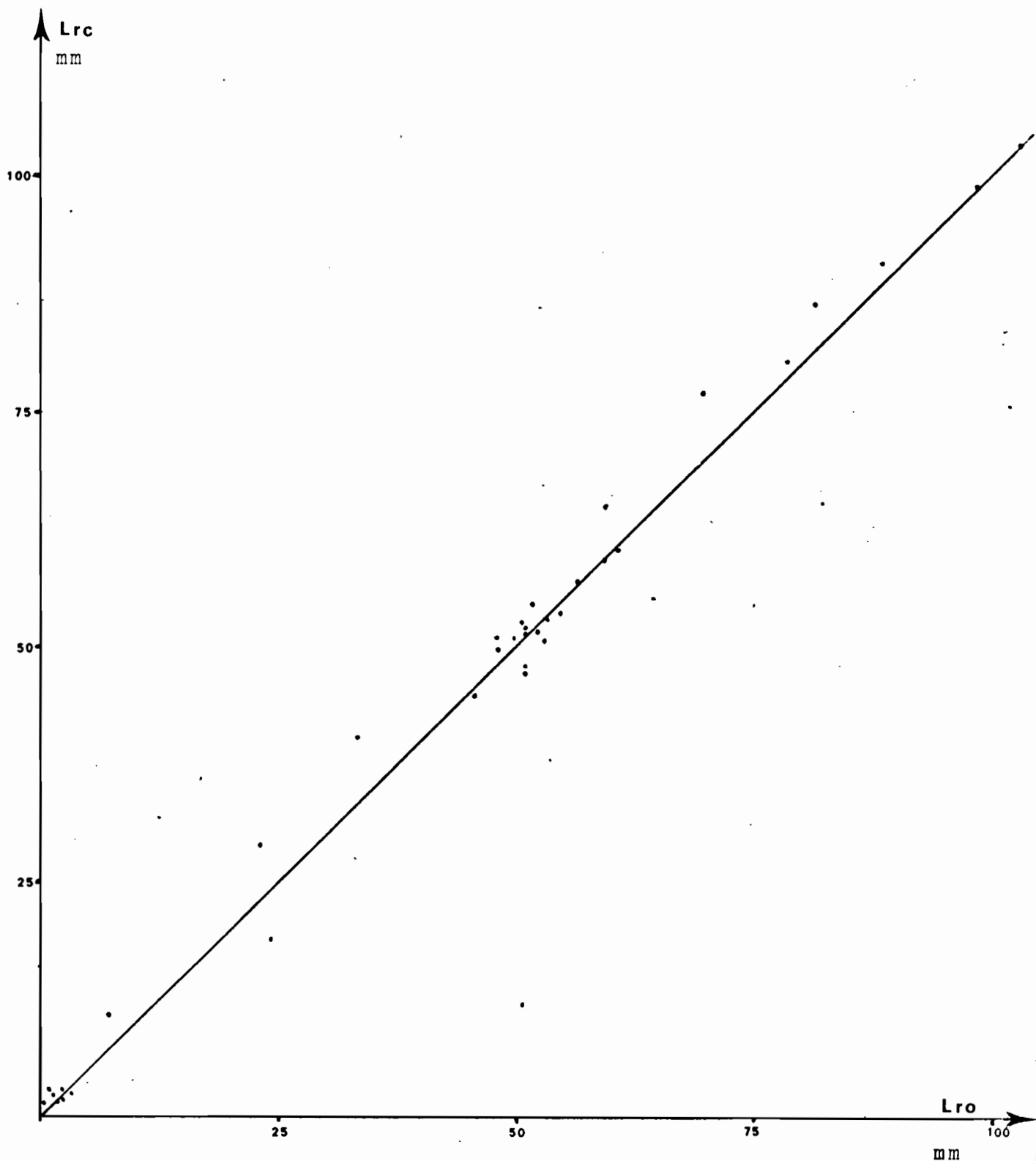
. Pour $IK \leq 30$	
$Pu \leq 30$ mm	$Lr = 0,43 Pu - 0,08 IK + 0,01 PuIK - 3,75$
$Pu > 30$ mm	$Lr = 0,69 Pu + 0,11 IK + 0,007 PuIK - 11,8$

. Pour  $IK > 30$

$$Lr = 0,90 Pu + 0,04 IK + 0,0003 PuIK - 9,75$$

FIG. 9

BASSIN VERSANT DE LA COMBA  
RELATION LAMES RUISSELEES CALCULEES - OBSERVEES





Parcelle 5. Pour  $IK \leq 25$ 

$$Pu \leq 40 \text{ mm} \quad Lr = 0,30 Pu - 0,09 IK + 0,019 PuIK - 3,00$$

$$Pu > 40 \text{ mm} \quad Lr = 0,62 Pu + 0,18 IK + 0,012 PuIK - 15,8$$

. Pour  $IK > 25$ 

$$Lr = 0,88 Pu - 7,50$$

Parcelle 6

$$Pu \leq 40 \text{ mm} \quad Lr = 0,70 Pu + 0,06 IK - 5,00$$

$$Pu > 40 \text{ mm} \quad Lr = 0,87 Pu + 0,06 IK - 11,8$$

Pour vérifier la validité de ces équations, nous avons reconstitué par le calcul toutes les lames ruisselées de la campagne de pluies simulées et nous les avons comparé aux lames ruisselées mesurées (fig. 9). On peut constater que la dispersion des points autour de la première bissectrice qui donne une idée de la précision des équations, est relativement faible et sans tendance systématique.

## V. APPLICATION DU MODELE SIMULATEUR A L'ETUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN

### 5.1. Fonction de production du bassin

La fonction de production du ruissellement de chaque unité cartographique est définie par l'équation  $Lr(Pu, IK)$  de la parcelle correspondante. En combinant, au prorata du pourcentage de surface du bassin occupé par chaque unité cartographique, les fonctions de production de chaque unité, on obtient la fonction de production du bassin qui est exprimée par l'équation :

$$LrB = 0,23 Lr1 + 0,04 Lr2 + 0,41 Lr3 + 0,05 Lr4 + 0,27 Lr6$$

$Lri$  : fonction de production de l'unité cartographique  $i$

En introduisant dans cette équation les valeurs  $Lri$  déterminées au paragraphe précédent on obtient le système d'équations suivant qui permet de reconstituer la lame ruisselée du bassin pour n'importe quelle pluie naturelle.

- Pour  $IK \leq 30$

$$\begin{aligned} \text{Pour } Pu \leq 30 \text{ mm} \quad LrB &= 0,552 Pu + 0,025 IK + 0,004 PuIK - 5,43 \\ 30 < Pu \leq 40 \text{ mm} \quad LrB &= 0,565 Pu + 0,076 IK + 0,003 PuIK - 5,83 \\ 40 < Pu \leq 50 \text{ mm} \quad LrB &= 0,611 Pu + 0,076 IK + 0,003 PuIK - 7,67 \\ 50 < Pu \leq 60 \text{ mm} \quad LrB &= 0,611 Pu + 0,082 IK + 0,003 PuIK - 7,67 \\ Pu > 60 \text{ mm} \quad LrB &= 0,606 Pu + 0,082 IK + 0,003 PuIK - 7,37 \end{aligned}$$

- Pour  $IK > 30$

$$\begin{aligned} \text{Pour } Pu \leq 40 \text{ mm} \quad LrB &= 0,608 Pu + 0,027 IK + 0,0006 PuIK - 4,36 \\ 40 < Pu \leq 50 \text{ mm} \quad LrB &= 0,654 Pu + 0,027 IK + 0,0009 PuIK - 6,20 \\ 50 < Pu \leq 60 \text{ mm} \quad LrB &= 0,654 Pu + 0,033 IK + 0,0008 PuIK - 6,20 \\ Pu > 60 \text{ mm} \quad LrB &= 0,649 Pu + 0,033 IK + 0,0008 PuIK - 5,90 \end{aligned}$$

## 5.2. Fonction de calage

Pour chacune des crues mesurées pendant la période d'observation du bassin, nous avons à partir des équations précédentes reconstitué les valeurs des lames ruisselées. Pour le calcul de  $IK$  nous avons utilisé la pluie moyenne sur le bassin, les temps de ressuyage entre 2 averses étant ceux mesurés au pluviographe 2 (ou au pluviographe 5 pour les quelques lacunes du pluviographe 2). La valeur de  $Pu$  introduite dans les équations  $LrB$  est la pluie moyenne sur le bassin. Ces lames ruisselées calculées ( $Lrc$ ) sont reportées dans le tableau ci-après en regard des valeurs réellement observées ( $Lro$ ). On peut constater sur la figure 10 que les valeurs  $Lrc$  et  $Lro$  sont fortement corrélées. Cette liaison linéaire s'exprime par l'équation :

$$Lrc = 0,864 Lro + 2,421 \quad (r^2 = 0,923 \text{ pour } 109 \text{ valeurs})$$

C'est cette équation qui représente la fonction de calage du bassin. Pour vérifier que cette fonction de calage était bien représentative du bassin et non de l'échantillon, nous l'avons calculée pour l'année 1974 (année présentant un échantillon de crues assez grand avec un nombre suffisant de fortes crues) puis nous avons augmenté la taille de l'échantillon en ajoutant les années 72 et 73 puis 75 et enfin 76. On trouvera ci-après les équations correspondantes qui montrent que la fonction de calage est effectivement constante.

1974

Lrc = 0,845 Lro + 2,666  $r^2 = 0,922$  pour 32 crues

1972 - 73 - 74

Lrc = 0,839 Lro + 1,966  $r^2 = 0,914$  pour 51 crues

1972 - 73 - 74 - 75

Lrc = 0,864 Lro + 2,399  $r^2 = 0,916$  pour 93 crues

1972 - 73 - 74 - 75 - 76

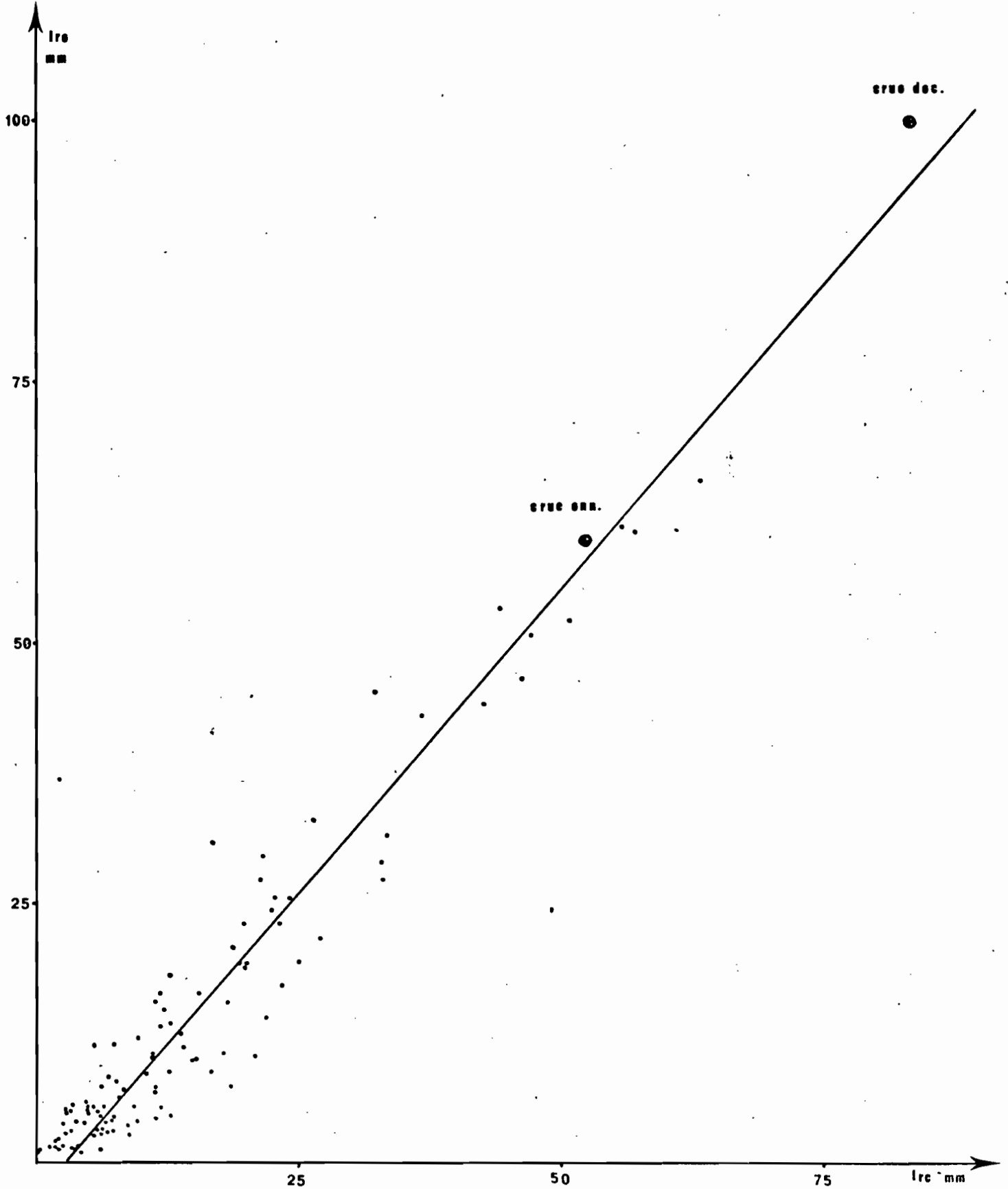
Lrc = 0,864 Lro + 2,421  $r^2 = 0,923$  pour 109 crues

Date	Pm	IK	Lro	Lrc
<u>1972</u>				
17-12	23,3	7,0	5,0	4,9
25-12	21,1	8,5	3,1	3,3
<u>1973</u>				
04-01	47,6	0,9	29,5	21,6
27-01	36,0	3,9	10,0	15,2
12-02	11,1	6,7	1,5	1,2
01-03	50,9	0,2	17,0	23,5
10-03	15,8	0,8	1,4	3,4
31-03	42,6	2,3	20,7	18,8
12-04	19,1	2,0	5,4	5,3
16-04	106,0	15,5	65,6	63,1
29-04	81,6	6,1	53,4	44,1
12-05	27,4	1,1	12,1	9,8
13-05	23,8	30,8	15,5	11,4
20-05	30,5	2,1	16,4	11,8
23-05	18,5	7,4	11,2	5,5
14-11	24,2	14,9	4,1	9,7
12-12	30,3	9,3	18,1	12,8
14-12	34,1	18,2	30,9	16,7
20-12	17,7	2,6	5,9	4,6
<u>1974</u>				
04-01	54,9	31,5	45,3	32,1
08-01	13,1	15,7	4,9	3,0
31-01	34,4	2,3	11,1	14,0
10-02	5,8	31,1	1,1	0,1
10-02	11,6	33,7	3,9	3,8
12-02	20,3	15,6	11,4	7,4
01-03	27,7	11,4	6,8	11,4
05-03	86,2	6,7	50,8	47,1
27-03	39,4	9,2	15,4	18,2
29-03	43,3	19,2	25,6	22,7
31-03	17,6	27,2	8,2	6,9
04-04	13,8	15,1	5,6	3,4
04-04	89,6	25,2	61,1	55,8
12-04	62,9	9,6	31,5	33,4
14-04	60,3	28,1	43,0	36,6
04-05	20,0	4,5	7,2	6,1
05-11	12,4	12,5	1,6	2,4
06-11	37,9	15,4	7,4	18,5
07-11	37,6	32,1	19,2	20,1
12-11	21,9	4,9	4,1	7,2
14-11	24,3	10,8	5,5	9,3
16-11	46,9	18,7	19,4	25,0
20-11	22,7	13,5	3,6	8,7

Date	Pm	IK	Lro	Lrc
<u>1974</u>				
01-12	45,5	3,6	11,3	20,9
02-12	16,2	29,7	2,7	6,2
10-12	18,9	3,9	2,5	5,4
14-12	29,2	6,0	9,2	11,5
17-12	19,8	8,5	5,4	6,4
18-12	8,1	20,2	1,2	0,2
20-12	10,5	12,3	1,5	1,2
23-12	12,3	4,9	2,1	1,7
31-12	31,8	3,8	13,4	12,8
<u>1975</u>				
05-01	19,7	2,8	4,9	5,7
07-01	13,4	9,4	5,2	2,7
07-01	25,6	21,2	7,3	11,4
08-01	35,5	45,0	19,2	19,4
10-01	24,2	26,3	10,6	11,1
14-01	29,3	7,8	13,1	11,9
17-01	12,9	10,9	3,8	2,5
27-01	16,2	0,9	1,2	3,6
01-02	9,9	3,8	1,2	0,3
03-02	35,8	5,8	16,2	15,5
07-02	48,2	11,0	25,4	24,2
08-02	16,8	39,0	3,1	7,3
16-02	14,0	1,7	1,6	2,4
21-02	20,6	2,1	3,2	6,2
01-03	16,7	8,6	3,9	4,6
02-03	72,1	21,0	44,3	42,6
06-03	45,3	11,1	24,2	22,4
06-03	45,1	54,9	21,6	27,0
13-03	44,3	9,4	27,2	21,4
14-03	21,3	37,1	9,0	10,1
23-03	43,0	6,5	23,0	19,9
29-03	14,4	3,8	2,8	2,8
02-04	93,7	3,7	52,1	50,7
02-04	50,7	81,0	29,0	32,9
08-04	36,3	17,6	10,6	17,9
11-04	83,2	9,4	46,5	46,2
02-05	20,8	0,7	1,3	6,1
24-05	17,2	1,0	1,0	4,2
26-10	18,9	17,0	2,9	6,7
29-10	30,4	9,3	4,6	12,9
30-10	10,5	24,4	1,3	2,0
04-11	15,2	10,9	1,6	3,9
05-11	20,8	16,6	6,3	7,8
07-11	41,5	21,5	14,0	22,0
15-11	58,8	18,5	27,2	33,0
17-11	37,6	23,9	18,7	19,9
19-11	18,6	26,7	4,4	7,5
21-11	27,1	20,2	14,8	12,2
22-11	32,3	33,5	8,8	16,8
28-11	32,8	12,5	9,7	14,9
06-12	28,3	1,9	8,5	10,5
16-12	10,7	5,0	4,8	5,0
<u>1976</u>				
04-02	30,9	1,6	5,3	11,9
05-02	17,1	21,6	4,5	6,0
11-02	25,7	2,2	2,7	9,0
29-02	21,0	3,9	3,9	6,6
09-03	20,9	13,8	7,7	7,6
11-03	11,7	14,0	2,2	2,0
23-03	32,4	1,2	8,7	12,7
28-03	23,6	6,7	7,1	8,4
03-04	54,9	2,3	33,0	26,4
06-04	30,6	13,1	12,4	13,7
19-04	39,3	12,1	18,7	18,7
20-04	94,0	20,4	60,6	57,0
26-04	45,4	14,7	23,1	23,2
28-04	14,7	26,5	5,5	4,9
02-05	19,2	4,9	3,2	5,7
09-05	13,2	10,6	4,8	2,7

FIG. 10

BASSIN VERSANT DE LA COMBA  
FONCTION DE CALAGE



### 5.3. Estimation des lames ruisselées de fréquence annuelle et décennale

On considère généralement que la crue décennale est engendrée par la pluie de récurrence décennale tombant sur un sol dont l'état d'humectation est médian. Nous caractérisons cette dernière condition par un  $IK = 30$ . Nous ferons le même raisonnement pour la crue annuelle.

Les pluviométries moyennes sur le bassin 2 de récurrence annuelle et décennale sont respectivement de 82 et 126 mm (MOLINIER - 1981).

Si on introduit ces valeurs dans les relations  $Lr = f(Pu, IK)$  on obtient des lames ruisselées calculées annuelle et décennale de 52,2 et 82,8 mm. Par l'application de la fonction de calage, on calcule les lames ruisselées de récurrence annuelle et décennale estimées par le "modèle simulateur" Lrs.

$$\text{Lrs annuelle} = 57,6 \text{ mm}$$

$$\text{Lrs décennale} = 93,0 \text{ mm}$$

On peut comparer ces lames à celles calculées par MOLINIER à partir de l'étude classique du bassin versant qui sont respectivement de 59,8 et 98,8 mm. Bien que n'ayant pas été utilisé pour la détermination de la fonction de calage, le couple des valeurs Lrc - Lro correspondant aux crues annuelle et décennale a été reporté sur la figure 10.

Ces résultats permettent de montrer que l'estimation des crues de fréquence rare faite à partir du modèle simulateur est tout à fait satisfaisante.

## VI. CONCLUSION

L'étude sous pluies simulées d'un des bassins de la Comba, a permis de confirmer, dans une nouvelle zone climatique, la validité du "modèle simulateur" pour la prédétermination des crues de fréquence rare, particulièrement de la crue décennale. Le très bon résultat obtenu sur le bassin 2 de la Comba résulte, il est vrai, des conditions les plus favorables à l'application de cette nouvelle technique ; Sols ayant de très forts coefficients de ruissellement, échantillon de crues observées abondant, particulièrement pour les fortes crues, permettant une détermination précise de la fonction de calage. Faisant suite aux expérimentations entreprises en Côte d'Ivoire, Burkina Faso, Cameroun et Niger, ces mesures montrent, une nouvelle fois, qu'une campagne de pluies simulées jointe à une cartographie des états de surface devrait permettre d'obtenir, dans des délais très réduits (1 mois), une estimation satisfaisante de la lame ruisselée décennale d'un petit bassin lorsque le problème de la détermination de la fonction de calage en fonction des caractéristiques du bassin sera résolu.

## BIBLIOGRAPHIE

- ALBERGEL (J), TOUIRI (H) - 1982 - Un nouvel outil pour estimer le ruissellement sur un petit bassin versant. ORSTOM, Ouagadougou.
- ALBERGEL (J), BERNARD (A) - 1984a - Calage du modèle simulateur. Prévision de la crue décennale sur le bassin versant de Binnde. ORSTOM, Ouagadougou.
- ALBERGEL (J), BERNARD (A) - 1984b - Etude des paramètres hydrodynamiques des sols sous pluies simulées. Estimation du ruissellement sur le bassin versant de Kazanga. ORSTOM, Ouagadougou.
- ASSELIN (J) - 1981 - Construction d'un infiltromètre à aspersion. Notice technique. ORSTOM, Adiopodoumé.
- ASSELIN (J), VALENTIN (C) - 1978 - Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XV, 4, pp. 321-349.
- CASENAVE (A) - 1981 - Etude des crues décennales des petits bassins forestiers en Afrique tropicale. Rapport final. CIEH. ORSTOM, Adiopodoumé.
- CASENAVE (A) - 1982 - Le mini-simulateur de pluie. Conditions d'utilisation et principes de l'interprétation des mesures. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4, pp. 207-227.
- CHEVALLIER (P) - 1982 - Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi - Haute Volta). Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4, pp. 253-297.
- LAFFORGUE (A) - 1977 - Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIV, 4, pp. 299-344.



- LAFFORGUE (A), CASENAVE (A) - 1980 - Derniers résultats obtenus en zone tropicale sur les modalités de transfert pluie-débit par l'emploi de simulateurs de pluie. La Houille Blanche, n° 4-5, pp. 243-249.
- MARTIN (D), BOSSENO (R) - 1975 - Bassins versants de la Comba. Etude pédologique du bassin 2. ORSTOM, Brazzaville.
- MOLINIER (M) - 1981 - Etude hydrologique des bassins de la Comba (République populaire du Congo). Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XVIII, 2-3, pp. 75-190.
- SCOLARI (G) - 1965 - Etude géologique du bassin du Niari Oriental. Mém. BRGM n° 35.
- VALENTIN (C) - 1985 - Cartographie des états de surface. Application à la simulation de pluie sur petits bassins versants. Goutte et Splash.
- VALENTIN (C), KONG (J) - 1984 - Cartographie des organisations superficielles de deux bassins versants forestiers (Massif du Chaillu) et d'un bassin de savane (Comba). ORSTOM, Brazzaville.

A N N E X E S







BASSIN: Comba

SITE: I

PARCELLE: 1

tu	Pluie 1		Pluie 2		Pluie 3		Pluie 4		Pluie 5		Pluie 6	
	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr
5	3,3	0,1	3,3	0	3,2	0	3,3	0	3,4	0	3,3	0
10	6,7	0,3	6,5	0	6,3	0	6,5	0	6,8	0	6,7	0
15	10,0	0,5	12,0	0	12,1	0,1	12,3	0,1	12,5	0,1	10,0	0
20	13,3	0,6	17,5	0	18,0	0,2	18,2	0,3	18,1	0,2	13,3	0,1
25	16,7	0,7	28,6	0	30,0	0,8	30,4	1,1	28,9	0,5	16,7	0,1
30	20,0	0,8	39,7	0,1	42,0	1,7	42,5	2,3	39,6	0,8	20,0	0,2
35	26,4	0,9	47,2	0,2	49,4	1,9	50,0	2,8	46,9	1,0	26,7	0,3
40	32,8	0,95	54,7	0,2	56,8	2,0	57,5	3,0	54,1	1,1	33,3	0,4
45	43,1	1,05	59,8	0,2	62,0	2,1	62,5	3,1	59,1	1,1	42,8	0,7
50	53,3	1,15	64,9	0,2	67,1	2,2	67,5	3,1	64,1	1,2	52,3	1,1
55	62,3	1,2	67,4	0,2	69,6	2,2	70,1	3,2	66,6	1,2	61,2	1,3
60	71,4	1,3	69,9	0,2	72,1	2,2	72,7	3,2	69,1	1,2	70,1	1,6
65	78,9	1,4									77,4	1,8
70	86,4	1,5									84,8	1,9
75	92,2	1,55									90,5	2,0
80	98,1	1,6									96,1	2,1
85	100,7	1,65									98,7	2,2
90	103,3	1,7									101,3	2,2
95	105,9	1,75									103,9	2,2
100	108,4	1,75									106,4	2,2
105	111,0	1,80									109,0	2,2
110	113,6	1,80									111,6	2,2

BASSIN: Comba

SITE: 1

PARCELLE: 2

tu	Pluie 1		Pluie 2		Pluie 3		Pluie 4		Pluie 5		Pluie 6	
	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr
5	3,3	0	3,4	0	3,3	0	3,3	0	3,3	0	3,3	0,5
10	6,7	0	6,8	0	6,7	0	6,7	0,1	6,7	0,1	6,3	1,9
15	10,0	0	12,6	0,1	12,5	0,8	12,4	1,3	12,5	0,8	9,5	3,5
20	13,3	0	18,3	0,3	18,3	2,1	18,0	3,0	18,4	2,0	12,7	5,2
25	16,7	0	28,0	2,2	29,6	6,9	30,0	10,0	28,9	5,6	15,8	6,9
30	20,0	0	37,6	4,7	41,0	13,8	42,0	18,6	39,4	10,2	19,0	8,8
35	27,0	0	44,7	5,5	48,5	17,4	49,4	23,1	46,7	13,2	25,7	12,9
40	34,0	0	51,8	6,2	56,0	20,5	56,8	27,2	54,1	16,3	32,3	17,5
45	44,5	0,05	56,9	6,6	61,1	22,3	61,9	29,9	59,1	18,7	43,0	25,2
50	55,0	0,15	62,0	7,0	66,2	23,7	67,0	32,1	64,1	21,1	53,6	33,7
55	64,2	0,2	64,6	7,1	68,7	24,1	69,5	32,9	66,6	22,2	62,4	40,6
60	73,3	0,4	67,2	7,1	71,2	24,1	72,0	33,3	69,1	23,0	71,3	47,3
65	81,0	0,5									78,7	52,2
70	88,6	0,7									86,1	56,6
75	94,2	0,75									91,9	60,0
80	99,8	0,8									97,8	63,2
85	102,4	0,8									100,3	64,4
90	105,0	0,8									102,8	65,3
95	107,6	0,8									105,3	66,3
100	110,1	0,8									107,8	67,4
105	112,7	0,8									110,3	68,5
110	115,3	0,8									112,8	69,7

BASSIN: Comba

SITE: II

PARCELLE: 3

tu	Pluie 1		Pluie 2		Pluie 3		Pluie 4		Pluie 5		Pluie 6	
	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr
5	3,3	0	3,3	0	3,3	0,2	3,3	0,7	3,4	0,5	3,3	0,5
10	6,7	0,3	6,7	1,2	6,7	2,1	6,7	3,4	6,8	2,9	6,7	3,0
15	10,0	1,8	12,5	5,0	12,5	6,7	12,5	8,3	12,6	7,8	10,0	5,9
20	13,3	3,5	18,2	9,6	18,4	11,9	18,4	13,7	18,5	13,2	13,3	8,8
25	16,7	5,4	27,9	17,6	27,7	20,2	27,7	22,2	27,7	21,6	16,7	11,8
30	20,0	7,4	37,5	(26,1)	36,9	29,3	37,1	31,5	36,8	30,6	20,0	14,9
35	26,7	12,1	45,0	(32,7)	44,3	36,4	44,8	39,0	44,4	38,0	26,6	20,8
40	33,4	17,5	52,5	(39,1)	51,7	43,4	52,4	46,3	52,0	45,1	33,2	27,2
45	42,6	25,0	57,4	(44,3)	56,6	48,0	57,2	51,4	57,1	50,1	42,5	36,0
50	51,8	33,0	62,3	(48,4)	61,5	52,3	62,1	55,9	62,2	54,7	51,9	45,0
55	60,8	40,7	64,8	(50,6)	64,0	54,6	64,8	58,6	64,7	57,3	61,1	54,1
60	69,8	48,2	67,3	52,3	66,5	56,4	67,4	60,8	67,2	59,4	70,2	63,7
65	76,8	53,7									77,3	71,0
70	83,8	58,5									84,4	78,2
75	89,4	63,5									90,2	83,8
80	95,0	68,4									95,9	89,3
85	97,5	70,6									98,5	92,0
90	100,0	72,3									101,1	94,1
95	102,5	73,8									103,7	96,3
100	105,0	75,3									106,2	98,6
105	107,5	76,9									108,9	100,7
110	110,0	78,5									111,4	103,1



BASSIN: Comba

SITE: II

PARCELLE: 4

tu	Pluie 1		Pluie 2		Pluie 3		Pluie 4		Pluie 5		Pluie 6	
	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr
5	3,3	0	3,3	0	3,3	0	3,5	0,1	3,3	0	3,5	0,1
10	6,5	0,1	6,7	0,4	6,7	0,6	7,0	1,6	6,7	0,8	7,0	1,8
15	9,8	0,6	12,5	3,1	12,5	4,0	12,7	5,7	12,5	4,3	10,5	4,3
20	13,0	1,5	18,4	6,9	18,2	8,4	18,3	10,5	18,2	8,9	14,0	7,1
25	16,3	2,5	26,3	13,7	27,3	16,0	27,7	18,4	27,1	16,6	17,5	9,8
30	19,5	3,7	38,2	21,4	36,4	24,7	37,1	27,0	36,0	24,8	21,0	12,7
35	26,2	6,8	(47,6)	(31,7)	43,6	31,3	44,3	33,9	43,3	31,5	27,7	18,0
40	32,8	10,7	(55,4)	(39,6)	50,7	37,4	51,4	40,4	50,7	38,0	34,3	24,3
45	42,1	16,7	(60,5)	(44,7)	55,5	41,9	56,3	45,4	55,5	42,5	44,1	32,7
50	51,5	23,4	(65,6)	(47,9)	60,4	45,9	61,2	49,3	60,4	46,6	54,0	41,6
55	60,7	29,9	(68,1)	(49,7)	63,0	48,2	63,7	52,5	62,9	49,1	63,1	50,3
60	69,8	36,5	(70,6)	(51,0)	65,6	49,9	66,2	54,7	65,4	51,1	72,2	59,1
65	77,3	41,8									79,7	66,3
70	84,8	46,8									87,2	73,1
75	90,5	50,6									93,0	76,8
80	96,1	54,0									98,9	84,3
85	98,6	55,6									101,5	87,2
90	101,1	56,3									104,1	89,4
95	103,6	57,2									106,6	91,5
100	106,1	58,0									109,2	93,7
105	108,6	58,8									111,8	95,9
110	111,1	59,6									114,4	98,0

BASSIN: Comba

SITE: III

PARCELLE: 5

tu	Pluie 1		Pluie 2		Pluie 3		Pluie 4		Pluie 5		Pluie 6	
	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr
5	3,5	0	3,25	0	3,3	0	3,3	0,05	3,3	0	3,4	0
10	6,9	0,1	6,5	0,4	6,6	0,7	6,5	1,0	6,6	0,7	6,6	1,1
15	10,4	0,6	12,3	2,7	12,4	3,7	12,3	4,5	12,2	4,0	10,0	2,8
20	13,8	1,2	18,1	6,3	18,2	7,8	18,1	9,3	17,8	8,5	13,3	4,9
25	17,3	2,0	28,2	13,3	28,2	15,6	28,4	17,7	27,4	16,3	16,7	7,1
30	20,8	2,8	38,3	21,5	38,2	24,5	38,7	27,1	37,0	25,2	20,0	9,6
35	27,6	4,9	46,1	27,9	45,7	31,4	46,3	34,1	44,5	32,0	26,7	14,2
40	34,4	7,4	53,8	34,3	53,2	38,3	53,9	40,7	52,0	38,5	33,4	19,3
45	44,2	12,0	58,9	38,5	58,2	42,9	58,9	45,3	57,0	43,2	43,7	26,3
50	53,9	17,4	64,0	42,2	63,2	47,1	63,9	49,6	62,0	47,3	54,0	37,4
55	63,1	22,9	66,5	44,2	65,8	49,2	66,4	51,9	64,5	49,6	63,4	46,2
60	72,2	28,5	69,0	45,6	66,4	50,6	68,9	53,8	67,0	51,2	72,8	55,1
65	79,7	33,4									80,4	62,1
70	87,2	38,3									88,0	68,6
75	93,0	41,9									93,8	73,9
80	98,8	45,6									99,6	79,0
85	101,3	47,1									102,2	81,6
90	103,8	47,9									104,8	83,4
95	106,3	48,8									107,4	85,2
100	108,8	49,8									110,0	87,0
105	111,3	50,8									112,6	88,8
110	113,8	51,8									115,2	90,6

BASSIN: Comba

SITE: III

PARCELLE: 6

tu	Pluie 1		Pluie 2		Pluie 3		Pluie 4		Pluie 5		Pluie 6	
	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr	Pu	Lr
5	3,25	0	3,3	0,05	3,3	(0,4)	3,3	0,05	3,3	0,15	3,3	0,2
10	6,50	0,7	6,6	1,3	6,6	2,2	6,6	1,25	6,6	1,4	6,6	1,8
15	9,75	2,1	12,4	5,4	12,4	6,4	12,4	4,7	12,3	4,9	9,9	3,7
20	13,0	3,8	18,2	10,2	18,2	11,2	18,2	8,9	18,0	9,0	13,2	5,9
25	16,25	5,6	28,0	17,7	28,8	19,0	28,2	16,9	27,9	16,6	16,5	8,2
30	19,5	7,6	37,8	26,4	39,4	26,4	38,2	25,5	37,8	24,9	19,8	10,5
35	26,2	12,1	45,3	33,0	46,9	33,5	45,7	31,3	45,0	31,0	26,5	15,5
40	32,9	17,3	52,8	39,4	54,4	40,1	53,2	36,9	52,2	36,8	33,2	21,2
45	42,7	25,2	57,8	43,8	59,4	44,8	56,2	40,9	57,2	40,9	43,2	29,6
50	52,4	33,8	62,8	47,7	64,4	(49,2)	63,2	44,7	62,2	44,5	53,2	36,5
55	61,8	42,1	65,3	49,7	67,0	(51,3)	65,7	46,6	64,7	46,3	62,4	47,1
60	71,2	50,4	67,8	51,1	69,6	53,0	68,2	47,9	67,2	47,6	71,6	55,5
65	78,7	57,4									79,0	61,8
70	86,2	64,2									86,4	66,0
75	92,0	68,9									92,1	73,1
80	97,8	73,4									97,8	76,1
85	100,3	75,2									100,2	80,4
90	102,8	76,4									102,8	82,1
95	105,3	77,8									105,3	83,7
100	107,8	79,0									107,8	85,4
105	110,3	80,3									110,3	87,0
110	112,8	81,6									112,8	88,6

BASSIN: COMBA

SITE: 1

PARCELLE: 1

Pluie 1			Pluie 2			Pluie 3			Pluie 4			Pluie 5			Pluie 6		
I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn
40	2,4	37,6	39	0	39,0	38	0	38,0	39	0	39,0	41	0	41,0	40	1,0	39,0
77	1,2	75,8	66	0	66,0	70	1,5	68,5	70	2,0	68,0	68	0,6	67,4	80	2,0	78,0
123	1,0	122,0	133	0,6	132,4	144	10,5	133,5	146	17	129,0	129	5,0	124,0	114	5,0	109,0
108,5	1,0	107,5	90	0	90,0	89	1,8	87,2	90	3,5	86,5	87	1,0	86,0	107	4,0	103,0
90	0,9	89,1	61	0	61,0	62	0,8	61,2	60	0,6	59,4	60	0	60,0	88	2,0	86,0
70	0,5	69,5	30	0	30,0	30	0,2	29,8	31	0	31,0	30	0	30,0	68	1,0	67,0
31	0,2	30,8													31	0	31,0

BASSIN: COMBA

SITE: 1

PARCELLE: 2

Pluie 1			Pluie 2			Pluie 3			Pluie 4			Pluie 5			Pluie 6		
I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn
40	0	40,0	41	0	41,0	40	0	40,0	40	2,4	37,6	40	2,0	38,0	38	22,0	16,0
84	0	84,0	69	4,5	64,5	70	17,0	53,0	68	23,0	45,0	70	15,0	55,0	80	55,0	25,0
126	2,5	123,5	116	31,0	85,0	136	86,0	50,0	144	103,0	41,0	126	61,0	65,0	128	103,0	25,0
110	2,5	107,5	85	10,5	74,5	90	38,0	52,0	89	50,0	39,0	88	36,0	52,0	106	81,0	25,0
92	3,8	88,2	61	5,5	55,5	61	18,0	43,0	61	28,0	33,0	60	32,0	28,0	89	56,0	33,0
67	0	67,0	31	0	31,0	30	0	30,0	30	5,0	25,0	30	10,5	19,5	70	38,0	32,0
31	0	31,0													30	14,0	16,0

BASSIN: COMBA

SITE: II

PARCELLE: 3

Pluie 1			Pluie 2			Pluie 3			Pluie 4			Pluie 5			Pluie 6		
I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn
40	24,0	16,0	40	19,0	21,0	40	28,0	12,0	40	35,0	5,0	41	32,0	9,0	40	36,0	4,0
80	63,0	17,0	69	55,0	14,0	70	61,0	9,0	70	64,0	6,0	70	64,5	5,5	79	76,0	3,0
110	(100,0)	10,0	116	102,0	14,0	111	108,0	3,0	112	106,5	5,5	110	109,0	1,0	112	109,0	3,0
108	(87,0)	21,0	90	77,0	13,0	89	82,0	7,0	92	87,0	5,0	91	86,0	5,0	110	110,0	0
84	(60,0)	24,0	59	49,0	10,0	59	51,0	8,0	58	55,0	3,0	61	54,0	7,0	85	84,0	1,0
67	60,0	7,0	30	20,0	10,0	30	23,0	7,0	32	26,0	6,0	30	26,0	4,0	69	67,0	2,0
30	19,5	10,5													31	27,0	4,0

BASSIN: COMBA

SITE: II

PARCELLE: 4

Pluie 1			Pluie 2			Pluie 3			Pluie 4			Pluie 5			Pluie 6		
I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn
39	13,0	26,0	40	13,0	27,0	40	15,5	24,5	42	26,0	16,0	40	18,0	22,0	42	34,0	8,0
80	46,0	34,0	70	45,0	25,0	69	53,5	15,5	68	60,0	8,0	69	56,0	13,0	80	74,0	6,0
112	80,0	32,0	119	96,0	23,0	109	102,0	7,0	113	104,0	9,0	107	98,0	9,0	118	106,0	12,0
110	82,0	28,0	94	94,0	0	86	72,0	14,0	86	79,0	7,0	88	77,0	11,0	109	104,0	5,0
90	61,5	28,5	61	40,0	21,0	58	48,0	10,0	59	53,0	6,0	58	48,0	10,0	90	82,0	8,0
68	41,0	27,0	30	15,0	15,0	31	21,0	10,0	30	26,0	4,0	30	23,0	7,0	70	65,0	5,0
30	10,0	20,0													31	26,0	5,0

BASSIN: COMBA

SITE: III

PARCELLE: 5

Pluie 1			Pluie 2			Pluie 3			Pluie 4			Pluie 5			Pluie 6		
I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn
41,5	9,5	32,0	39	8,5	30,5	40	11,4	28,6	39	15,0	24,0	40	12,5	27,5	40	29,0	11,0
81	31,0	50,0	70	47,0	23,0	70	54,0	16,0	70	59,0	11,0	67,5	54,5	13,0	80	67,0	13,0
117	69,5	47,5	121	101,0	20,0	119,5	105,6	13,9	124	117,0	7,0	115,5	107,0	8,5	124	111,0	13,0
110	75,0	35,0	93	76,0	17,0	90	82,5	7,5	91,5	79,0	12,5	90	82,0	8,0	113	104,0	9,0
90	61,5	28,5	61,5	45,5	16,0	60	51,0	9,0	60	50,5	9,5	60	49,0	11,0	91	79,0	12,0
70	43,0	27,0	30,5	17,0	13,5	31	17,0	14,0	30	21,5	8,5	30	21,0	9,0	70	61,5	8,5
30	12,0	18,0													31	22,0	9,0



BASSIN: COMBA

SITE: III

PARCELLE: 6

Pluie 1			Pluie 2			Pluie 3			Pluie 4			Pluie 5			Pluie 6		
I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn	I	Rx	Fn
39	22,0	17,0	40	19,5	20,5	40	25,5	14,5	40	19,5	20,5	40	20,0	20,0	40	28,0	12,0
80	62,5	17,5	70	59,5	10,5	70	58,0	12,0	70	51,0	19,0	68,5	49,5	19,0	80	69,0	11,0
117	106,0	11,0	118	107,0	11,0	127	119,0	8,0	120	106,0	14,0	119	104,0	15,0	119,5	111,0	8,5
113	98,0	15,0	90	77,0	13,0	90	79,0	11,0	90	66,0	24,0	86,5	71,5	15,0	110	105,0	5,0
90	81,0	9,0	60	49,0	11,0	60	51,0	9,0	60	48,0	12,0	60	44,0	16,0	89	75,0	14,0
70	53,0	17,0	30	17,0	13,0	31,5	21,0	10,5	30	15,5	14,5	30	15,5	14,5	68	60,0	8,0
30	15,0	15,0													30	19,5	10,5