

COMITE INTERAFRICAIN D'ETUDES HYDRAULIQUES

CIEH

CONVENTION FAC:

223/C/DPL/86/160

CAMPAGNE DE SIMULATION
DE
PLUIES EN MILIEU URBAIN

ABIDJAN-YOPOUGON MARS 1987

C. BOUVIER
M. BERTHELOT
J.L. JANEAU



INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

UR F 4 UR B 2

UNIVERSITE DES SCIENCES ET
TECHNIQUES DU LANGUEDOC

LABORATOIRE D'HYDROLOGIE
MATHEMATIQUE

DECEMBRE 1987

SOMMAIRE

INTRODUCTION

1. RAPPELS SUR LES MECANISMES DE L'INFILTRATION SOUS PLUIES SIMULEES

- 1.1. Description de l'appareil de mesure
- 1.2. Analyse de l'hydrogramme de ruissellement
 - 1.2.1. Phase d'imbibition
 - 1.2.2. Phase de régime transitoire
 - 1.2.3. Phase de régime permanent
 - 1.2.4. Phase de vidange

2. CHOIX DU PROTOCOLE DE MESURES

3. CHOIX DES PARCELLES

- 3.1. Description des sols rencontrés sur les bassins urbains de Yopougon
- 3.2. Description des parcelles

4. DEPOUILLEMENT DES MESURES

5. INTERPRETATION DES MESURES

- 5.1. La qualité des mesures
- 5.2. Coefficients de ruissellement
- 5.3. Pluie d'imbibition
- 5.4. Intensité d'infiltration à saturation
- 5.5. Influence de I_p sur l'intensité d'infiltration
- 5.6. Représentativité des mesures

6. MODELISATION DE L'INFILTRATION

- 6.1. Evaluation de D_m
- 6.2. Evaluation de S_i
- 6.3. Calcul des coefficients F_o et k

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

Annexe : Légende de la méthode de description des parcelles

A l'initiative de l'UR F4, cette campagne de simulation des pluies s'est déroulée à Abidjan - Yopougon du 09.03.87 au 02.04.87. Nous tenons à remercier l'équipe de l'URB2 d'Adiopodoumé d'avoir oeuvré pour faciliter le déroulement de cette campagne.

M. BERTHELOT a assuré le suivi des opérations sur le terrain et les dépouillements des mesures effectuées.

J.L. JANEAU, s'est attaché à la description des états de surface. Ses conclusions feront d'autre part l'objet d'un rapport de synthèse portant sur la relation ruissellement-état de surface de l'ensemble des parcelles étudiées en milieu urbain. Il a d'autre part participé au dépouillement des données.

C. BOUVIER, présent à Yopougon du 09 au 15.03.87, a effectué le choix des parcelles et s'est chargé de l'interprétation des mesures, ainsi que de la rédaction de ce rapport.

INTRODUCTION : EXPOSE DES MOTIVATIONS

Les modèles de transformation pluie-débit utilisés pour l'évaluation du ruissellement urbain, d'origine américaine ou européenne pour la plupart, sont appliqués en considérant que les surfaces perméables du bassin ne participent pas au débit de pointe de la crue.

Cette hypothèse ne semble pas convenir aux bassins urbains africains, dont le ruissellement, aussi bien au niveau de la production que du transfert, semble très influencé par la capacité d'absorption des sols.

Un travail de synthèse, réalisé à partir de mesures hydropluviométriques effectuées à Ouagadougou, Niamey, Lomé, Cotonou, Bamako et Abidjan, vise à proposer un modèle de transformation pluie-débit adapté aux spécificités hydrologiques des bassins urbains africains

La campagne de pluies simulées entreprise à Yopougon s'inscrit dans une série de mesures analogues, relative à chacune des villes précitées.

Son principal objectif est de fournir une évaluation expérimentale des pertes par infiltration, évaluation à laquelle nous comparerons les valeurs obtenues par calage du modèle.

1 - RAPPEL SUR LES MECANISMES DE L'INFILTRATION SOUS PLUIES SIMULEES

1.1. Description de l'appareil de mesure (Figure 1)

Le simulateur de pluie utilisé est le fruit d'une dizaine d'années d'expérimentations effectuées par l'ORSTOM, et sous sa forme actuelle, permet de reproduire assez fidèlement les caractéristiques de l'averse :

- énergie cinétique des gouttes d'eau : initialement conçu par des pédologues pour étudier l'érodibilité des sols, l'asperseur est placé sur un bâti d'une hauteur d'environ 5 m.
- grosseur des gouttes d'eau : l'asperseur est constitué par un gicleur produisant un jet dont la grosseur des gouttes d'eau se règle à partir du débit de la pompe d'alimentation en eau.
- intensité de la pluie : celle-ci est variable et obtenue par le réglage de l'angle de balayage de l'asperseur.

La pluie est concentrée sur une parcelle carrée de 1 m de côté, dont l'écoulement est recueilli sur la bordure aval et dirigé vers une cuve dont le niveau est enregistré par un limnigraphe.

1.2. Analyse de l'hydrogramme de ruissellement

L'hydrogramme de ruissellement obtenu dans les conditions du paragraphe précédent, a fait l'objet de nombreuses études en laboratoire ou sur le terrain. LAFFORGUE, qui a utilisé un dispositif expérimental semblable au nôtre, se différenciant exclusivement par la taille de la parcelle (5 m x 10), en donne la description suivante :

"la figure 2 est la traduction graphique de ce qui est le plus généralement observé à l'exutoire.

Le temps a été porté en abscisse avec pour origine l'instant correspondant au début de la pluie. En ordonnée sont portées en millimètre par heure, les variations d'intensité des différents termes du bilan de surface qui sont :

- la hauteur de pluie cumulée $P(t)$ à laquelle correspond l'intensité de ruissellement $I_p(t)$
- la lame d'eau ruisselée cumulée $L(t)$, à laquelle correspond l'intensité de ruissellement $R(t)$,
- la lame d'eau infiltrée cumulée $W(t)$ à laquelle correspond l'intensité d'infiltration $F(t)$,
- la lame d'eau stockée à la surface de la parcelle $S(t)$. Ce terme peut être considéré comme la somme de l'écoulement retenu en surface sous forme de flaques d'une part, et de la hauteur moyenne de la lame d'eau en mouvement à la surface de la parcelle (D_m).

L'hydrogramme de ruissellement (en trait plein sur la figure 2) est constitué, si l'averse est suffisamment longue, par quatre portions de courbe correspondant à des phases bien individualisées du processus : une phase d'imbibition ($R = 0$), une phase transitoire (R croissant), une phase de régime permanent (R constant) et une phase de vidange".

1.2.1. Phase d'imbibition

En début de pluie, le ruissellement est nul pendant une durée t_i . Au cours de cette durée, les pertes à l'écoulement sont donc égales au volume de pluie précipité et sont représentées par :

- le remplissage des dépressions naturelles du sol (volume S_i),
- le volume infiltré.

Le mode opératoire que nous utilisons ne permet pas de dissocier ces deux facteurs au cours de cette phase.

La phase d'imbibition est caractérisée par la mesure de la pluie d'imbibition P_i , égale à l'intensité de la pluie que multiplie la durée d'imbibition t_i .

1.2.2. Phase du régime transitoire

Au cours de cette phase, les valeurs prises par l'intensité de ruissellement $R(t)$ résultent de la superposition de trois phénomènes variables :

- diminution continue de l'infiltration,
- augmentation de la hauteur moyenne de la lame d'eau en mouvement à la surface de la parcelle (détention mobilisable $D_m(t)$),
- augmentation du stockage sous forme de flaques

Ce que traduit le bilan suivant :

$$P(t) - L(t) - W(t) - D_m(t) - S(t) = 0$$

soit en dérivant :

$$I_p(t) - R(t) - F(t) - d D_m(t)/d_t - d S(t)/d_t = 0$$

Vu la complexité des mécanismes en présence que le mode opératoire que nous utilisons ne permet pas d'analyser séparément, la phase de régime transitoire ne peut être caractérisée simplement.

1.2.3. Phase de régime permanent

En régime permanent, la quantité $I_p(t) - R(t)$ est constante et représente effectivement une intensité d'infiltration, que nous noterons F_N .

1.2.4. Phase vidange

Cette phase correspond à la vidange des réserves superficielles mobilisables après l'arrêt de la pluie. Le bilan de surface, écrit à l'instant de la fin du ruissellement t_f permet d'exprimer D_m en fonction de la détention superficielle récupérable pour le ruissellement D_R , directement accessible aux mesures de terrain :

$$D_R = D_m + S(t_u) - S(t_f) + W(t_u) - W(t_f)$$

ou

$$D_m - D_R = S(t_f) - S(t_u) - W(t_u) + W(t_f)$$

quantité minorée par 0 (valeur atteinte dans le cas d'une parcelle imperméable) et majorée par $F_N \cdot t_R$, où t_R désigne le temps de vidange (ou de concentration) de la parcelle.

2. CHOIX DU PROTOCOLE

Compte tenu de nos motivations, nous nous sommes orientés vers un protocole défini pour répondre aux questions suivantes concernant les mécanismes d'infiltration :

- 1) quelle est l'évolution de l'intensité d'infiltration au cours du temps et au bout de combien de temps le régime permanent est-il atteint ?
- 2) quelle est l'influence de l'intensité de la pluie sur l'intensité d'infiltration ?
- 3) quelle est l'influence de l'humidité du sol sur l'intensité d'infiltration ?

La première question nous a conduit à simuler des pluies d'intensité constante, de durée voisine d'une heure. Les premières conclusions obtenues ont permis d'envisager des variations d'intensité de pluie, répondant ainsi partiellement à la deuxième question.

Quant au troisième point, partant de l'hypothèse que, pour les sols rencontrés en milieu urbain, les conditions de ruissellement sont peu sensibles au degré d'humidité des sols, nous avons procédé pour chaque parcelle, à au moins une mesure de ruissellement sur sol sec et une sur sol très humide. Cette façon de faire s'est traduite par une succession de pluies séparées par des temps de ressuyage relativement courts réalisés sur un même site et permet de réduire :

- a) les déplacements de l'appareil, toujours délicats en ville,
- b) la durée de la campagne de façon générale.

Plus précisément, le protocole peut être résumé ainsi, pour une parcelle donnée :

jour n° 1 matin	pluie n° 1	80 mm/h pendant une heure
jour n° 1 après-midi	pluie n° 2	80 mm/h pendant 30 minutes 120 mm/h pendant 15 minutes 80 mm/h pendant 15 minutes
jour n° 2 matin	pluie n° 3	80 mm/h pendant 30 minutes 120 mm/h pendant 15 minutes 40 mm/h pendant 15 minutes 80 mm/h pendant 15 minutes

Chaque pluie est précédée et suivie d'un étalonnage de contrôle des intensités de pluie.

A la fin de chaque pluie, nous avons procédé à une pluie secondaire très courte, survenant moins de dix minutes après la fin de la pluie principale. Cette démarche avait pour but principal de permettre une analyse fine de l'infiltration, mais s'est finalement avérée assez décevante (voir paragraphe 6).

3. CHOIX DES PARCELLES

3.1. Description des sols rencontrés sur les bassins urbains de Yopougon.

Notre premier souci a été d'étudier la variété des sols sur l'ensemble de la ville et une série de prélèvements à la tarière a été préalablement effectuée.

Les parcelles ont été choisies en fonction des différents états de surface représentés sur les bassins expérimentaux étudiés de 1983 à 1984.

Parmi les sept bassins jaugés à Yopougon de 1983 à 1984, les emplacements des parcelles ont été choisis plus particulièrement sur le bassin n°1, dont le type d'habitat dit traditionnel africain cadre plus avec les recherches menées en matière de modélisation de la relation pluie-débit, et pour lequel les mesures hydrométriques réalisées sont de bonne qualité. Il se trouve que la variété des sols rencontrés sur ce bassin est représentative de l'ensemble.

Sur ce bassin, le sol est sablo-argileux de façon homogène. Nous avons constaté que la teneur en argile semblait augmenter avec la profondeur.

En ce qui concerne les différents états de surface, nous avons distingué les sols sans végétation et les sols cultivés ou envahis par les herbes. Pour les premiers, nous avons toujours observé l'existence d'une pellicule plasmique superficielle, surmontant un horizon inférieur constitué de graviers, sables et argiles d'une épaisseur variant de 0 à 10 cm. Parfois, se trouve un horizon supérieur de latérite rapportée de 5 à 10 cm d'épaisseur couvrant l'horizon précédent.

Il convient de noter que les sols cultivés restent relativement rares sur les bassins que nous avons étudiés.

Le nombre de parcelles a été fixé à 6 et chaque emplacement choisi a fait l'objet d'une description détaillée complétée par la méthode préconisée par C. VALENTIN. Les parcelles ont également fait l'objet d'une analyse granulométrique sur les cinq premiers centimètres du sol, et d'une couverture photographique consacrée à l'aspect général de la parcelle avant et après la pluie, d'une part, à des vues de profil pédologique (sur les dix premiers centimètres et sur les cinquante premiers centimètres) d'autre part.

Enfin, des prélèvements du sol ont été effectués, à des profondeurs variables après chaque pluie, pour obtenir des mesures d'humidité pondérales. Ces prélèvements ont été effectués à une distance de 20 à 30 cm à l'extérieur des côtés de la parcelle (tableau 22 et 23).

3.2. Description des parcelles

Les parcelles n°1 et 3 sont situées dans des cours familiales compactées et balayées. On n'observe pas d'horizon à drainage limité mais l'anthropisation forte que subit ce milieu apporte un tassement et un plus fort pourcentage d'argile en surface.

La parcelle n°2 est implantée à la bordure d'une piste carrossable constituée d'un apport latéritique compacté. La croûte structurale de surface possède trois micro-horizons : sables grossiers déliés, sables fins et pellicule plasmique à porosité vésiculaire fine. Le rejaillissement, le tassement, le micro-transfert d'argile et les dépôts laminaires issus du ruissellement sont à l'origine de cette croûte structurale riche en sable. Une variante des états de surface particuliers, de type urbain lié à la composition ou au compactage du sol des voies carrossables et des zones anciennement construites doit être introduite (SDL = sol drainage limité).

Les parcelles n°4 et 5 sont les seules où la végétation a été observée. La parcelle n°4 est un jardin cultivé en maïs. L'expérimentation a eu lieu après le semis, après un travail du sol qui avait détruit les pellicules superficielles. Cependant, l'observation au cours et après les pluies a montré la formation de micro-organisations pelliculaires superficielles (mops), destruction des micro-

agrégats (par l'énergie cinétique des gouttes de pluie) suivie d'un tassement associé à un micro-transfert vertical de l'argile.

La parcelle n°5 est couverte à 80% par une strate herbacée basse (pseudo pelouse), dont le chevelu racinaire fasciculé et l'activité biologique qui y est liée, empêchent toutes formations d'organisations pelliculaires de surface.

La parcelle n°6 a été placée dans une cour d'école. Elle présente une pellicule structurale à trois micro-horizons : des sables grossiers sur 3 à 5 mm d'épaisseur, des sables fins et une pellicule plasmique. Par endroit, le micro-profil révèle quelques gravats riches en plaquettes de ciment. Etat de surface bien spécifique du milieu urbain et variante introduite dans la typologie de référence.

Les parcelles 1, 2, 3, 6 appartiennent au groupe typologique ST3 (figure 5), avec une variante SDL pour les familles 2 et 6.

La parcelle 4 appartient au groupe typologique C3 (figure 6)

La parcelle 5 appartient au groupe typologique DES (figure 7).

Les tableaux 19 à 21 établissent une description récapitulative des parcelles suivant la notation préconisée par C. VALENTIN (voir en annexe la légende explicative).

4. DEPOUILLEMENT DES MESURES

À l'occasion de cette campagne, les mesures ont porté principalement sur le ruissellement et l'infiltration. Nous avons procédé au total à 3 pluies sur chaque parcelle, soit 18 pluies sur l'ensemble des parcelles.

Le dépouillement des enregistrements (tableaux 1 à 18) a permis de calculer pour chaque expérience :

- le début de l'écoulement observé à la sortie de la goulotte, en mn
- $I_p(t)$, l'intensité de la pluie à l'instant t , en mm/h
- $L_p(t)$, la lame précipitée à l'instant, en mm
- $R(t)$, l'intensité de ruissellement à l'instant t , en mm/h
- $L_R(t)$, la lame ruisselée à l'instant t , en mm
- $(I_p - R)(t)$, l'intensité des pertes à l'écoulement à l'instant t , en mm/h
- $(L_p - L_R)(t)$, la lame des pertes à l'écoulement à l'instant t , en mm
- $K_R(t)$, le coefficient de ruissellement à l'instant t , en %
- D_R , la détention récupérable à la fin de la pluie, en mm
- t_R , le temps de vidange de la D_R , en mn.

Pour le dépouillement, nous avons procédé de la façon suivante :

- 1) calcul du volume ruisselé moyen sur des pas de temps successifs de 5 mn, sauf pour le début de l'écoulement.

Ex : si le début de l'écoulement se produit à 2'30", on calcule le volume ruisselé moyen de 2'30" à 5', de 5' à 10', de 10' à 15', etc.
- 2) calcul de l'intensité moyenne de ruissellement R pendant les mêmes pas de temps.
- 3) calcul de la quantité $I_p - R$ pendant les mêmes pas de temps, par différence entre I_p , intensité de la pluie, et R , intensité de ruissellement.

Un changement d'intensité de la pluie définit le début d'un intervalle, au cours duquel le volume ruisselé moyen est calculé avec des valeurs d'intensités de ruissellement extrapolées à partir de l'établissement du régime permanent comme le montre la figure 8.

Dans le tableau figurent donc, dans le cas d'un changement d'intensité de pluie, des valeurs d'intensité de ruissellement et d'infiltration extrapolées, alors que la valeur de la lame ruisselée est celle qui est effectivement indiquée sur le diagramme (L_{R_0} sur la figure 6).

Cette façon de procéder permet d'une part, de traduire plus fidèlement l'évolution des valeurs d'infiltration et d'autre part, de calculer si on le souhaite les variations de la détention mobilisable de surface consécutive à un changement d'intensité de pluie.

Les valeurs extrapolées (changement d'intensité de pluie ou autre raison) figurent dans les tableaux entre parenthèses.

Pour tracer les courbes représentatives de l'intensité des pertes à l'écoulement $(I_p - R)(t)$, la valeur moyenne de l'intensité a été datée au centre de l'intervalle dt .

5. INTERPRETATION DES MESURES

Sur les figures 9 à 14, nous avons représenté, pour chaque parcelle, l'évolution des valeurs obtenues en soustrayant l'intensité du ruissellement R à l'intensité de la pluie I_p , en fonction du temps. Comme nous l'avons vu au paragraphe 1.2, ces valeurs ne peuvent être assimilées à des intensités d'infiltration qu'à partir du début du régime permanent.

Nous avons admis que l'indice de saturation I_k fournit une représentation convenable de l'état d'humidité du sol et nous avons associé les deux états extrêmes d'humidité à $I_k = 0$ et $I_k = 120$; cette seconde valeur, assez arbitraire, caractérise la plupart du temps les pluies survenant à la fin de notre protocole. Des mesures d'humidité pondérale du sol ont été réalisées sur les 25 premiers centimètres du sol (tableaux 22 et 23).

5.1. La qualité des mesures

En dépit d'une surveillance assez étroite des expériences, certains facteurs peuvent venir affecter la précision des mesures. Nous citerons, parmi les principaux, les fluctuations de la pression de débit ou des perturbations dues à des courants d'air intempestifs. (erreur sur I_p), ainsi que l'obstruction partielle des trous de vidange du cadre de la parcelle (erreur sur R).

Si ces erreurs ont finalement peu de conséquences sur les valeurs de ruissellement mesurées, il n'en est pas de même pour les intensités d'infiltration, dont l'ordre de grandeur est parfois voisin de la précision des mesures. Par exemple, si on s'accorde à fixer à 5% la précision de l'étalonnage de l'appareil, l'incertitude sur l'intensité d'infiltration sera de 5mm/h pour une intensité de pluie de 100 mm/h et de 2 mm/h pour une intensité de pluie de 40 mm/h. Ainsi, devra-t-on interpréter avec la plus grande prudence les résultats relatifs aux faibles valeurs d'infiltration et aux fortes valeurs de pluie.

Le tableau 24 indique les valeurs des intensités de pluies obtenues lors du pré-étalonnage et du post étalonnage effectués systématiquement pour chaque expérience : ce contrôle fait apparaître des différences parfois assez importantes, qui dépassent 2 fois 10 % et 12 fois 5 %.

5.2. Coefficient de ruissellement

Pour chaque parcelle, nous avons calculé les coefficients de ruissellement relatifs à des pluies de 40 mm, pour les états d'humidité du sol correspondant à $I_k = 0$ et I_k max (au moins égal à 120), définissant ainsi K_r sec et K_r humide :

$$K_r = (L_r(t_0) + D_r) / 40$$

avec t_0 = durée de la pluie de hauteur 40 mm.

Le tableau suivant :

Parcelle	1	2	3	4	5	6
Kr sec (%)	76*	86	93		0	84
Kr saturé (%)	95	92	95	74	21	86

* pour une pluie de 30 mm.

montre que ces valeurs sont remarquablement fortes, sur sol nus (parcelles 1-2-3-6), puisqu'elles dépassent 76 % sur sol sec et 86 % sur sol humide.

5.3. Pluie d'imbibition

La pluie d'imbibition P_i est définie comme étant la quantité de pluie totalement interceptée (infiltration + stockage + évaporation) au début de l'averse.

En toute rigueur, la comparaison des quantités P_i n'est significative que pour des intensités de pluie identiques, puisque l'intensité de remplissage des dépressions naturelles du sol est proportionnelle à I_p , alors que l'intensité d'infiltration ne l'est pas.

En pratique, compte tenu de la faiblesse des volumes stockés, nous considérerons que la quantité P_i ne dépend que des caractéristiques du sol et pourrons comparer ainsi les réactions initiales de chaque parcelle, pour chaque pluie.

Nous avons calculé ces valeurs (tableau 25) :

sur sol nu, P_i varie de 1,3 à 3,6 mm sur sol initialement sec
de 1,0 à 2,1 mm sur sol initialement humide.

Sur sol à couvert végétal, P_i varie de 21,7 à 48,5 mm sur sol initialement sec
de 6,4 à 18,6 mm sur sol initialement humide.

5.4. Intensité d'infiltration à saturation F_N

Après le début du ruissellement, survenant généralement assez tôt (moins de 5 minutes dans la plupart des cas), l'intensité de ruissellement R croît et se stabilise autour d'une valeur constante R_x . A ce moment, les pertes dues au remplissage des dépressions du sol sont nulles et la valeur $F_N = I_p - R_x$ correspond effectivement à une intensité d'infiltration.

Le tableau 26 indique pour chaque pluie de chaque parcelle les valeurs de F_N , ainsi que la durée approximative t_s écoulée pour atteindre cette valeur limite.

Sur sol nu :

le régime permanent est atteint entre 10 à 20 minutes sur sol initialement sec
et entre 5 à 20 minutes sur sol initialement humide

L'intensité limite d'infiltration F_N alors atteinte est de l'ordre de

4 à 7 mm/h sur sol initialement sec
1 à 8 mm/h sur sol initialement humide.

5.5. Influence de l'intensité de la pluie I_p sur l'intensité d'infiltration

L'influence de I_p sur le ruissellement expérimental R ou son complémentaire $I_p - R$ est assez difficile à caractériser :

- en cours de régime permanent, les variations effectuées sur l'intensité de la pluie ne provoquent pas de variations significatives de l'intensité d'infiltration ; les écarts enregistrés semblent en effet aléatoirement positifs ou négatifs et ont une amplitude qui ne dépasse guère la précision que l'on peut atteindre en ce qui concerne l'étalonnage de la pluie.
- en régime transitoire ou d'imbibition, compte tenu de la complexité et de la superposition de plusieurs mécanismes, seul un nombre important d'expériences pourrait permettre de répondre à cette question de façon statistique.

Plus généralement, en régime transitoire ou en phase d'imbibition, la représentation expérimentale des pertes à l'écoulement est liée aux choix de l'intensité de la pluie.

Par exemple, imaginons 2 parcelles dont les caractéristiques hydrodynamiques sont absolument identiques :

- mêmes capacités d'infiltration F
- mêmes capacités de stockage S

et imaginons que l'on procède à une pluie simulée sur chacune d'elles dans des conditions expérimentales identiques, à l'exception de l'intensité de la pluie simulée.

Supposons par exemple que $I_1 = 2I_2$ et supposons que le stockage superficiel est terminé à la fin du palier d'imbibition et que l'intensité d'infiltration ne dépende pas de l'intensité de la pluie, ce qui simplifiera notre raisonnement sans perdre en généralité. Dans ces conditions, la figure n° 17 représente approximativement les courbes expérimentales des pertes à l'écoulement que nous obtiendrons. Les courbes obtenues sont assez différentes et semblent démentir l'identité des caractéristiques hydrodynamiques des 2 parcelles que nous avons posé par hypothèse, alors que ce biais n'est imputable qu'au mode opératoire choisi.

Plus généralement, lorsqu'il s'agit de comparer les résultats expérimentaux obtenus sur un ensemble de parcelles dont les reliefs et les rugosités différentes induisent des variations de volume stocké ou de détention mobilisable superficielle, il conviendrait, pour obtenir des comparaisons significatives :

- 1) de travailler avec une intensité de pluie commune avant l'établissement du régime permanent pour l'ensemble des expériences;
- 2) de s'affranchir de la représentation actuelle ne permettant pas de distinguer séparément les mécanismes de rétention en présence avant le régime permanent. Cette question fait l'objet du paragraphe 6.

Les résultats expérimentaux seront donc à référencer à cette intensité de pluie choisie, sans qu'il existe de relation connue permettant de les transposer à une autre intensité de pluie.

Dans notre étude, nous avons utilisé systématiquement une intensité de pluie égale à 80 mm/h jusqu'à établissement du régime permanent.

5.6. Représentativité des mesures

L'examen des figures 15 et 16 sur lesquelles ont été tracées les courbes représentatives des pertes à l'écoulement sur chaque parcelle, respectivement pour $I_k = 0$ et pour $I_k > 120$, montre que, pour un I_k donné, les valeurs $(I_p - R)(t)$ sont très voisines pour l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus sur sols nus (parcelles 1-2-3-6).

- 1) Pour ce groupe de parcelles, nous avons construit des courbes médianes, représentatives des intensités des pertes à l'écoulement, respectivement pour $I_k = 0$ et $I_k > 120$ (figure 17).

Pour I_k donné, nous avons procédé de la façon suivante :

- calcul de la pluie d'imbibition P_i médiane
- calcul des valeurs médianes de $I_p - R$, pour des valeurs de t suffisamment grandes pour que les paliers initiaux soient terminés.
- représentation lissée de la courbe médiane pour une intensité $I_p = 80$ mm/h.

Les valeurs médianes calculées figurent dans les tableaux 27 et 28.

Le tableau suivant donne les principales caractéristiques, calculées à partir des courbes médianes, de l'hydrogramme de ruissellement obtenu sur sol nu sous pluie simulée :

	Pi mm	t _s mm	F _N mm/h	D _R mm
Sol nu initialement sec	2,1	15	5	0,6
Sol nu initialement humide	1,7	10	2	0,6

Nous avons ensuite déterminé à l'aide de ces courbes médianes les valeurs cumulées des pertes à l'écoulement en fonction du temps (tableau 29) de la manière suivante : pour une durée t₀ donnée,

- nous avons d'abord calculé par intégration l'aire comprise entre l'axe des abscisses et la courbe médiane I_p-R, l'axe des ordonnées et l'axe t = t₀.
- à cette valeur il convient en toute rigueur de retrancher le volume de ruissellement récupéré après la fin de la pluie, c'est à dire D_R si le régime permanent est atteint, α(t).D_R sinon avec 0 ≤ α(t) < 1

Compte tenu du faible ordre de grandeur de D_R par rapport à la précision de la mesure, nous avons négligé cette correction.

Plus généralement, les valeurs des pertes à l'écoulement ainsi obtenues peuvent être considérées comme étant représentatives des sols nus rencontrés sur l'ensemble du bassin urbain de Yopougon.

Pour fixer les idées, nous retiendrons que le cumul des pertes à l'écoulement sur l'ensemble des parcelles 1, 2, 3 et 6 et pour une pluie d'une durée de 60 mn, de l'ordre de 8,6 mm sur sol sec et de 4,8 mm sur sol humide.

- 2) En ce qui concerne la parcelle n°4, représentative des sols cultivés, il est assez difficile de caractériser son comportement de façon précise. Ce comportement varie au gré des restructurations liées à l'action de la pluie sur un sol initialement travaillé d'une part. Dans notre cas, la restructuration du sol prédomine, puisqu'on voit apparaître une nouvelle pellicule qui rapproche cette parcelle du groupe précédent. Mais cette tendance peut évoluer différemment en cours de saison des pluies. Compte tenu de la faible proportion de sols cultivés sur les bassins urbains de Yopougon, nous ne détaillerons pas l'étude de cette parcelle.
- 3) Les pluies réalisées sur la parcelle n°5, représentative d'un sol "pelouse" assez répandu sur les bassins de Yopougon, ne donnent lieu qu'à des faibles écoulements : pratiquement nul sur sol initialement sec pour la pluie n°1, malgré des intensités de pluie de 120 mm/h, le ruissellement maximal est observé au cours de la pluie n°3, dont les très fortes intensités surviennent sur un sol saturé, dans des circonstances très rares donc, même en saison des pluies. Au cours de cette pluie, le régime permanent a été atteint au bout de 45 minutes, avec une intensité d'infiltration de l'ordre de 40 mm/h.

Compte tenu du caractère très exceptionnel des conditions expérimentales liées à ce ruissellement d'une part, et du contexte urbain d'autre part, on peut considérer que ce type de surface n'a pas à être pris en compte pour l'évaluation des volumes et des débits d'eaux pluviales à évacuer par le réseau d'assainissement.

6. MODELISATION DE L'INFILTRATION

Nous avons vu que les résultats expérimentaux I_p -R ne représentent effectivement des intensités d'infiltration qu'au cours de la phase de régime permanent.

Avant l'établissement de ce régime permanent, la prise en compte d'autres mécanismes de rétention peut nuire à la qualité des comparaisons des résultats expérimentaux sur un ensemble de parcelles. C'est le cas notamment des expériences démarrant avec des intensités de pluie différentes, ou encore des expériences pour lesquelles une mauvaise installation de la parcelle conduit à un stockage exagéré (par suite du mauvais fonctionnement des trous de la parcelle, ou de mauvaise estimation du sens de la pente).

Ceci nous a incité à essayer d'analyser séparément les différents mécanismes de rétention en présence au cours des expériences sous pluies simulées.

- le stockage superficiel S , dont nous supposons que le maximum est atteint à l'instant t_i , ce qui consiste à négliger le terme S_m (voir figure2),
- la détention mobilisable superficielle D_m ,
- la courbe de l'infiltration réelle F ,

Ce domaine a déjà été exploré par LAFFORGUE qui préconisait

- 1) de réaliser un train de pluie pour déterminer le volume stocké S_i à la surface de la parcelle,
- 2) de caractériser une relation entre D_R et D_m au moyen de deux coefficients A et ω et qui proposait un système d'équation permettant de déterminer les paramètres F_0 , F_N et k de l'infiltration représentés conceptuellement sous la forme d'une fonction de type Horton.
$$F(t) = F_N + (F_0 - F_N) \exp(-kt)$$

Nous avons pour notre part adapté ces méthodes à notre protocole.

6.1. Evaluation de la détention mobilisable superficielle D_m

Comme nous l'avons vu dans le paragraphe 1.2.4, la quantité $D_m - D_R$ est minorée par 0 et majorée par $F_N \cdot t_R$, où t_R désigne le temps de vidange de la parcelle

Le tableau 30 indique quelles sont les valeurs de D_R et de $D_R + F_N \cdot t_R$ obtenues pour toutes les pluies.

Compte tenu des faibles ordres de grandeur de F_N , on obtient finalement une estimation de D_m relativement précise. Choisir comme valeur de D_m le milieu de l'intervalle permet en particulier d'avoir des estimations de D_m à moins de 20% près dans la plupart des cas.

6.2. Evaluation du volume stocké S_i

- Nous supposons que l'intensité d'infiltration reste égale à F_0 pendant une durée assez courte (5 à 10 mn) après la fin de la pluie.
- dans ce cas, si nous procédons à une deuxième pluie survenant aussitôt après que l'eau de la première se soit totalement infiltrée sur la parcelle, et à conditions que le laps de temps séparant la fin de la première pluie et le début de la seconde pluie soit suffisamment court, on peut assimiler le volume d'eau S_i stocké à la surface de la parcelle à la quantité.

$$S_i = \int_0^{t_s} (I_p - R)(t) dt - F_N t_s - D_m$$

t_s désigne l'instant où $(I_p - R)(t) = F_N$ et correspond pratiquement dans ce cas à t_i , instant de la fin du stockage.

On peut arrêter cette deuxième pluie dès la saturation du sol, atteinte très rapidement.

Le tableau 31 indique quelles sont les valeurs de S_i obtenues pour toutes les pluies.

Il est assez décevant de constater que le volume stocké ne semble pas être un invariant de la parcelle puisque, à l'exception de la parcelle n°4, les valeurs de S_i obtenues sur chaque parcelle pour l'ensemble des trois pluies sont assez dispersées. Il faut certainement y voir les limites de la méthode qui implique des données expérimentales dont l'ordre de grandeur est inférieur à la précision de la mesure, et qui se fonde elle-même sur nombre d'approximations. En particulier, il eut sans doute fallu tenir compte du décalage dans le temps dû au temps de transfert de l'écoulement sur la parcelle.

6.3. Détermination des coefficients F_0 et k

La résolution du problème de détermination des coefficients F_0 et k conduit à deux systèmes d'équations suivant le cas où l'intensité de pluie est supérieure ou inférieure à l'intensité initiale d'infiltration F_0 .

LAFFORGUE fait intervenir une variable intermédiaire F_i désignant l'intensité d'infiltration à la date t_i et obtient deux systèmes de trois équations.

Pour notre part, nous proposons d'écrire le bilan hydrologique de la parcelle entre les instants 0 et t_i d'une part, t_i et t_u d'autre part, ce qui conduit au système d'équations:

$$k = \frac{1}{t_i} \text{Ln} \left(\frac{P_i - S_i - F_N t_i}{P_u - P_i - L_u - D_m - F_N (t_u - t_i)} \right)$$

$$F_0 = F_N + (P_i - S_i - F_N t_i) \cdot \frac{k}{1 - \exp(-k.t_i)}$$

valable dans le cas où $F_0 < I_p$.

Nous ne discuterons pas plus en détail ces méthodes, qui, dans le cas de notre problème, restent pratiquement inapplicables compte tenu de la relation imprécision des données.

CONCLUSION

L'étude des sols naturels rencontrés en zone urbaine à Yopougon a montré que ceux-ci pouvaient être classés en deux catégories dominantes en regard de leurs caractéristiques hydrodynamiques : les sols nus et les sols recouverts d'une végétation persistante de type herbacé.

En ce qui concerne les sols nus, le premier résultat important est que, pour un indice d'humectation du sol I_k donné, les valeurs expérimentales de ruissellement obtenues sur l'ensemble des parcelles sont très proches les unes des autres.

Un second résultat remarquable est que les valeurs du ruissellement sont très fortes.

Ces deux résultats sont très probablement liés au fait que la formation de croûtes superficielles est prépondérante quant au ruissellement, et que les principaux facteurs liés à la formation de croûte de surface sont tous présents à Yopougon pour cette catégorie de sols.

- absence de matières organiques,
- absence de couvert végétal
- absence de micro-relief lié au travail du sol.

Aussi ne doit-on pas s'étonner que les sols urbains, souvent remaniés et d'apport en matériaux divers, aient malgré tout des caractéristiques hydrodynamiques semblables et obéissent aux mêmes lois que les sols naturels situés en zone rurale. Ceci constitue en tout cas un point très positif en ce qui concerne l'exploitation des résultats expérimentaux, et même en ce qui concerne leur "prédictibilité".

En ce qui concerne les sols recouverts de végétation persistante de type herbacé, les mesures expérimentales ont montré que, sauf conditions exceptionnelles rarement rencontrées en saison des pluies, le ruissellement est pratiquement nul.

A un autre niveau, il convient de s'interroger sur l'invariance des résultats obtenus en fonction des intensités de pluie choisies dans le protocole. A ce sujet, il bon de rappeler quelques éléments du protocole et les résultats obtenus :

- 1) une intensité de pluie commune à toutes les expériences et égale à 80 mm/h a été choisie jusqu'à obtention du régime permanent.
- 2) l'intensité de pluie ne semble pas influencer significativement l'intensité d'infiltration en régime permanent.
- 3) Cette influence existe éventuellement en régime transitoire, mais compte tenu des durées relativement courtes nécessaires pour atteindre le régime permanent, elle reste probablement négligeable dans le calcul des pertes à l'écoulement cumulées.

Dans ces conditions, les résultats expérimentaux obtenus peuvent être considérés comme étant indépendants du protocole utilisé.

Enfin, le problème qui demeure est celui de déterminer pour chacun des bassins les proportions de surface représentées respectivement par chacune des deux catégories de sols définies précédemment ; il constitue l'étape à venir dans l'exploitation d'un modèle de ruissellement urbain dans le contexte particulier de l'agglomération d'Abidjan-Yopougon.

Bibliographie :

- HILLEL (D.) : "Soil and Water : Physical principles and processes."
Academic Press - 1974
- LAFFORGUE (A.) : "Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées."
Cahiers ORSTOM, Sér. Hydrologie, vol. XIV, n°4, 1977
- LAFFORGUE (A.) "Exemple d'analyse expérimentale des facteurs de ruissellement sous pluies simulées."
NAAH (E.) : Cahiers ORSTOM, sér. Hydrologie, vol. XIII, n° 3, 1976
- VALENTIN (C.) : "Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols en région subdésertique (Agadez - République du Niger)- Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau."
Thèse doctorat 3ème cycle - Université PARIS 7- 1981
- SIGHOMNOU (D.) : "Assainissement pluvial en zone urbaine en Afrique Tropicale - Cas de Yopougon (Côte d'Ivoire)"
Thèse de 3ème cycle - Université des Sciences et Techniques du Languedoc - 1986.

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Pluie simulée	n°1	sur la parcelle	n°1
Tableau 2 :	"	n°2	"	n°1
Tableau 3 :	"	n°3	"	n°1
Tableau 4 :	"	n°1	"	n°2
Tableau 5 :	"	n°2	"	n°2
Tableau 6 :	"	n°3	"	n°2
Tableau 7 :	"	n°1	"	n°3
Tableau 8 :	"	n°2	"	n°3
Tableau 9 :	"	n°3	"	n°3
Tableau 10 :	"	n°1	"	n°4
Tableau 11 :	"	n°2	"	n°4
Tableau 12 :	"	n°3	"	n°4
Tableau 13 :	"	n°1	"	n°5
Tableau 14 :	"	n°2	"	n°5
Tableau 15 :	"	n°3	"	n°5
Tableau 16 :	"	n°1	"	n°6
Tableau 17 :	"	n°2	"	n°6
Tableau 18 :	"	n°3	"	n°6
Tableau 19 :	Description des parcelles - Recouvrement			
Tableau 20 :	Description des parcelles - Organisation de surface			
Tableau 21 :	Description des parcelles - Sol			
Tableau 22 :	Mesures d'humidité pondérale effectuées sur les parcelles 1,2,3			
Tableau 23 :	Mesures d'humidité pondérale effectuées sur les parcelles 4,5,6			
Tableau 24 :	Intensité des pluies obtenues en pré-étalonnage et en post-étalonnage			
Tableau 25 :	Pluie d'imbibition			
Tableau 26 :	Intensité limite d'infiltration			
Tableau 27 :	Calcul des valeurs médianes - Sol initialement sec			
Tableau 28 :	Calcul des valeurs médianes - Sol initialement humide			
Tableau 29 :	Cumul des pertes à l'écoulement			
Tableau 30 :	Détection récupérable D_R et mobilisable D_m			
Tableau 31 :	Volume stocké S_i			

Tableau 1

Parcelle : YP 1

Date : 11/03/87

Pluie n° 1

$I_K = 0$

Heure début : 10h

$D_{R_1} = 0,6$ mm

Durée de vidange de la D_{R_1} : 4 mn30

$D_{R_2} = 0,6$ mm

Durée de vidange de la D_{R_2} : 3 mn30

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
2,5	87,3	3,6	0	0	87,3	3,6	0
5	87,3	7,3	62,4	2,6	24,9	4,7	36
10	87,3	14,6	74,4	8,8	12,9	5,8	60
15	87,3	21,9	78,0	15,3	9,3	6,6	70
20	87,3	29,1	74,4	21,5	12,9	7,6	74
26	0	0	0	0	0	0	0
26,5	87,3	0,7	0	0	87,3	0,7	0
31	87,3	7,3	72,0	5,2	15,3	2,1	71
36	87,3	14,6	79,2	11,8	8,1	2,8	81

Observations : Pluie principale interrompue au bout de 20 minutes par manque de réserve en eau.

Tableau 2

Parcelle : YP 1

Date : 11/03/87

Pluie n° 2

 $I_K = 38,9$

Heure début : 15h45

 $D_{R_1} = 0,6 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 3 mn. $D_{R_2} = 0,8 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_2} : 3 mn.

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
1,5	81,3	2,0	0	0	81,3	2,0	0
5	81,3	6,8	78,9	4,6	2,4	2,2	68
10	81,3	13,6	76,8	11,0	4,5	2,6	81
15	81,3	20,3	79,2	17,6	2,1	2,7	87
20	81,3	27,1	79,2	24,2	2,1	2,9	89
25	81,3	33,9	81,6	31,0	-0,3	2,9	91
30	81,3	40,7	84,0	38,0	-2,7	2,7	93
35	81,3	47,4	80,4	44,7	0,9	2,7	94
40	81,3	54,2	80,4	51,4	0,9	2,8	95
45	81,3	61,0	80,4	58,1	0,9	2,9	95
51	0	0	0	0	0	0	0
51,5	81,3	0,7	0	0	81,3	0,7	0
56	81,3	6,8	77,3	5,8	4,0	1,0	85
61	81,3	13,6	80,4	12,5	0,9	1,1	92

Tableau 3

Parcelle : YP 1

Date : 12/03/87

Pluie n° 3

 $I_k = 79,8$

Heure début : 10h22

 $D_{R_1} = 0,7$ mmDurée de vidange de la D_{R_1} : 3 mn. $D_{R_2} = 0,7$ mmDurée de vidange de la D_{R_2} : 3 mn.

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
1,5	83,4	2,1	0	0	83,4	2,1	0
5	83,4	7,0	80,6	4,7	2,8	2,3	67
10	83,4	13,9	84,0	11,7	-0,6	2,2	84
15	83,4	20,9	81,6	18,5	1,8	2,4	89
20	83,4	27,8	81,6	25,3	1,8	2,5	91
25	83,4	34,8	84,0	32,3	-0,6	2,5	93
30	83,4	41,7	79,3	38,9	4,1	2,8	93
35	83,4	48,7	80,4	45,6	3,0	3,1	94
40	83,4	55,6	82,8	52,5	0,6	3,1	94
45	83,4	62,6	80,4	59,2	3,0	3,4	95
50	83,4	69,5	80,4	65,9	3,0	3,6	95
55	83,4	76,5	82,8	72,8	0,6	3,7	95
60	83,4	83,4	84,0	79,8	-0,6	3,6	96
66	0	0	0	0	0	0	0
66,5	81,0	0,7	0	0	81,0	0,7	0
71	81,0	6,8	77,3	5,8	3,7	1,0	85
76	81,0	13,5	78,0	12,3	3,0	1,2	91

Tableau 4

Parcelle : YP 2

Date : 13/03/87

Pluie n° 1

 $I_K = 0$

Heure début : 10h30

Durée de la pluie : 65mn

 $D_{R_1} = 0,5 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 3 mn. $D_{R_2} = 0,5 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_2} : 3 mn.

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
1	79,8	1,3	0	0	79,8	1,3	0
5	79,8	6,7	51,0	3,4	28,8	3,3	51
10	79,8	13,3	69,6	9,2	10,2	4,2	69
15	79,8	20,0	72,0	15,2	7,8	4,8	76
20	79,8	26,6	73,2	21,3	6,6	5,3	80
25	79,8	33,3	75,6	27,6	4,2	5,7	83
30	79,8	39,9	76,0	33,9	3,8	6,0	85
35	79,8	46,6	74,4	40,1	5,4	6,5	86
40	79,8	53,2	75,6	46,4	4,2	6,8	87
45	79,8	59,9	76,8	52,8	3,0	7,1	88
50	-	-	(98,4)	61,1	-	-	-
55	-	-	98,0	69,2	-	-	-
60	-	-	103,2	77,8	-	-	-
65	-	-	103,2	86,4	-	-	-
75	0	0	0	0	0	0	0
75,5	81,5	0,7	0	0	81,5	0,7	0
80	81,5	6,8	80,0	6,0	1,5	0,8	88
85	81,5	13,6	79,2	12,6	2,3	1,0	93
90	81,5	20,4	79,2	19,2	2,3	1,2	94

Observations : lacune d'étalonnage de l'intensité de pluie à partir de t = 45 mn.

Tableau 5

Parcelle : YP 2

Date : 13/03/87

Pluie n° 2

 $I_K = 110,7$

Heure début : 16h05

Durée de la pluie : 30mn

 $D_{R_1} =$
 $D_{R_2} = 0,7 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} :
Durée de vidange de la D_{R_2} : 3 mn.

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p - R)(t)$ mm/h	$(L_p - L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
0,5	70,8	0,6	0	0	70,8	0,6	0
5	70,8	5,9	66,7	5,0	4,1	0,9	85
10	70,8	11,8	69,6	10,8	1,2	1,0	92
15	70,8	17,7	70,8	16,7	0	1,0	94
20	70,8	23,6	68,4	22,4	2,4	1,2	95
25	70,8	29,5	72,0	28,4	- 1,2	1,1	96
30	70,8	35,4	70,0	34,2	0,8	1,2	97
35	70,8	41,3	72,0	40,2	- 1,2	1,1	97
40	96,3	49,3	(100,8)	48,4	(- 4,5)	(0,9)	98
45	96,3	57,4	96,0	56,4	0,3	1,0	98
47,5	96,3	61,4	100,8	60,6	- 4,5	0,8	99
55	0	0	0	0	0	0	0
55,5	96,3	0,8	0	0	96,3	0,7	0
60	96,3	8,0	108,0	8,1	- 11,7	- 0,1	101
65	96,3	16,1	98,4	16,3	- 2,1	- 0,2	101
67,5	96,3	20,1	98,4	20,4	- 2,1	- 0,3	102

Observations : absence de post-étalonnage
lacune dans la D_{R_1}

Tableau 6

Parcelle : YP 2

Date : 14/03/87

Pluie n° 3

 $I_K = 139,6$

Heure début : 9h20

 $D_{R_1} = 0,5$ $D_{R_2} = 0,4$ mmDurée de vidange de la D_{R_1} : 3 mn.Durée de vidange de la D_{R_2} : 3 mn.

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
0,75	78,3	1,0	0	0	78,3	1,0	0
5	78,3	6,5	72,0	5,1	6,3	1,4	79
10	78,3	13,1	76,8	11,5	1,5	1,6	89
15	78,3	19,6	76,8	17,9	1,5	1,7	91
20	78,3	26,1	75,6	24,2	2,7	1,9	93
25	78,3	32,6	75,6	30,5	2,7	2,1	94
30	111,5	41,9	(110,4)	38,2	(1,1)	3,7	91
35	111,5	51,2	112,8	47,6	-1,3	3,6	93
40	111,5	60,5	114,0	57,1	-2,5	3,4	94
45	111,5	69,8	103,2	64,7	8,3	4,1	93
50	111,5	79,1	114,0	75,2	-2,5	3,9	95
52,5	111,5	83,7	112,8	79,9	-1,3	3,8	96
59	0	0	0	0	0	0	0
64	78,3	6,5	75,6	6,3	2,7	0,2	97
69	78,3	13,1	78,0	12,8	0,3	0,3	98
74	78,3	19,6	78,0	19,3	0,3	0,3	99
79	78,3	26,1	75,6	25,6	2,7	0,5	98

Observation : changement d'intensité de pluie en cours de vidange entre $t = 25$ mn et $t = 30$ mn

Tableau 7

Parcelle : YP 3

Date : 23/03/87

Pluie n° 1

 $I_k = 3,0$

Heure début : 15h34

 $D_{R_1} = 0,9\text{mm}$ $D_{R_2} = 0,9\text{mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 3 mn.Durée de vidange de la D_{R_2} : 3 mn.

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
1	81,6	1,4	0	0	81,6	1,4	0
5	81,6	6,8	66,0	4,4	15,6	2,4	65
10	81,6	13,6	76,8	10,8	4,8	2,8	79
15	81,6	20,4	76,8	17,2	4,8	3,2	84
20	81,6	27,2	78,0	23,7	3,6	3,5	87
25	81,6	34,0	81,6	30,5	0	3,5	90
30	81,6	40,8	76,8	36,9	4,8	3,9	90
35	81,6	47,6	81,6	43,7	0	3,9	92
37,5	81,6	51,0	81,6	47,1	0	3,9	92
44,5	0	0	0	0	0	0	0
45	81,6	0,7	0	0	81,6	0,7	0
49,5	81,6	6,8	76,0	5,7	5,6	1,1	84
54,5	81,6	13,6	76,8	12,1	4,8	1,5	89
57	81,6	17,0	76,8	15,3	4,8	1,7	90

Observation : pluie de 61,0 mm le 17/03/87

Tableau 8

Parcelle : YP 3

Date : 24/03/87

Pluie n° 2

 $I_K = 48,8$

Heure début : 10h40

 $D_{R_1} = 1,0 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 3 mn. $D_{R_2} = 0,7 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_2} : 3 mn.

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
2	39,4	1,3	0	0	39,4	1,3	0
5	39,4	3,3	32,0	1,6	7,4	1,7	49
10	39,4	6,6	36,0	4,6	3,4	2,0	70
15	39,4	9,9	37,2	7,7	2,2	2,2	78
20	83,2	16,8	(79,2)	14,0	(4,0)	2,8	83
25	83,2	23,7	79,2	20,6	4,0	3,1	87
30	83,2	30,7	79,2	27,2	4,0	3,5	89
35	83,2	37,6	76,8	33,6	6,4	4,0	89
40	83,2	44,5	82,8	40,5	0,5	4,0	91
45	83,2	51,5	80,4	47,2	2,8	4,3	92
50	124,5	61,8	(122,4)	57,0	(2,1)	4,8	92
55	124,5	72,2	122,4	67,2	2,1	5,0	93
60	124,5	82,6	124,8	77,6	-0,3	5,0	94
70	0	0	0	0	0	0	0
70,5	83,2	0,7	0	0	83,2	0,7	0
75	83,2	6,9	77,3	5,8	5,9	1,1	84
80	83,2	13,9	79,2	12,4	4,0	1,5	89
85	83,2	20,8	80,4	19,1	2,8	1,7	92

Tableau 9

Parcelle : YP 3

Date : 24/03/87

Pluie n° 3

$I_K = 137,9$

Heure début : 16h45

$D_{R_1} = 0,5 \text{ mm}$

$D_{R_2} = 0,8 \text{ mm}$

Durée de vidange de la D_{R_1} : 4 mn30.

Durée de vidange de la D_{R_2} : 4 mn.

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
0,75	80,2	1,0	0	0	80,2	1,0	0
5	80,2	6,7	67,8	4,8	12,4	1,9	72
10	80,2	13,4	79,2	11,4	1,0	2,0	85
15	80,2	20,1	78,0	17,9	2,2	2,2	89
20	80,2	26,7	80,4	24,6	- 0,2	2,1	92
25	80,2	33,4	76,0	31,0	3,4	2,4	93
30	80,2	40,1	79,2	37,6	1,0	2,5	94
35	114,6	49,7	(110,4)	46,3	(4,2)	3,4	93
40	114,6	59,3	110,4	55,5	4,2	3,8	94
45	114,6	68,8	110,4	64,7	4,2	4,1	94
50	38,4	72,0	(36,0)	68,6	(2,4)	3,6	95
55	38,4	75,2	36,0	71,6	2,4	3,6	95
60	38,4	78,4	36,0	74,6	2,4	3,8	95
70	0	0	0	0	0	0	0
70,75	80,2	1,0	0	0	80,2	1,0	0
75	80,2	6,7	72,0	5,1	8,2	1,6	76
80	80,2	13,4	78,0	11,6	2,2	1,8	87
85	80,2	20,1	76,8	18,0	3,4	2,1	90

Tableau 10

Parcelle : YP 4

Date : 25/03/87

Pluie n° 1

 $I_K = 0$

Heure début : 10h

 $D_{R_1} = 0,4 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 3 mn. $D_{R_2} = 0,8 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_2} : 8 mn.

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
16	81,2	21,7	0	0	81,2	21,7	0
20	81,2	27,1	39,0	3,3	42,2	23,8	12
25	81,2	33,8	54,0	7,8	27,2	26,0	23
32,5	81,2	44,0	-	-	-	-	-
37,5	116,1	53,7	(108,0)	-	(8,1)	-	-
42,5	116,1	63,3	106,0	-	10,1	-	-
47,5	116,1	73,0	104,0	-	12,1	-	-
52,5	42,1	76,5	(27,6)	-	(14,5)	-	-
57,5	42,1	80,0	26,4	-	15,7	-	-
62,5	42,1	83,5	33,0	-	9,1	-	-
70	0	0	0	0	0	0	0
70,75	81,2	1,0	0	0	81,2	1,0	0
75	81,2	6,8	57,9	4,1	23,3	2,7	60
80	81,2	13,5	72,0	10,1	9,2	3,4	75
85	81,2	20,3	73,2	16,2	8,0	4,1	80

Observation : Pompe d'alimentation en panne de t = 25 mn à t = 28 mn

Tableau 11

Parcelle : YP4

Date : 25/03/87

Pluie n° 2

 $I_K = 94,5$

Heure début : 16h06

 $D_{R_1} = 0,4 \text{ mm}$ $D_{R_2} = 0,7 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 3 mn30.Durée de vidange de la D_{R_2} : 3 mn.

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
0,5	78,8	0,7	0	0	78,8	0,7	0
5	78,8	6,6	69,3	5,2	9,5	1,4	79
10	78,8	13,1	70,8	11,1	8,0	2,0	85
15	78,8	19,7	70,8	17,0	8,0	2,7	86
20	78,8	26,3	70,8	22,9	8,0	3,4	87
25	78,8	32,8	70,8	28,8	8,0	4,0	88
30	78,8	39,4	70,8	34,7	8,0	4,7	88
35	113,9	48,9	(108,0)	43,1	(5,9)	5,8	88
40	113,9	58,4	108,0	52,1	5,9	6,3	89
45	113,9	67,9	108,0	61,1	5,9	6,8	90
50	39,9	71,2	(33,6)	64,8	(6,0)	6,4	91
55	39,9	74,5	32,4	67,5	7,5	7,0	91
60	39,9	77,9	32,4	70,2	7,5	7,7	90
71	0	0	0	0	0	0	0
71,75	78,8	1,0	0	0	78,8	1,0	0
76	78,8	6,6	57,9	4,1	20,9	2,5	62
81	78,8	13,1	69,6	9,9	9,2	3,2	76
86	78,8	19,7	70,8	15,8	8,0	3,9	80

Tableau 12

Parcelle : YP 4

Date : 26/03/87

Pluie n 3

 $I_k = 134,8$

Heure debut : 10h26

 $D_{R_1} = 0,4$ mm $D_{R_2} = 0,7$ mmDuree de vidange de la D_{R_1} : 3 mn.Durée de vidange de la D_{R_2} : 4 mn

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
5	77,0	6,4	0	0	77,0	6,4	0
10	77,0	12,8	54,0	4,5	23,0	8,3	35
15	77,0	19,3	68,4	10,2	8,6	9,1	53
20	77,0	25,7	72,0	16,2	5,0	9,5	63
25	77,0	32,1	70,8	22,1	6,2	10,0	69
30	77,0	38,5	69,6	27,9	7,4	10,6	73
35	114,9	48,1	(108,0)	36,7	(6,9)	11,4	76
40	114,9	57,7	106,8	45,6	8,1	12,1	79
45	114,9	67,2	105,6	54,4	9,5	12,8	81
50	40,7	70,6	(31,2)	58,4	(9,5)	12,2	83
55	40,7	74,0	31,2	61,4	9,5	12,6	83
60	40,7	77,4	31,2	64,0	9,5	13,4	83
70	0	0	0	0	0	0	0
70,75	77,0	1,0	0	0	77,0	1,0	0
75	77,0	6,4	60,7	4,3	16,3	2,1	67
80	77,0	12,8	70,8	10,2	6,2	2,6	80
85	77,0	19,3	68,4	15,9	8,6	3,4	82

Observation : changement d'intensité en cours de vidange entre $t = 45$ et $t = 50$.

Tableau 13

Parcelle : YP 5

Date : 30/03/87

Pluie n° 1

 $I_r = 0$

Heure debut : 16h30

 $D_{R_i} = 0$ Duree de vidange de la D_{R_i} :

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	$R(t)$ mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
30	76,9	38,5	0	0	76,9	38,5	0
35	121,1	48,5	(0)	0	(121,1)	48,5	0
40	121,1	58,6	12,0	1,0	109,1	57,6	2
45	121,1	68,7	21,6	2,8	99,5	65,9	4
50	39,3	72,0	(0)	3,2	(39,3)	68,8	4
60	39,3	78,6	0	3,2	39,3	75,4	4
75	76,9	97,8	(0)	3,2	(76,9)	94,6	3

Observation : pas de pluie secondaire.

Tableau 14

Parcelle : YP 5

Date : 31/03/87

Pluie n° 2

$I_r = 70,1$

Heure début : 9h45

$D_{R_i} = 0,5$ mm

Duree de vidange de la D_{R_i} : 4 mn

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
21,5	80,8	29,0	0	0	80,8	29,0	0
25	80,8	33,7	8,6	0,5	72,2	33,2	2
30	80,8	40,4	16,8	1,9	64,0	38,5	5
35	121,0	50,5	(64,8)	6,3	(56,2)	44,2	13
40	121,0	60,6	74,4	12,5	46,6	48,1	21
45	121,0	70,7	76,8	18,9	44,2	51,1	27
60	41,3	81,0	(0)	21,0	(41,3)	60,0	26
62,5	80,8	84,4	(0)	21,0	(85,8)	63,4	25
65	80,8	87,7	7,2	21,3	73,6	66,4	24
70	80,8	94,4	20,4	23,0	60,4	71,4	24
75	80,8	101,2	30,0	25,5	50,8	75,4	25

Observation : pas de pluie secondaire.

Tableau 15

Parcelle : YP 5

Date : 31/03/87

Pluie n° 3

 $I_K = 157,6$

Heure début : 15h13

 $D_{R_1} = < 0,1 \text{ mm}$ $D_{R_2} = 0,6 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 1 mnDurée de la vidange de la D_{R_2} : 3 mn.

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p - R)(t)$ mm/h	$(L_p - L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
14	79,5	18,6	0	0	79,5	18,6	0
17,5	79,5	23,2	12,0	0,7	67,5	22,5	3
20	79,5	26,5	26,4	1,8	53,1	24,7	7
25	79,5	33,1	31,2	4,4	48,3	28,7	13
30	79,5	39,8	38,4	7,6	41,1	32,2	19
35	118,7	49,6	(81,6)	13,7	(37,1)	35,9	28
40	118,7	59,5	84,0	19,7	34,7	38,8	33
45	118,7	69,4	85,2	27,8	33,5	41,6	40
60	40,5	72,8	(2,1)	30,6	(38,4)	52,2	42
65	0	0	0	0	0	0	0
68,5	79,5	4,6	0	0	79,5	4,6	0
70	79,5	6,6	8,0	0,2	71,5	6,4	3
75	79,5	13,3	31,2	2,8	48,3	10,5	21
80	79,5	19,9	36,0	5,8	43,5	14,1	29

Observation : pas de pluie secondaire.

Tableau 16

Parcelle : YP 6

Date : 01/04/87

Pluie n° 1

 $I_K = 0$

Heure début : 11h13

 $D_{R_1} = 0,3 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 3 mn. $D_{R_2} = 0,5 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_2} : 3 mn.

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p - R)(t)$ mm/h	$(L_p - L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
2,25	73,3	2,7	0	0	73,3	2,7	0
5	73,3	6,1	63,3	2,9	10,0	3,2	48
10	73,3	12,2	66,0	8,4	6,3	3,8	69
15	73,3	18,3	63,6	13,7	9,7	4,6	75
20	73,3	24,4	66,0	19,2	6,3	5,2	79
25	73,3	30,5	68,4	24,9	4,9	5,6	82
30	73,3	36,7	64,8	30,3	8,5	6,3	83
35	115,7	46,3	(108,0)	39,2	(7,7)	7,1	85
40	115,7	55,9	110,4	48,6	5,3	7,3	87
45	115,7	65,6	104,4	57,3	11,3	7,9	87
50	41,7	69,1	(32,4)	60,7	(9,3)	8,4	88
55	41,7	72,5	31,2	63,3	10,5	9,2	87
60	41,7	76,0	31,2	65,9	10,5	10,1	87
67	0	0	0	0	0	0	0
67,75	73,3	0,9	0	0	73,3	0,9	0
72	73,3	6,1	70,6	5,0	2,7	1,1	82
77	73,3	12,2	69,6	10,8	3,7	1,4	89
82	73,3	18,3	68,4	16,5	4,9	1,8	90

Observation : changement d'intensité de pluie en cours de vidange entre $t = 30 \text{ mn}$ et $t = 35 \text{ mn}$

Tableau 17

Parcelle : YP 6

Date : 01/04/87

Pluie n° 2

 $I_K = 86,7$

Heure début : 16h25

 $D_{R_1} = 0,4 \text{ mm}$ $D_{R_2} = 0,6 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 2 mn30.Durée de vidange de la D_{R_2} : 2 mn.

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
1	80,4	1,3	0	0	80,4	1,3	0
5	80,4	6,7	70,5	4,7	9,9	2,0	70
10	80,4	13,4	66,0	10,2	14,4	3,2	76
15	80,4	20,1	74,4	16,4	6,0	3,7	82
20	80,4	26,8	78,0	22,9	2,4	3,9	85
25	80,4	33,5	69,6	28,7	10,8	4,8	86
30	80,4	40,2	72,0	34,7	8,4	5,5	86
35	115,8	49,9	(110,4)	43,9	(5,4)	6,0	88
40	115,8	59,5	109,2	53,0	6,6	6,5	89
45	115,8	69,2	105,6	61,8	10,2	7,4	89
50	38,4	72,4	(36,0)	65,3	(2,4)	7,1	90
55	38,4	75,6	33,6	68,1	4,8	7,5	90
60	38,4	78,8	33,6	70,9	4,8	7,9	90
68	0	0	0	0	0	0	0
68,5	80,4	0,7	0	0	0	0,7	0
73	80,4	6,7	69,3	5,2	11,1	1,5	78
78	80,4	13,4	74,4	11,4	6,0	2,0	85
83	80,4	20,1	69,6	17,2	10,8	2,9	86

Tableau 18

Parcelle : YP 6

Date : 02/04/87

Pluie n° 3

 $I_K = 123,8$

Heure début : 11h30

 $D_{R_1} = 0,4 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 3 mn. $D_{R_2} = 0,6 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_2} : 2 mn 30.

t mn	$I_p(t)$ mm/h	$L_p(t)$ mm	R(t) mm/h	$L_R(t)$ mm	$(I_p-R)(t)$ mm/h	$(L_p-L_R)(t)$ mm	$K_R(t)$ %
1	83,3	1,4	0	0	83,3	1,4	0
5	83,3	6,9	69,0	4,6	14,3	2,3	67
10	83,3	13,9	73,2	10,7	10,1	3,2	77
15	83,3	20,8	73,2	16,8	10,1	4,0	81
20	83,3	27,8	72,0	22,8	11,3	5,0	82
25	83,3	34,7	75,6	29,1	7,7	5,6	84
30	83,3	41,7	74,4	35,3	8,9	6,4	85
35	113,7	51,2	(108,0)	44,1	(6,7)	7,1	86
40	113,7	60,7	109,2	53,2	4,5	7,5	88
45	113,7	70,1	108,0	62,2	5,7	7,9	89
50	40,7	73,5	(33,6)	65,7	(7,1)	7,8	90
55	40,7	76,9	33,6	68,5	7,1	8,4	89
60	40,7	80,3	34,8	71,4	5,9	8,9	89
68	0	0	0	0	0	0	0
68,5	83,3	0,7	0	0	83,3	0,7	0
73	83,3	6,9	69,3	5,2	14,0	1,7	75
78	83,3	13,9	73,2	11,3	10,1	2,6	81
83	83,3	20,8	75,6	17,6	7,7	3,2	85

Tableau 19 : Description des parcelles - Recouvrement

Parcelle	YP1	YP2	YP3	YP4	YP5	YP6
couvert végétal %	1	0	0	5	80	< 1
résidus %	0	0	0	1	1	0
Granulométrie (prélèvement épaisseur 5 cm)						
argiles %	13,2	9,9	11,2	10,2	6,2	4,5
limons %	4,5	6,6	3,2	4,2	1,9	1,8
sables fins %	24,9	24,6	29,7	38,8	24,6	28,8
sables grossiers %	55,0	56,5	53,3	44,8	66,0	64,0
	Estimation de visu en surface					
gravillons et graviers libres %	< 1	1	0	< 1	< 1	< 1
cailloux %	0	0	0	0	0	0

Tableau 20 : Description des parcelles - Organisation de surface

Parcelle	YP1	YP2	YP3	YP4	YP5	YP6
microrelief hauteur (cm) obstruction	1 0	0 0	1 0	8 3	3 1	1 0
algues et mousses	0	0	1	0	0	0
activité mésofaunique						
couvert % porosité	0 0	0 0	0 0	1 23	5 23	0 0
gravillons enchassés	0	0	0	0	0	0
fentes	0	0	0	0	0	0
hydromorphie de surface	0	0	0	0	0	0
prise en masse des sables	3	0	3	1	1	3
porosité vésiculaire	1	3	2	0 cause semis	0	3
Pellicule plasmique						
continuité	2	3	2	0 cause	0	2
épaisseur	3	3	3	1 semis	0	3
Type de 1 micro 2 horizon 3 autre	SG SF PP --	SG SF PP --	SG SF PP --	SG SF PP --	SABLES	SG SF PP --
type de croute	ST3	ST3 var SOL	ST3	C3	DES	ST3 var SOL
érosion	0	1	0	0	0	0

TABLEAU 21 : Description des parcelles - Sol

Parcelle	YP1	YP2	YP3	YP4	YP5	YP6
Profondeur d'apparition d'un horizon à drainage limité.						
	0	3	0	0	0	3
texture (0-20 cm)	0	0	0	0	0	0
porosité (0-20 cm)	2	2	2	0	0	2
hydromorphie (0-20 cm)	0	0	0	0	0	0
classe de drainage	1	2	1	0	0	2

Tableau 22 : Mesures d'humidité pondérale effectuées sur les parcelles 1, 2 et 3.

Parcelle	Pluie	Profondeur (cm)	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Hp (%)	lk
1	1	0 - 5	116,01	112,96	2,7	0
		10 - 15	149,44	144,50	3,4	
		20 - 25	158,02	152,09	3,9	
	2	0 - 5	128,75	122,82	4,8	38,9
		10 - 15	161,33	155,28	3,9	
		20 - 25	136,70	130,46	4,8	
	3	0 - 5	106,24	99,74	6,5	79,8
		10 - 15	117,41	110,80	6,0	
		20 - 25	132,78	125,04	6,2	
2	1	0 - 5	115,73	108,81	6,4	0
		10 - 15	173,81	163,76	6,1	
		20 - 25	152,61	144,86	5,3	
	2	0 - 5	103,70	96,56	7,4	110,7
		10 - 15	119,61	112,26	6,5	
		20 - 25	116,28	108,96	6,7	
	3	0 - 5	104,73	97,63	7,3	139,6
		10 - 15	121,37	115,91	4,7	
		20 - 25	146,60	135,86	7,9	
3	1	0 - 5	123,77	116,97	5,8	3,0
		10 - 15	124,04	117,48	5,6	
		20 - 25	103,56	97,89	5,8	
	2	0 - 5	134,16	124,70	7,6	48,8
		10 - 15	130,79	121,20	7,9	
		20 - 25	159,24	146,18	8,9	
	3	0 - 5	140,05	129,89	7,8	137,9
		10 - 15	145,07	133,10	9,0	
		20 - 25	168,63	153,60	9,8	

Tableau 23 : Mesures d'humidité pondérale effectuées sur les parcelles 4, 5 et 6.

Parcelle	Pluie	Profondeur (cm)	Poids humide (g)	Poids sec (g)	Hp (%)	Ik
4	1	0 - 5	100,42	96,14	4,5	0
		10 - 15	133,99	126,47	5,9	
		20 - 25	164,51	152,14	8,1	
	2	0 - 5	133,50	120,94	10,4	94,5
		10 - 15	146,96	136,03	8,0	
		20 - 25	178,80	163,74	9,2	
	3	0 - 5	142,63	133,70	6,7	134,8
		10 - 15	160,53	148,84	7,9	
		20 - 25	149,33	138,94	7,5	
5	1	0 - 5	129,98	121,64	6,9	0
		10 - 15	116,06	108,85	6,6	
		20 - 25	176,70	162,79	8,5	
	2	0 - 5	131,20	122,14	7,4	70,1
		10 - 15	135,80	125,37	8,3	
		20 - 25	174,70	159,84	9,3	
	3	0 - 5	166,25	151,09	10,0	157,6
		10 - 15	124,89	114,84	8,8	
		20 - 25	174,57	157,97	10,5	
6	1	0 - 5	89,88	87,67	2,5	0
		10 - 15	152,62	146,28	4,3	
		20 - 25	166,12	157,39	5,5	
	2	0 - 5	114,10	107,33	6,3	86,7
		10 - 15	153,72	142,23	8,1	
		20 - 25	139,99	129,73	7,9	
	3	0 - 5	76,05	72,74	4,6	123,8
		10 - 15	199,92	183,96	8,7	
		20 - 25	205,62	187,50	9,7	

Tableau 24 : Intensités de pluies obtenues en pré-étalonnage et en post-étalonnage

Parcelle Pluie	Pré-étalonnage (mm/h)	Post-étalonnage (mm/h)	Ecart Relatif (%)
YP1-1	87,3	-	-
YP1-2	82,3	80,3	2,5
YP1-3	83,4	81,0	2,9
YP2-1	79,8	81,5	2,1
YP2-2	70,8 96,3	- -	- -
YP2-3	78,3 109,5	77,5 111,5	1 1,8
YP3-1	81,6 112,6	-	
YP3-2	40,0 81,5 119,0	39,0 85,5 126,5	2,5 4,8 6,1
YP3-3	39,3 80,2 118,0	37,4 76,2 110,9	5 5,1 6,2
YP4-1	118,0 81,2 40,2	114,3 74,2 44,0	3,2 9,0 9,0
YP4-2	113,7 79,5 39,7	114,0 78,0 40,0	0,3 1,9 0,8
YP4-3	114,7 76,0 39,7	115,0 78,0 41,8	0,3 2,6 5,1
YP5-1	113,8 76,9 39,3	128,3 - -	12,0 - -
YP5-2	125,0 83,0 41,3	117,0 78,5 -	6,6 5,6 -
YP5-3	117,2 80,2 40,5	120,2 76,7 -	2,5 4,5 -
YP6-1	113,6 75,6 41,0	117,8 70,9 42,4	3,6 6,4 3,4
YP6-2	122,4 80,4 39,1	109,2 74,2 37,7	11,4 8,0 3,6
YP6-3	112,4 82,6 41,3	114,9 84,0 40,0	2,2 1,7 3,2

Tableau 25 : Pluie d'imbibition

Parcelle	Pluie	I_k	I_p mm/h	t_i mn	P_i mm
1	1	0	87,3	2,5	3,6
	2	38,9	81,3	1,5	2,0
	3	79,8	83,4	1,5	2,1
2	1	0	79,8	1	1,3
	2	110,7	70,8	0,5	0,6
	3	139,6	78,3	0,75	1,0
3	1	3,0	81,6	1	1,4
	2	48,8	39,4	2	1,3
	3	137,9	80,2	0,75	1,0
4	1	0	81,2	16	21,7
	2	94,5	78,8	0,5	0,7
	3	134,8	77,0	5	6,4
5	1	0	76,9	35	48,5
	2	70,1	80,8	21,5	29,0
	3	157,6	79,5	14	18,6
6	1	0	73,3	2,25	2,7
	2	86,7	80,4	1	1,3
	3	123,8	83,3	1	1,4

Tableau 26 . intensité limite d'infiltration

Parcelle	Pluie	I_k	I_p mm/h	F_N mm/h	t_s mn
1	1	0	87,3	-	-
	2	38,9	81,3	1	20
	3	79,8	83,4	1	10
2	1	0	79,8	4	20
	2	110,7	70,8	1	5
	3	139,6	78,3	1	5
3	1	3,0	81,6	4	15
	2	48,8	39,4	2	10
	3	137,9	80,2	2	5
4	1	0	81,2	9	35
	2	94,5	78,8	7	10
	3	134,8	77,0	7	15
5	1	0	non atteint	-	-
	2	70,1	non atteint	-	-
	3	157,6	non atteint	-	-
6	1	0	73,3	7	10
	2	86,7	80,4	6	10
	3	123,8	83,3	8	20

Tableau 27 : Calcul des valeurs médianes des intensités des pertes à l'écoulement obtenues sur sol nu initialement sec (pluie n°1)

Parcelles 1-2-3-6

Parcelle	YP1	YP2	YP3	YP6	Médiane
P _i	3,6	1,3	1,4	2,7	2,1
I _{7,5}	12,9	10,2	4,8	6,3	8,3
I _{12,5}	9,3	7,8	4,8	9,7	8,6
I _{17,5}	12,9	6,6	3,6	6,3	6,5
I _{27,5}	-	3,8	4,8	8,5	4,8
I _{37,5}	-	4,2	-	5,3	4,8
I _{47,5}	-	-	-	9,3	9,3
I _{57,5}	-	-	-	10,5	10,5
D _r	0,6	0,5	0,9	0,3	0,6

Avec I_t = intensité des pertes à l'écoulement, en mm/h à l'instant t.

Tableau 28 : Calcul des valeurs médianes des intensités des pertes à l'écoulement obtenues sur sol nu initialement humide(pluie n°3)

Parcelles 1-2-3-6

Parcelle	YP1	YP2	YP3	YP6	Médiane
P_i	2,1	1,0	1,3	2,7	1,7
$I_{7,5}$	-0,6	1,5	3,4	6,3	2,5
$I_{12,5}$	1,8	1,5	2,2	9,7	2,0
$I_{17,5}$	1,8	2,7	4,0	6,3	3,4
$I_{27,5}$	4,1	1,1	4,0	8,5	4,1
$I_{37,5}$	0,6	-2,5	0,5	5,3	0,6
$I_{47,5}$	3,0	-2,5	2,1	9,3	2,6
$I_{57,5}$	-0,6	-	-0,3	10,5	-0,3
D_i	0,7	0,4	0,8	0,5	0,6

Avec I_t = intensité des pertes à l'écoulement, en mm/h, à l'instant t .

Tableau 29 : Pertes à l'écoulement cumulées sur sol nu

t mn	Pertes sur sol initialement sec mm	Pertes sur sol initialement humide mm
5	3,8	2,9
10	4,5	3,2
15	4,9	3,3
20	5,3	3,5
30	6,1	3,8
40	7,0	4,2
50	7,8	4,5
60	8,6	4,8
70	9,5	5,1
80	10,3	5,5
90	11,1	5,8

Tableau 30 : Détection récupérable D_R et détection mobilisable de surface D_m calculées à partir de pluies secondaires

Parcelle	Pluie	t_R mn	F_N mm/h	D_R mm	$D_R + t_R F_N$ mm	Ecart relatif %	$D_R + 0,5 t_R F_N$ mm
1	1	3,5	8,1	0,6	1,1	56	0,9
	2	3	0,9	0,8	0,8	0	0,8
	3	3	3,0	0,7	0,9	25	0,8
2	1	3	2,3	0,5	0,6	17	0,6
	2	3	- 2,1	0,7	0,5	33	0,6
	3	3	2,7	0,4	0,5	20	0,5
3	1	3	4,8	0,9	1,1	20	1,0
	2	3	2,8	0,7	0,8	13	0,8
	3	4	3,4	0,8	1,0	22	0,9
4	1	8	8,0	0,8	1,9	79	1,4
	2	3	8,0	0,7	1,1	44	0,9
	3	4	8,6	0,7	1,3	60	1,0
5	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-
6	1	3	4,9	0,5	0,7	33	0,6
	2	2	10,8	0,6	1,0	50	0,8
	3	2,5	7,7	0,6	0,9	38	0,8

Tableau 31 : volumes stockés S_i

Parcelle	Pluie	S_i avec $D_m = D_R + 0,5 t_R \cdot F_N$ mm	S_i avec $D_m = D_R$ mm
1	1	0,6	0,4
	2	0,1	0,1
	3	-0,1	-0,2
2	1	0,1	0,0
	2	-0,5	-0,4
	3	-0,2	-0,2
3	1	-0,3	-0,4
	2	0,2	0,2
	3	0,6	0,5
4	1	0,8	0,2
	2	1,0	0,8
	3	0,7	0,5
5	1	-	-
	2	-	-
	3	-	-
6	1	0,2	0,1
	2	0,3	0,2
	3	0,5	0,4

Liste des figures

- Figure 1 : Le simulateur de pluie
- Figure 2 : Hydrogramme de ruissellement sous pluie simulée
- Figure 3 : Carte de situation - Abidjan - Yopougon
- Figure 4 : Emplacements des parcelles
- Figure 5 : Surface de type structural 3
- Figure 6 : Surface de type cultivé C3
- Figure 7 : Surface de type dessication
- Figure 8 : Dépouillement du diagramme dans le cas d'un changement d'intensité de pluie
- Figure 9 : Parcelle YP1 - Pluie 1,2,3
- Figure 10 : Parcelle YP2 - "
- Figure 11 : Parcelle YP3 - "
- Figure 12 : Parcelle YP4 - "
- Figure 13 : Parcelle YP5 - "
- Figure 14 : Parcelle YP6 - "
- Figure 15 : Comparaison des pertes à l'écoulement sur sol initialement sec - Parcelles 1-2-3-4-5-6
- Figure 16 : Comparaison des pertes à l'écoulement sur sol initialement humide - Parcelles 1-2-3-4-5-6
- Figure 17 : Courbe médiane des pertes à l'écoulement
- Figure 18 : Résultats expérimentaux obtenus avec des intensités de pluie différentes

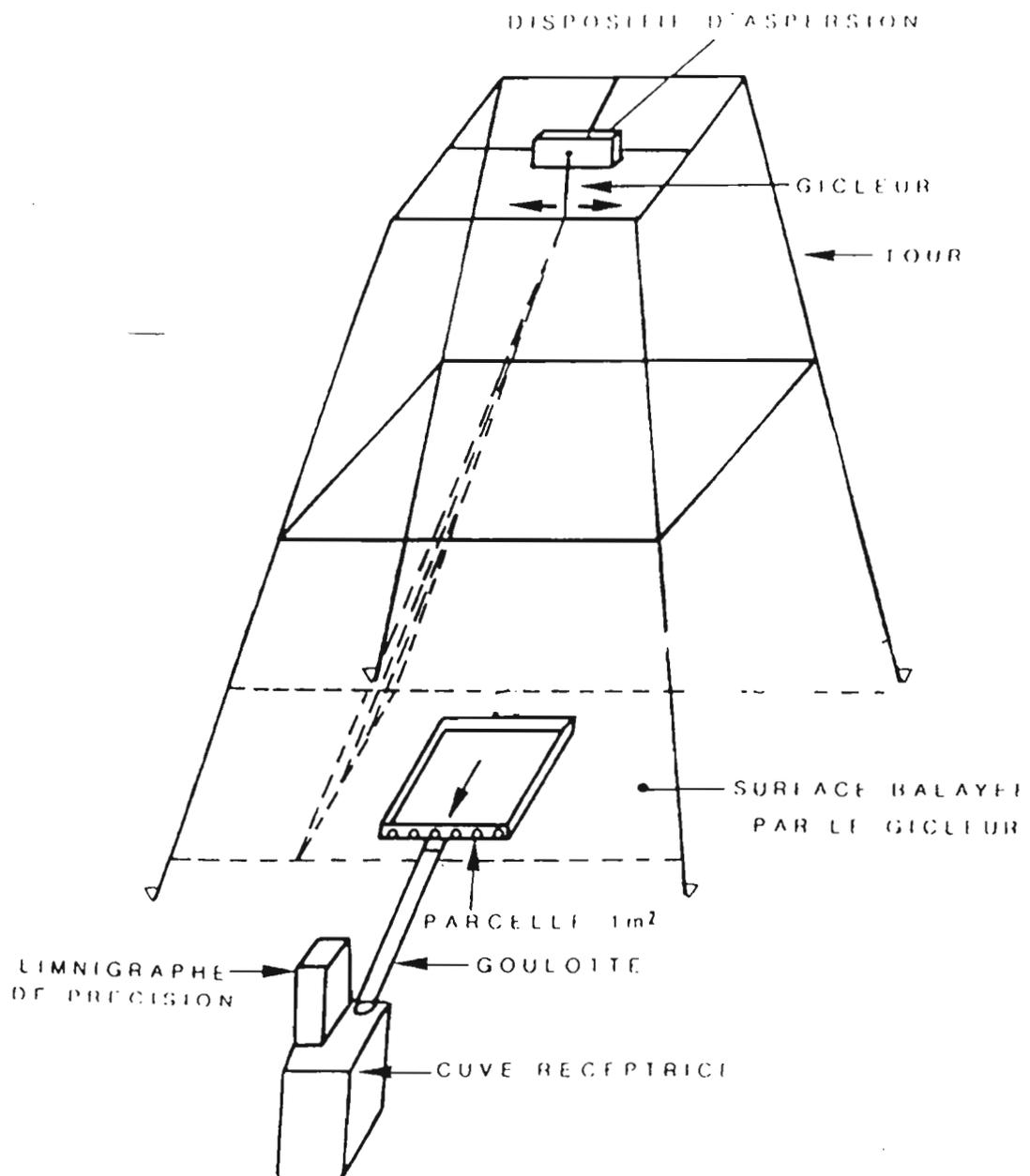


Fig- 1 SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DU SIMULATEUR DE PLUIE
 (d'après B. THEBE)

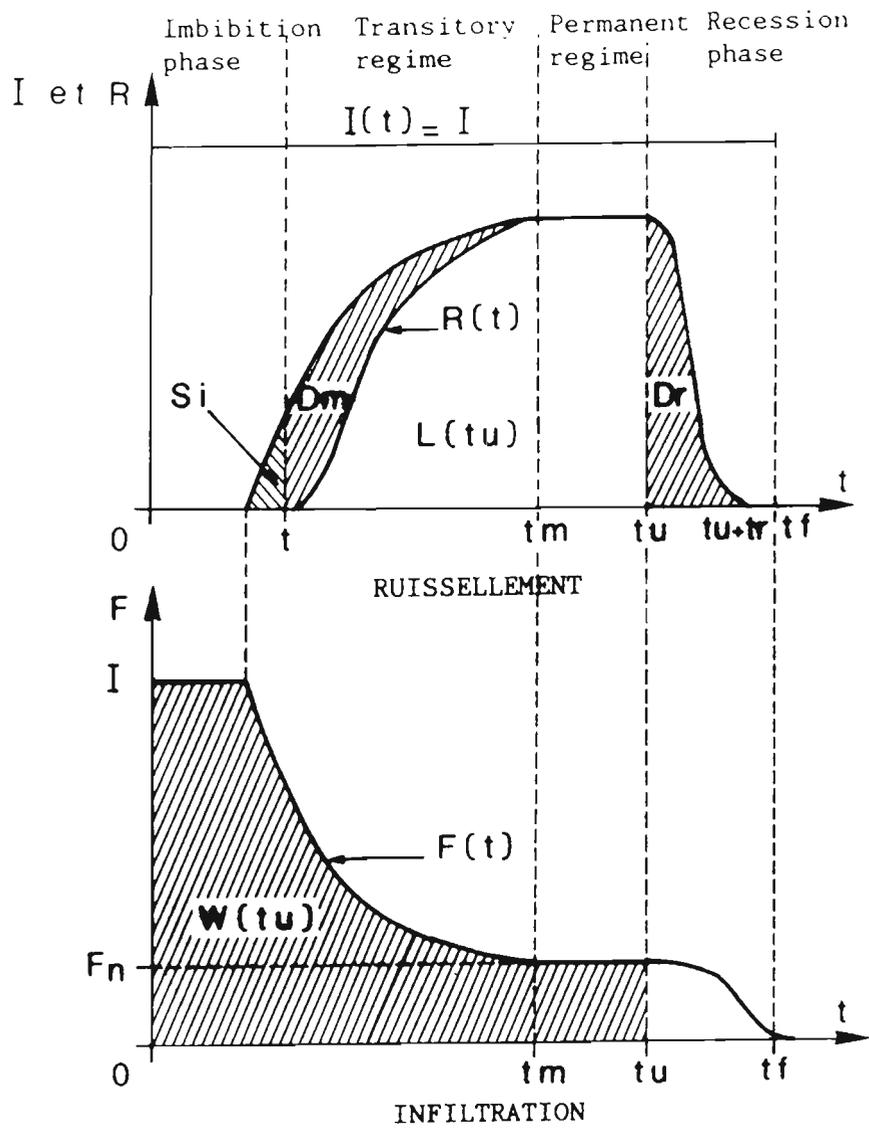
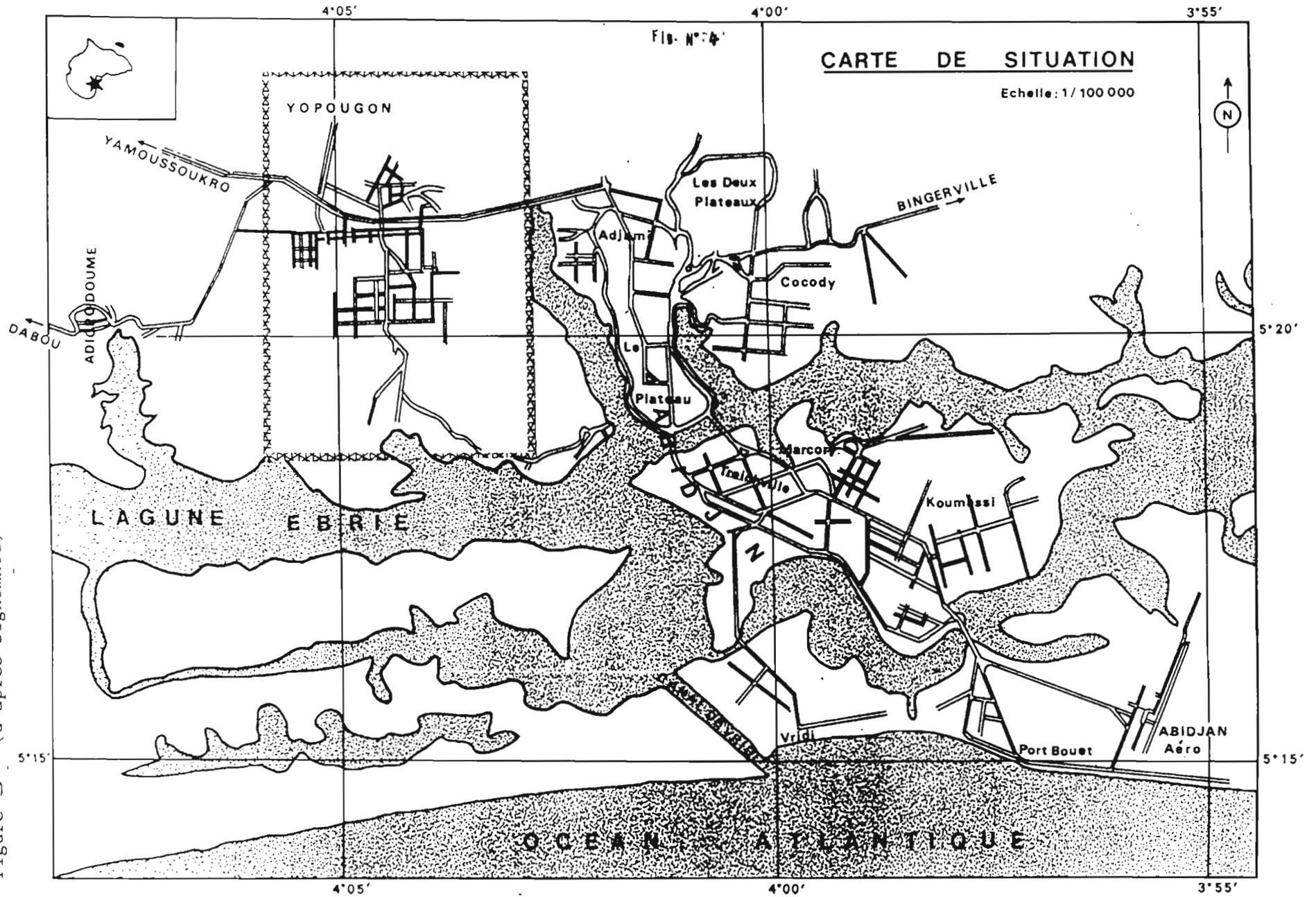


figure 2 : hydrogramme de ruissellement sous pluie simulée d'intensité constante (d'après Lafforgue)

Figure 3 (d'après Sighomnou)

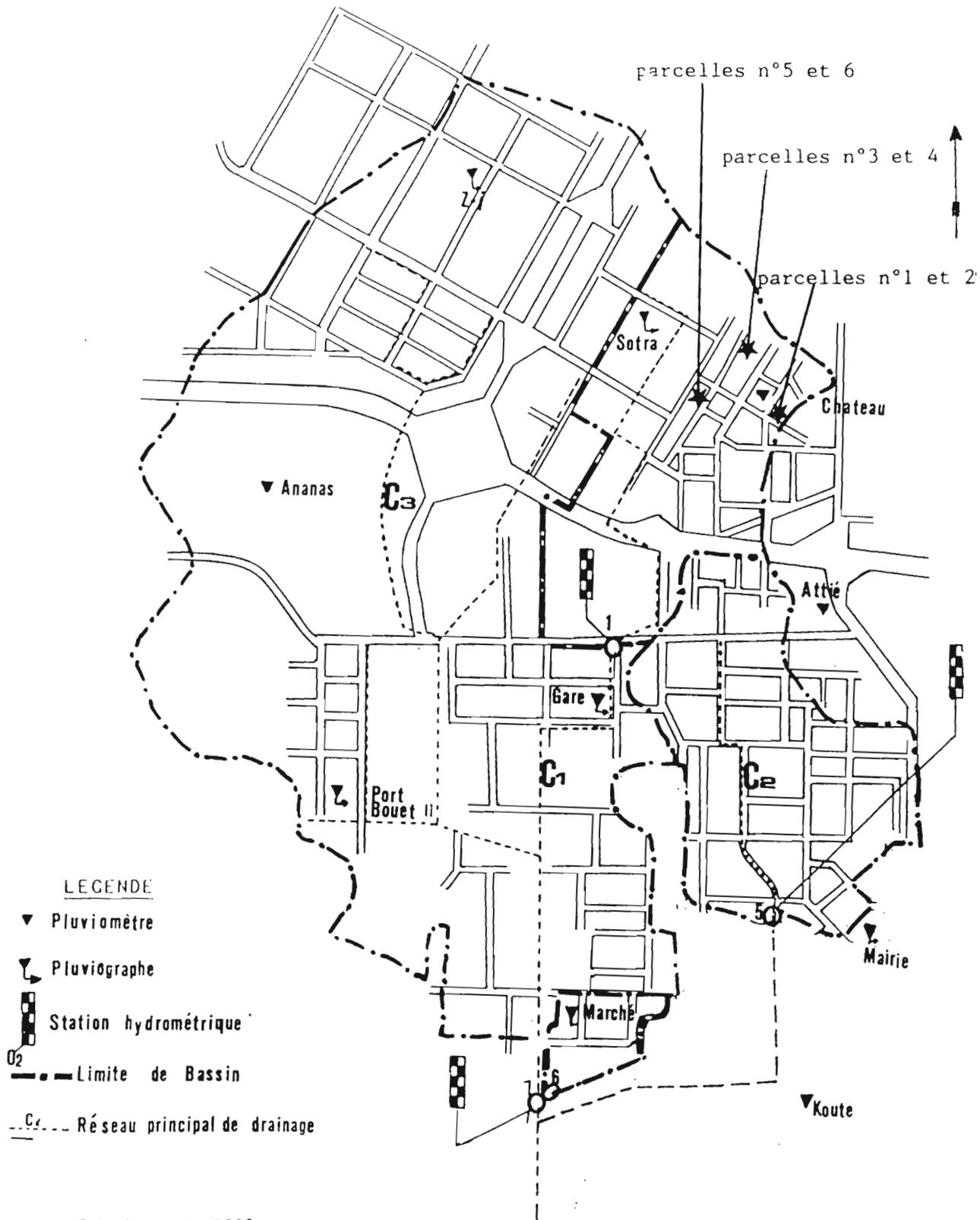


BASSINS VERSANTS DE YOUPUGON

FIGURE 4

(d'après Sighomnou)

EMPLACEMENTS DES PARCELLES



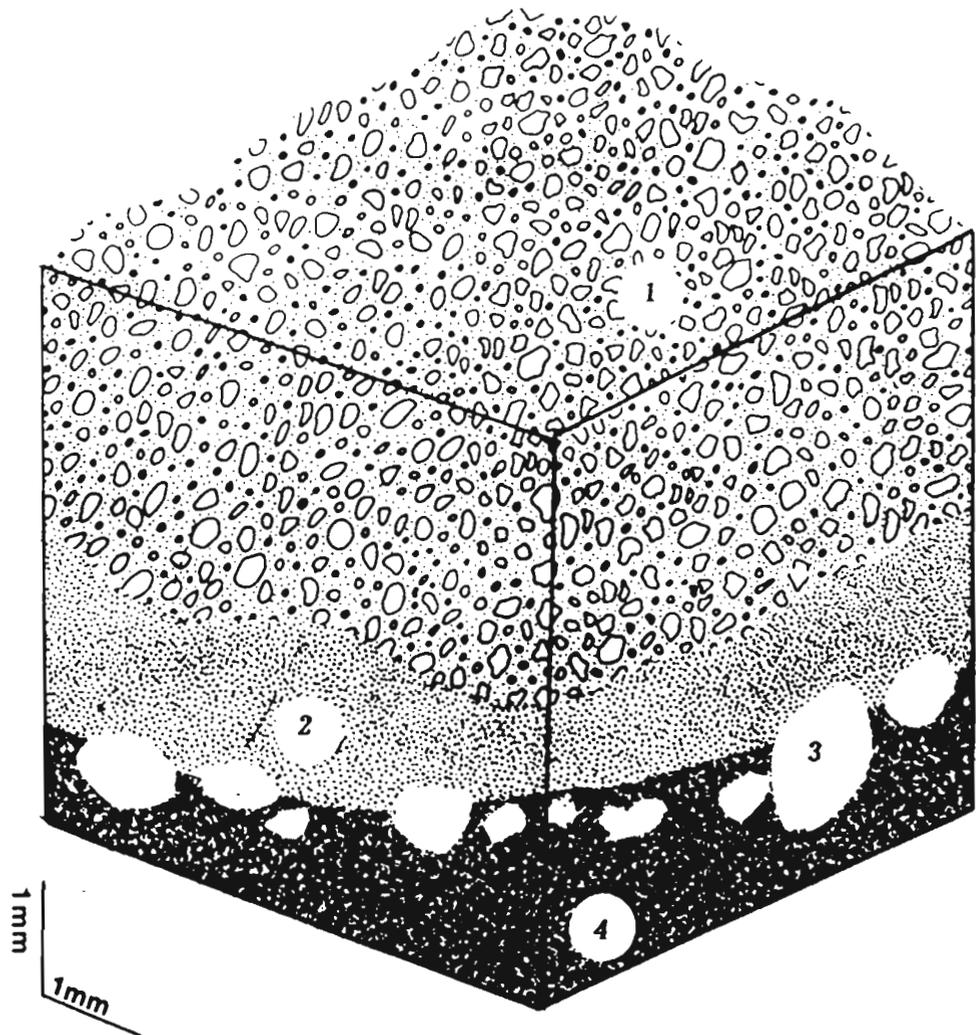


FIG. 5: SURFACE DE TYPE STRUCTURAL 3

Abidjan n° 1, 2, 3 et 6,

1 : SABLES GROSSIERS

2 : SABLES FINS

3 : POROSITE VESICULAIRE FINE

4 : PLASMA

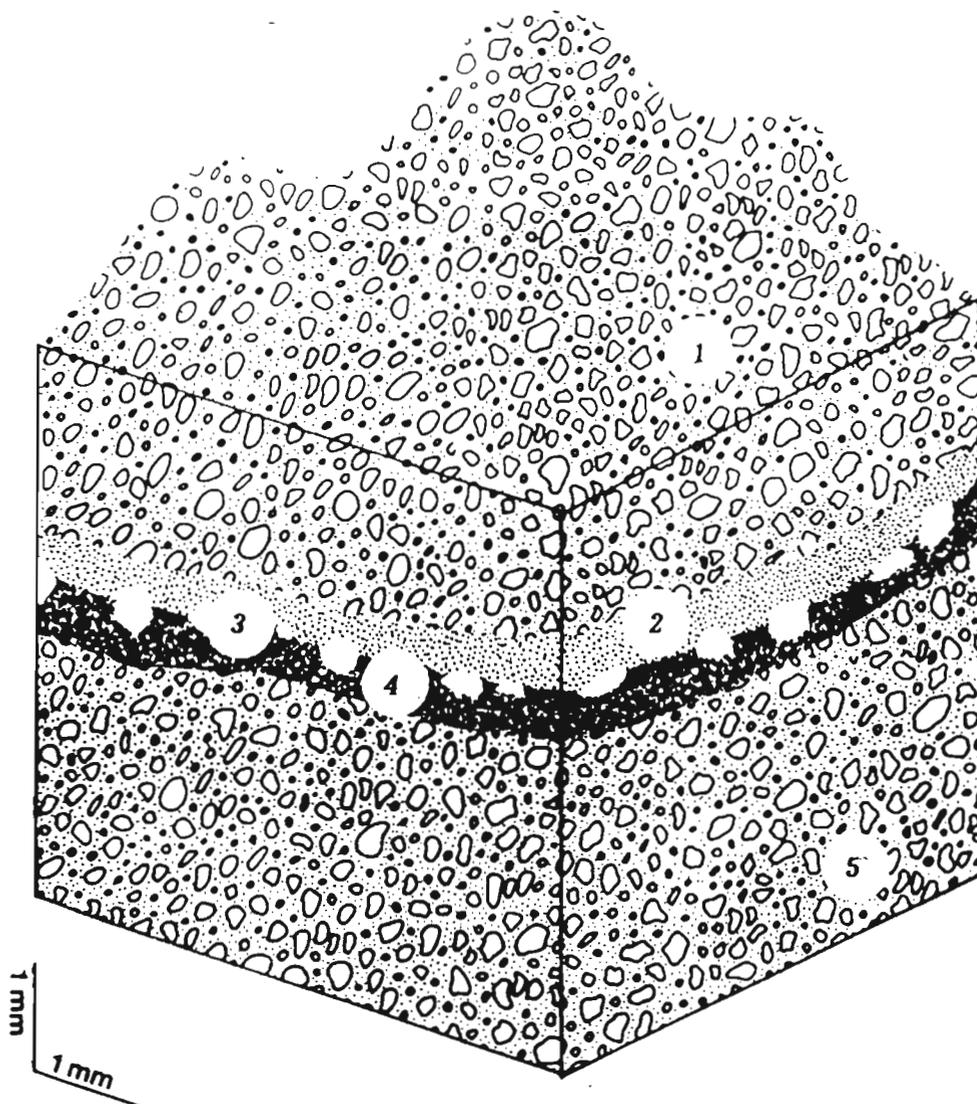


FIG. 6: SURFACE DE TYPE CULTIVE C3.

Abidjan n° 4, parcelle cultivée en maïs (fort micro-relief)

1 : SABLES GROSSIERS (micro-relief lié au travail du sol)

2 : SABLES FINS

3 : POROSITE VESICULAIRE FINE

4 : PELLICULE PLASMIQUE

5 : MATRICE SABLEUSE DU 1° HORIZON

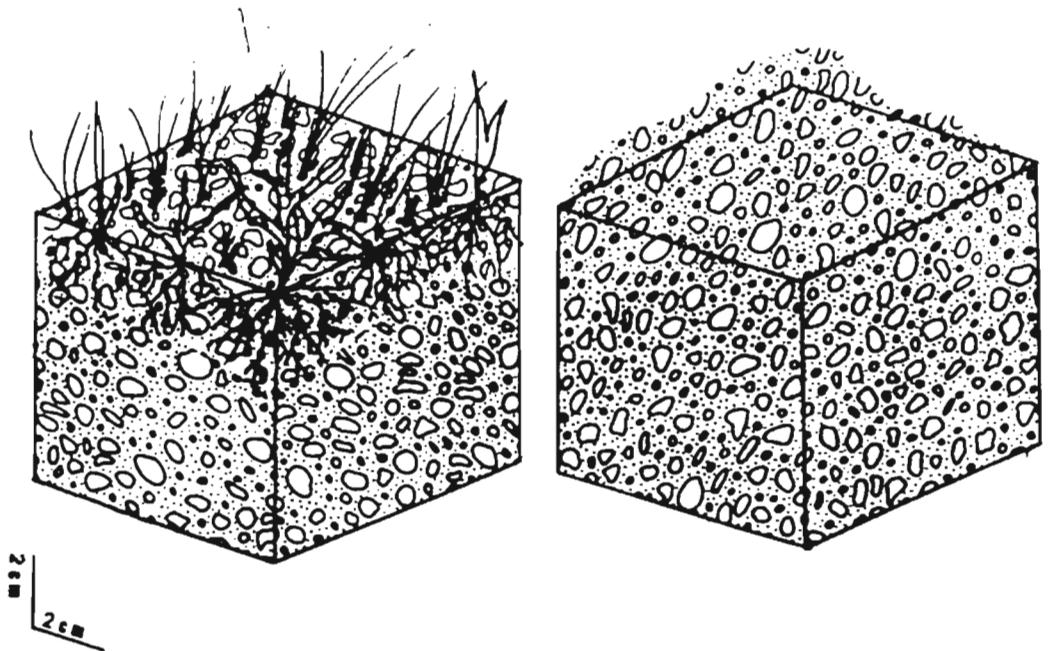


FIG. 7: SURFACES DE TYPE DESSICATION

A - Abidjan n° 5

Surface très enherbée, sableuse sur sol sableux.

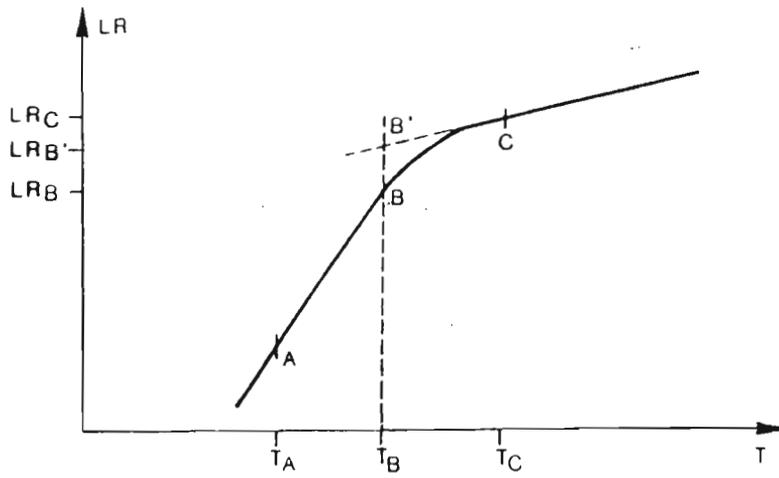
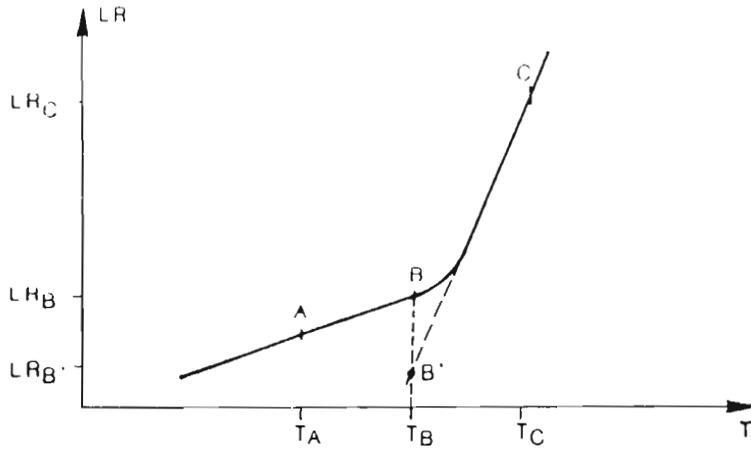
Le couvert herbacé, son chevelu racinaire dense et l'activité biologique de ce micro milieu inhibent les effets de réorganisations de surface dus à la pluie.

B -

Surface et horizon sableux sur la totalité du profil (80 cm).

Très faible pourcentage d'argile et de limons. Pas d'effet splash.

Cas d'un changement d'intensité en début d'un intervalle



$$R(T) = \frac{LR_C - LR_{B'}}{T_C - T_B} \text{ pour } T_B \leq T < T_C$$

Fig. 8 :
 dépouillement du diagramme en cas de changement
 d'intensité de pluie

PARCELLE YP 1 PLUIES 1-2-3

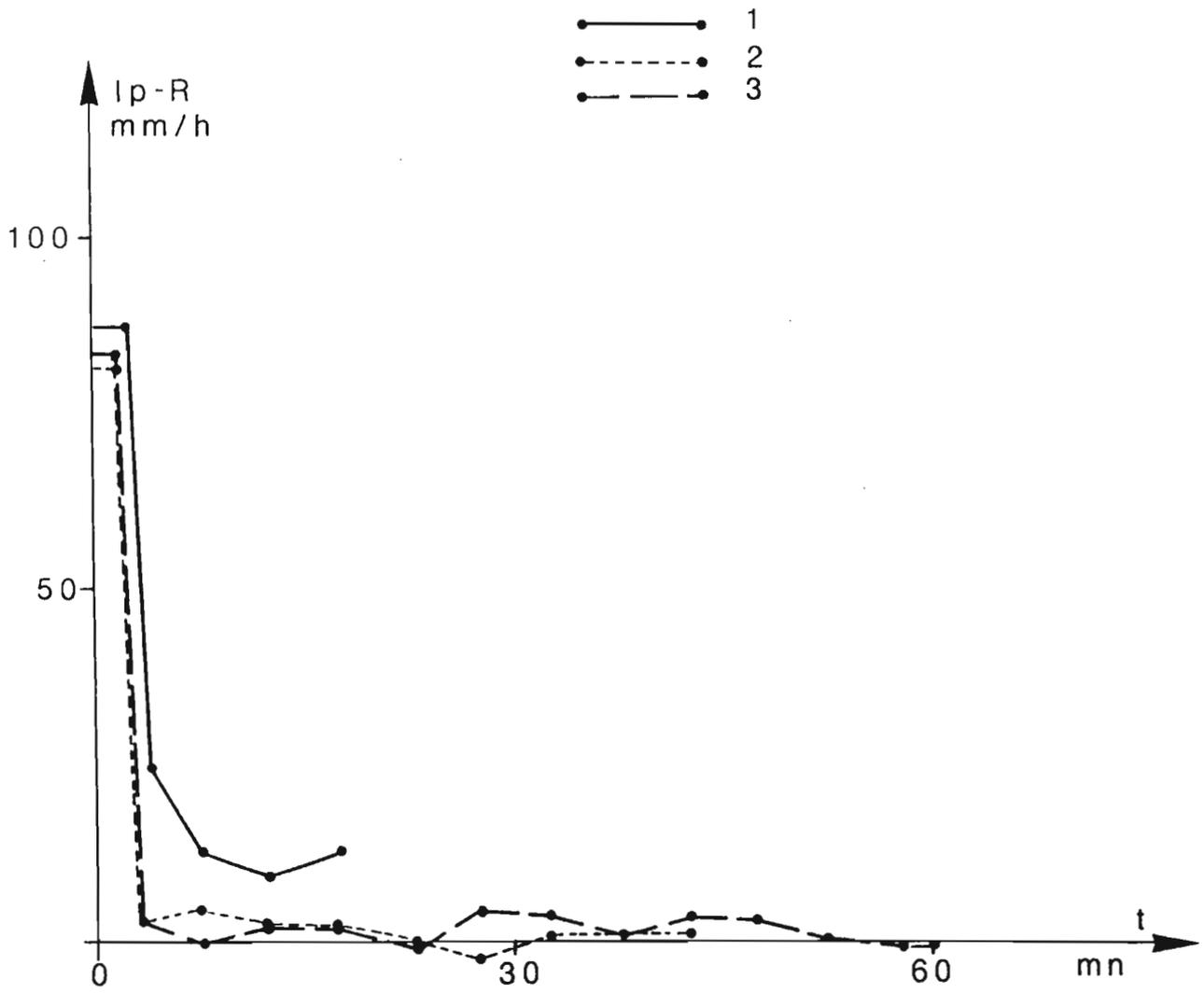


Fig- 9

PARCELLE YP 2 PLUIES 1-2-3

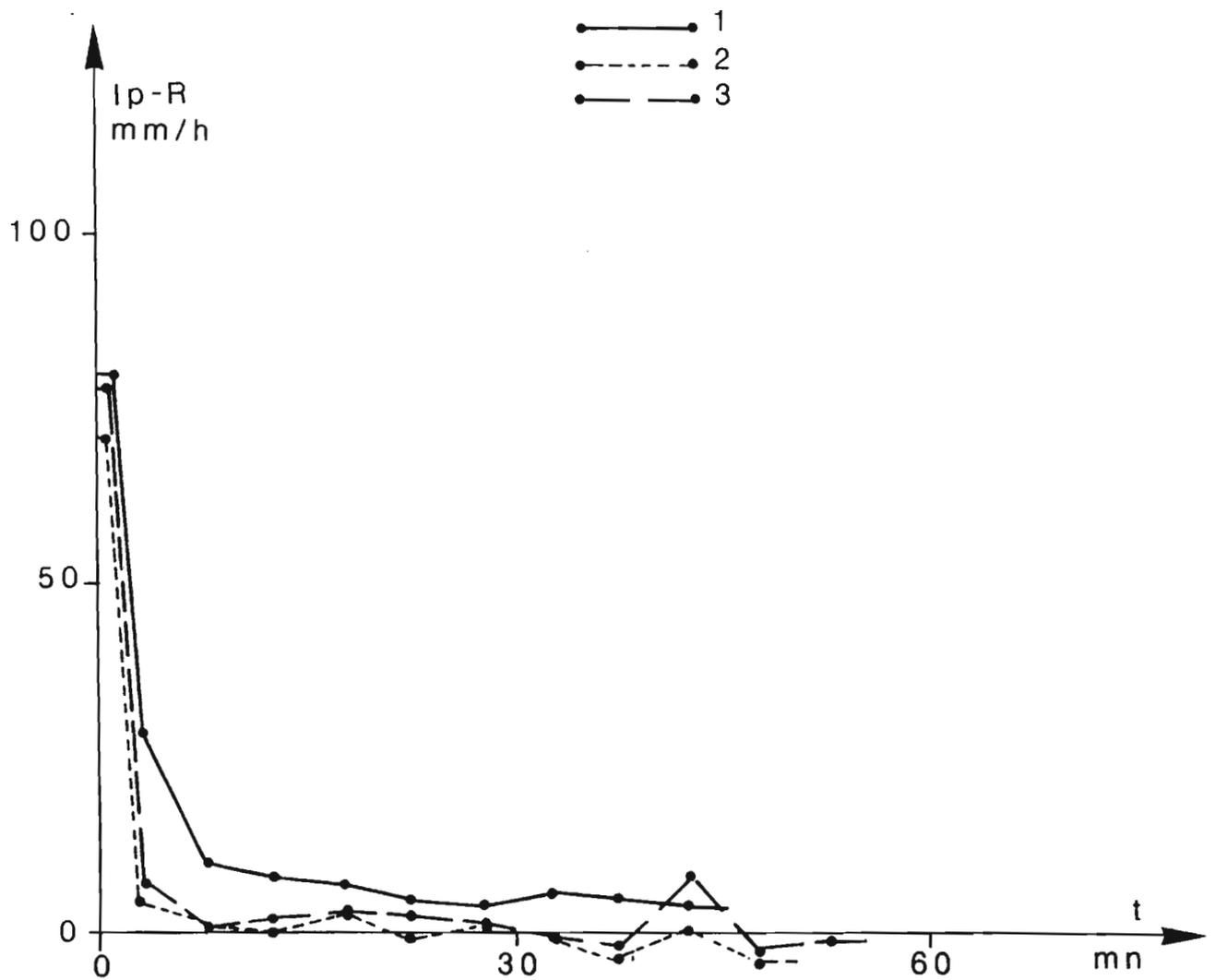


Fig- 10

PARCELLE YP 3 PLUIES 1-2-3

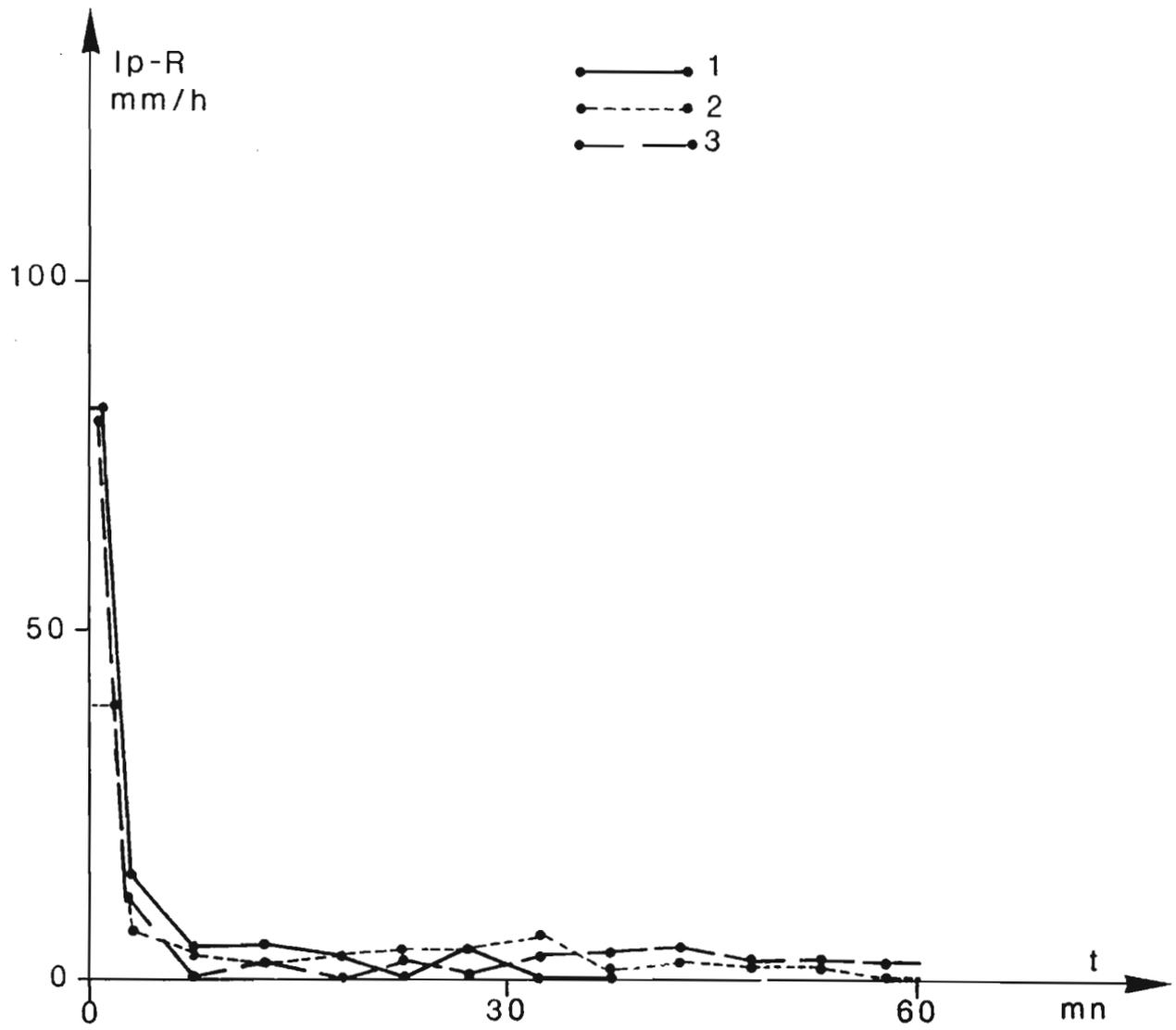


Fig. 11

PARCELLE YP 4 PLUIES 1-2-3

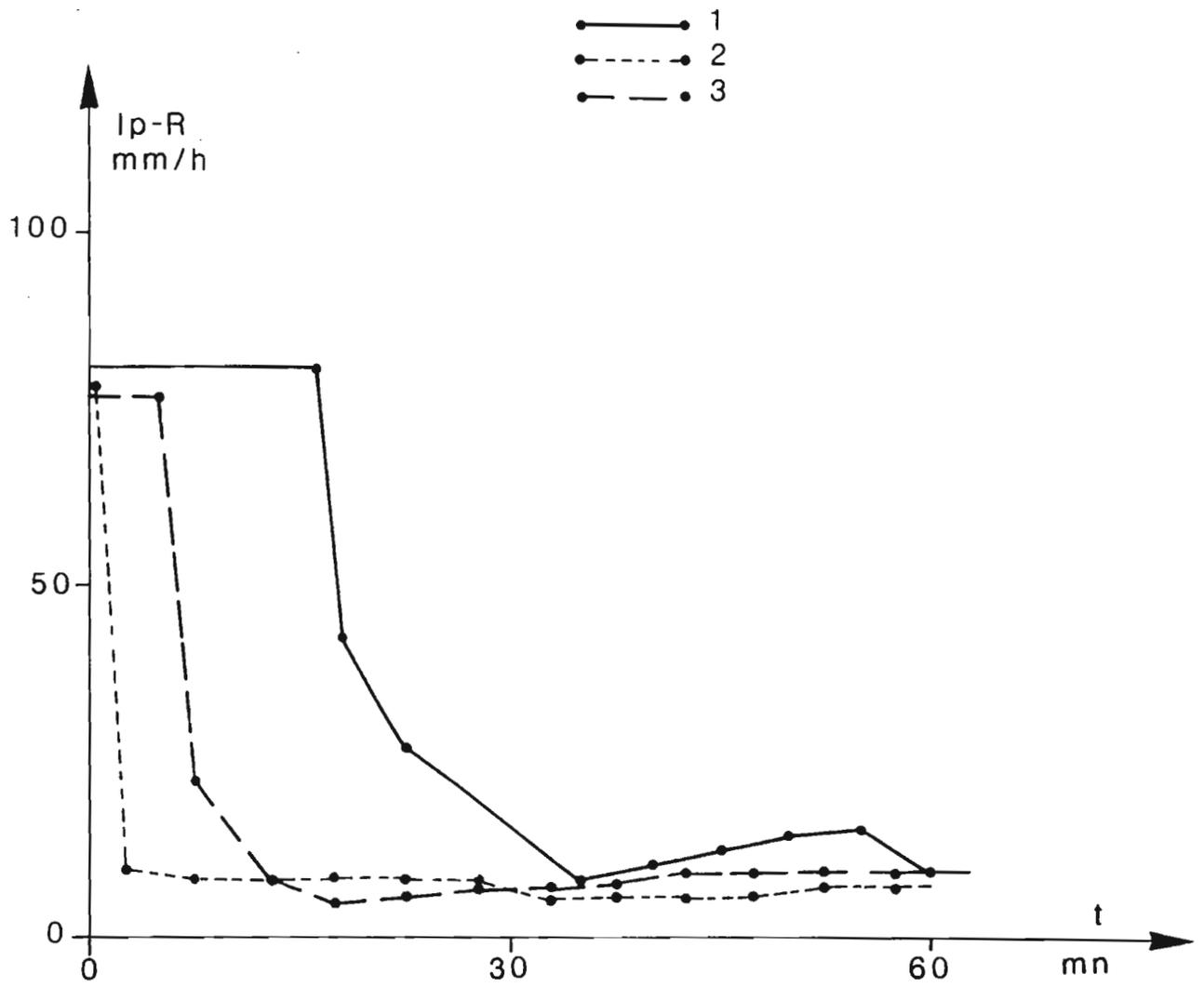


Fig- 12

PARCELLE YP 5 PLUIES 1-2-3

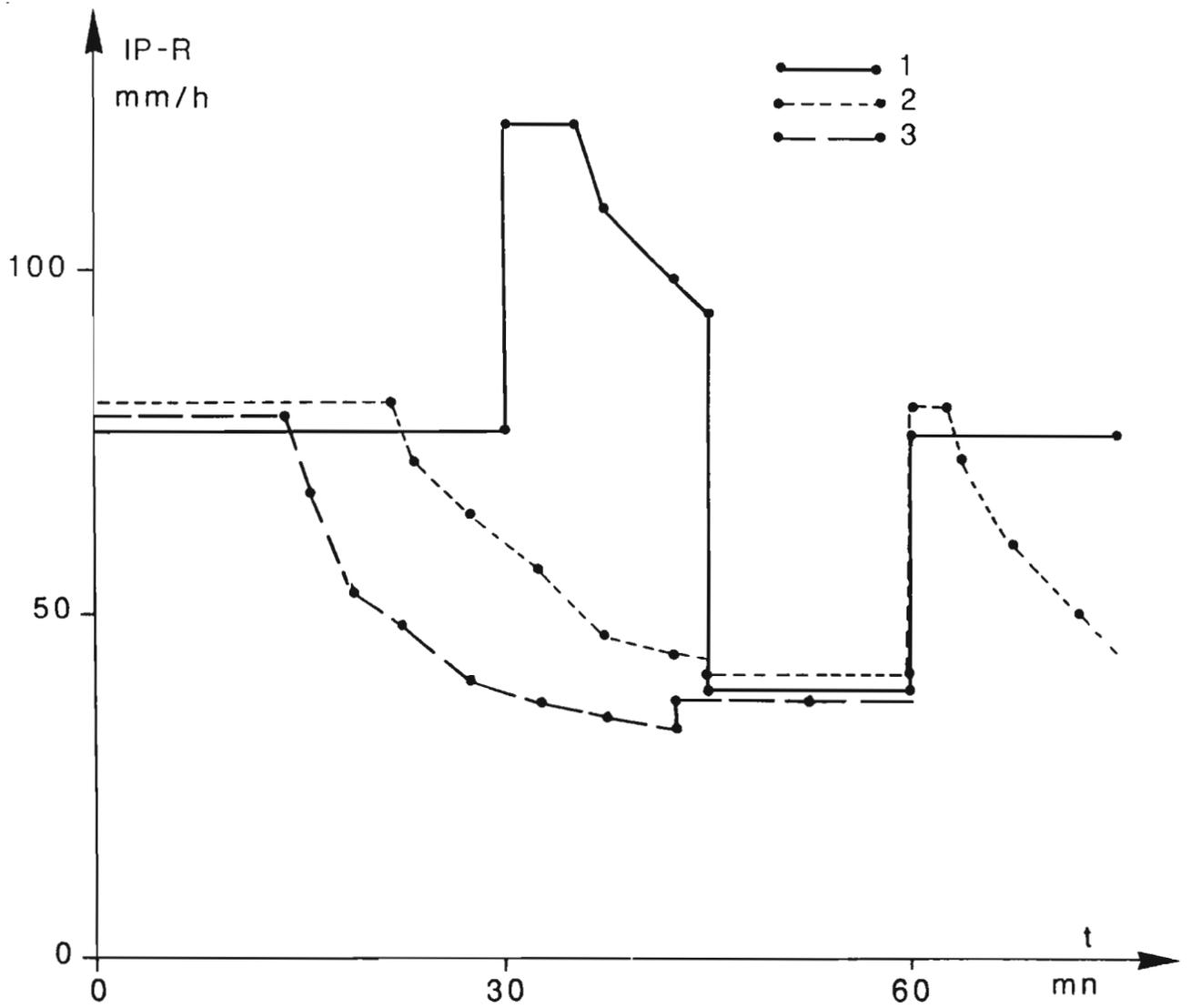


Fig- 13

PARCELLE YP 6

PLUIES 1-2-3

- 1
- - -●- - 2
- 3

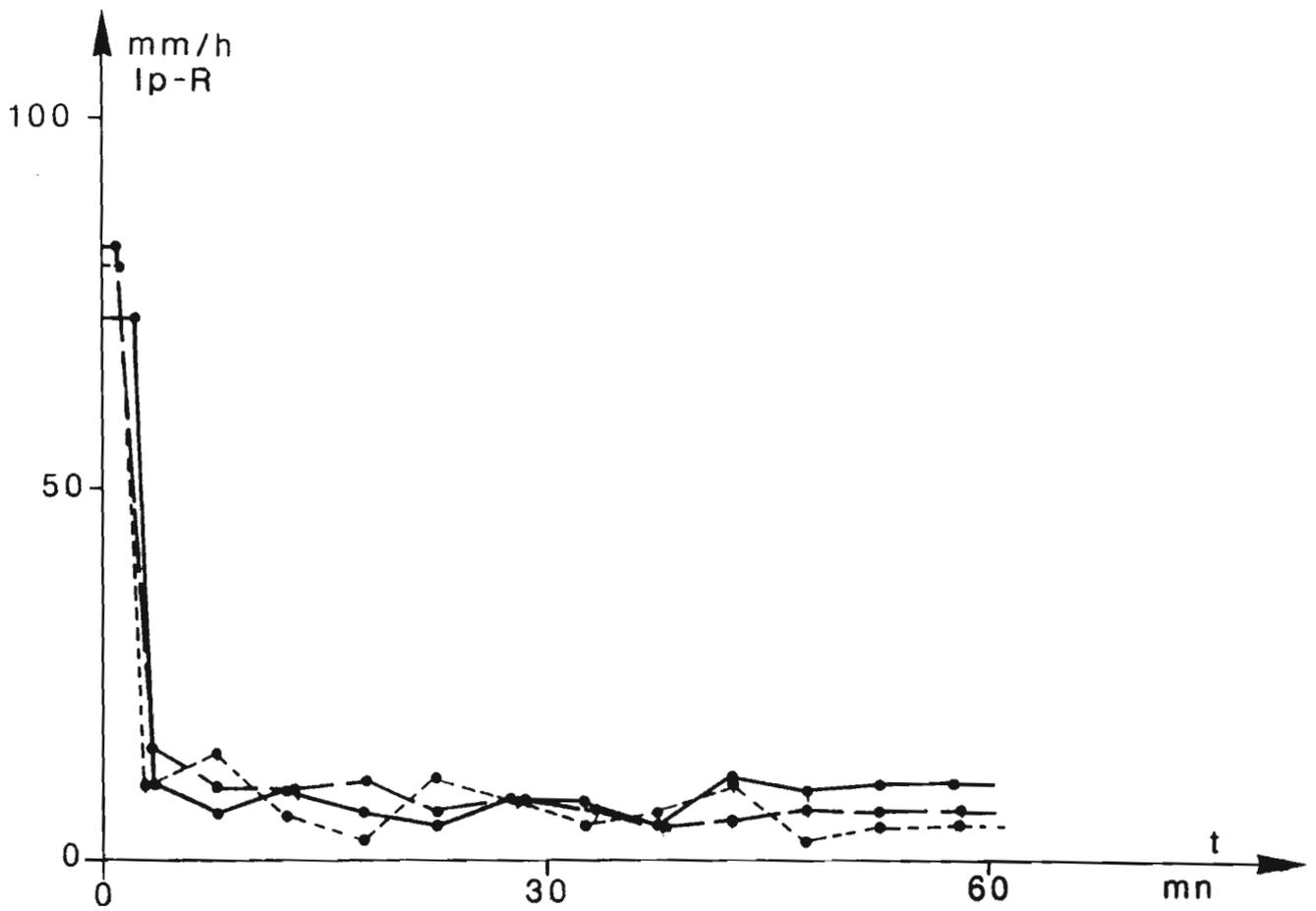


Fig- 14

COMPARAISON DES PERTES A L'ECOULEMENT SUR SOL SEC
-YOPOUGON-

PARCELLES 1-2-3-4-5-6

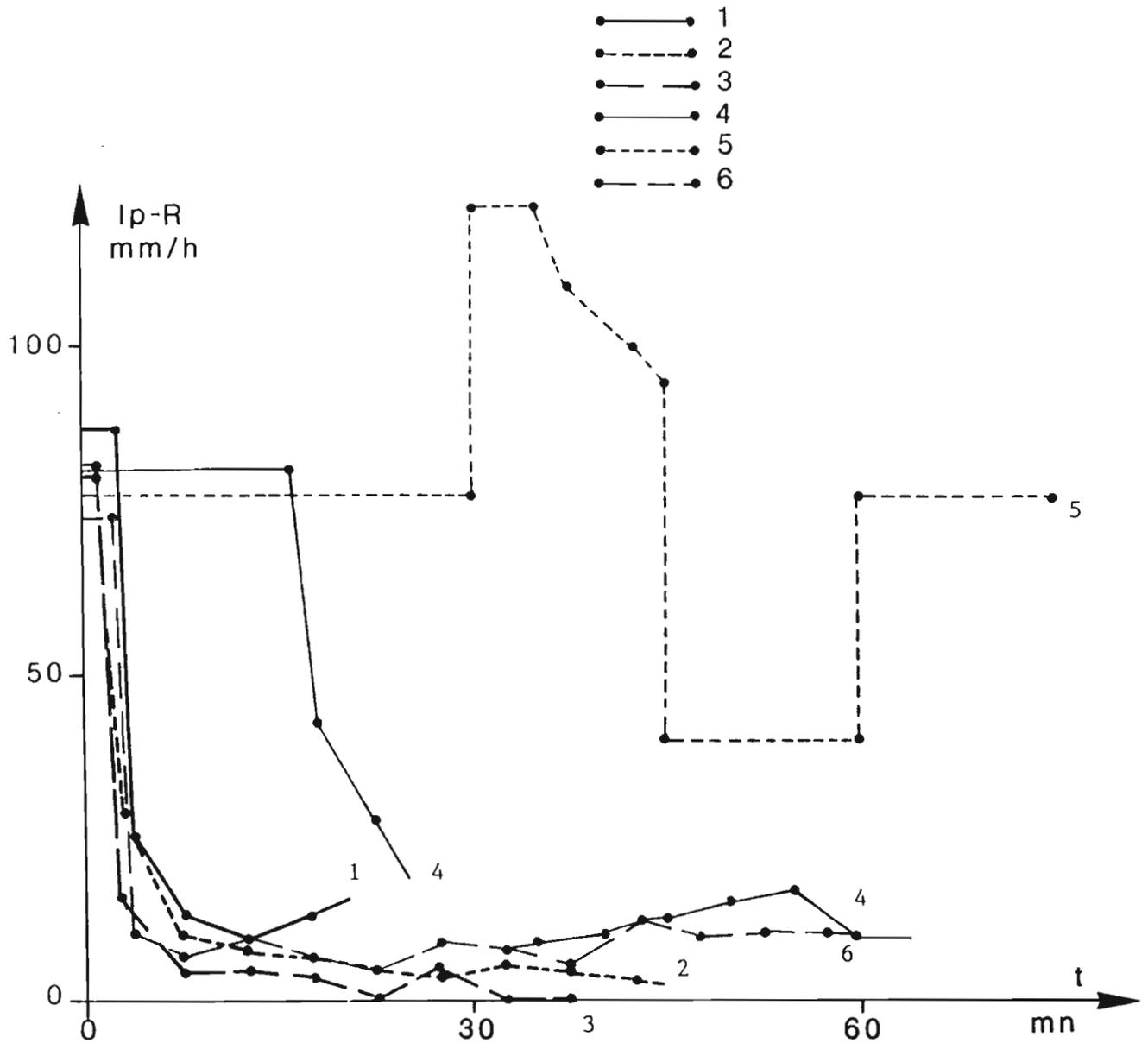


Fig- 15

COMPARAISON DES PERTES A L'ECOULEMENT SUR SOL HUMIDE
 -YOPOUGON-
 PARCELLES 1-2-3-4-5-6

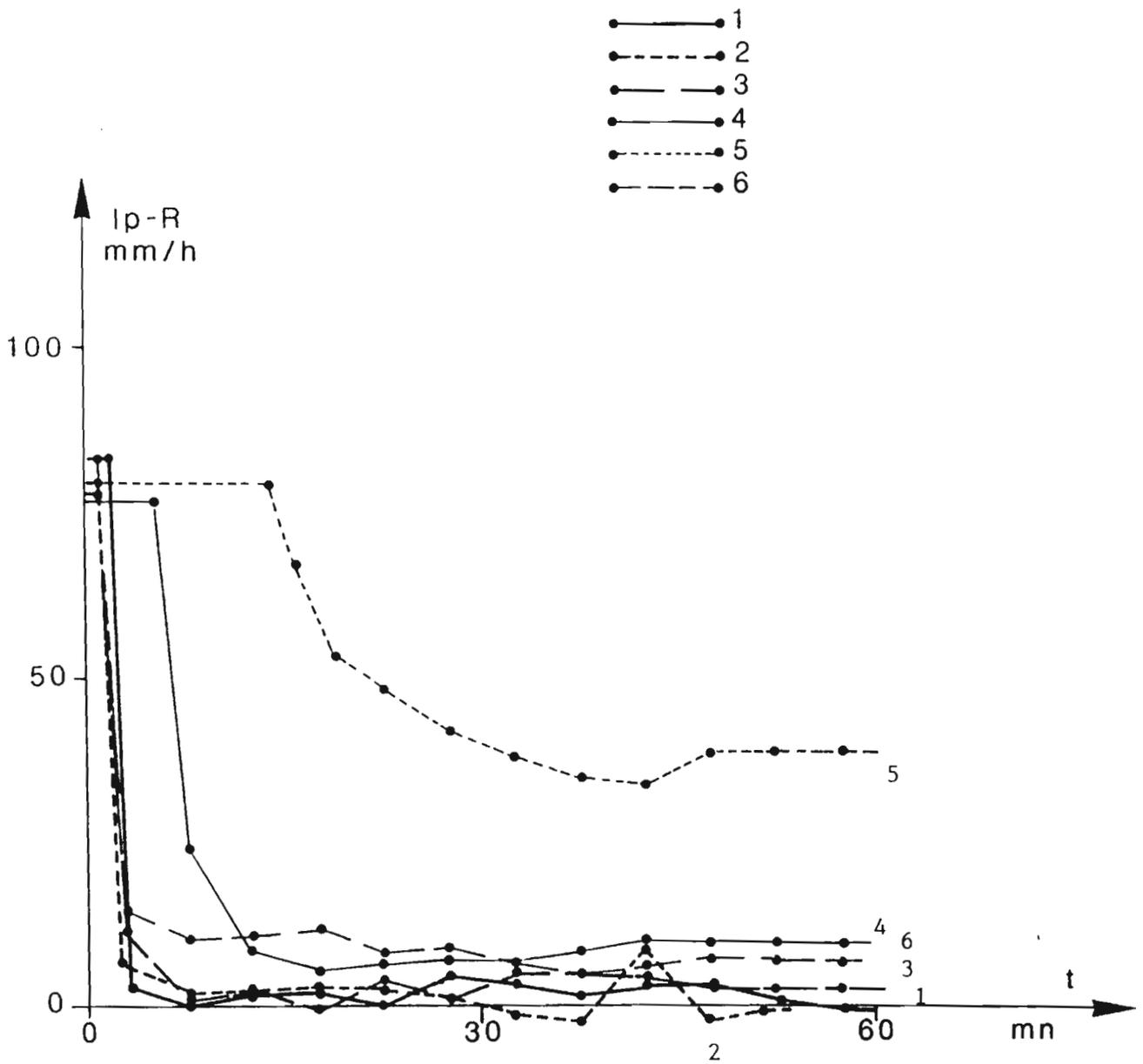


Fig- 16

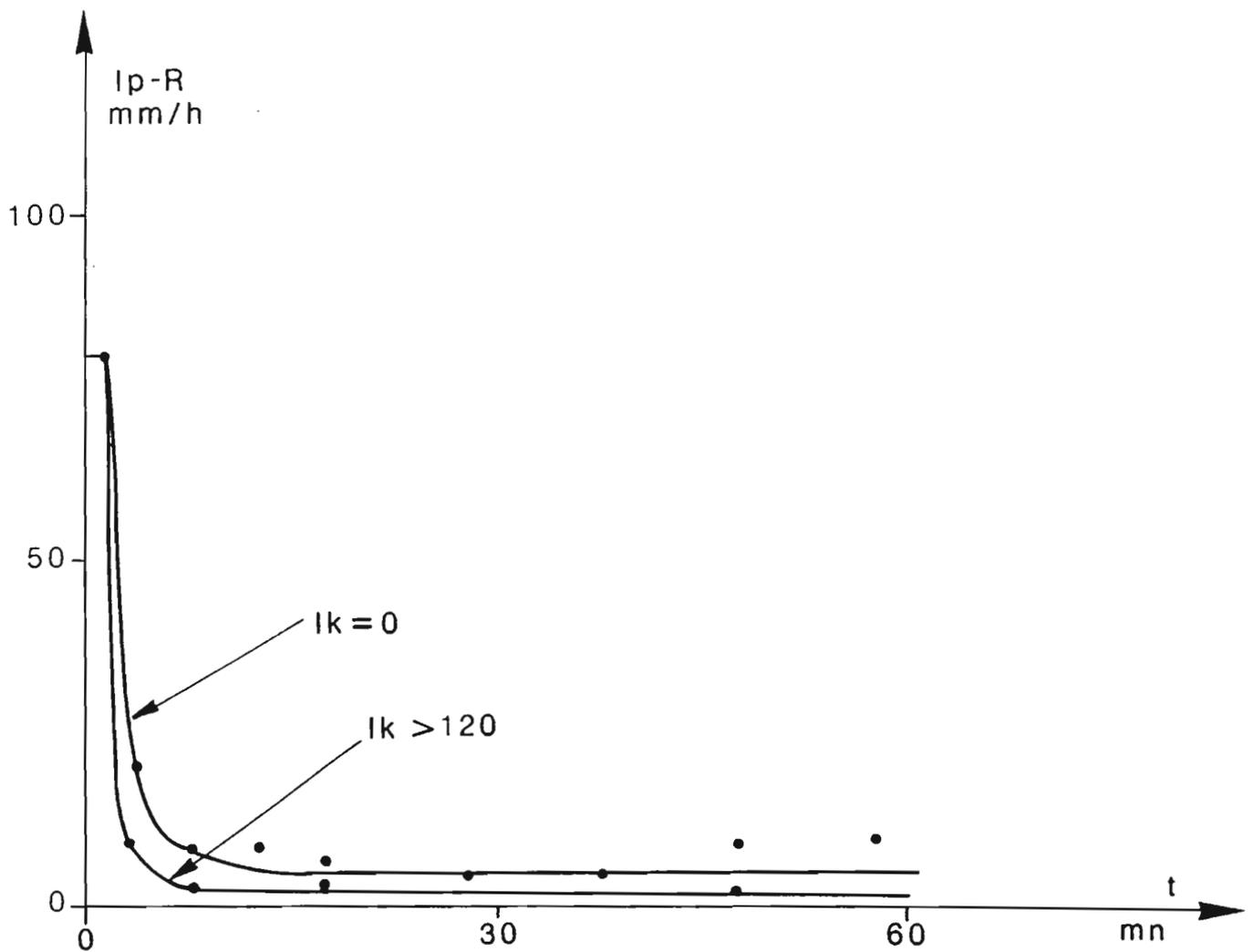


Fig-17- COURBES MEDIANES DES INTENSITES DES PERTES A L'ECOULEMENT SUR SOL NU (PARCELLES 1-2-3-6)-YOPOUGON-

Parcelle 1

Parcelle 2

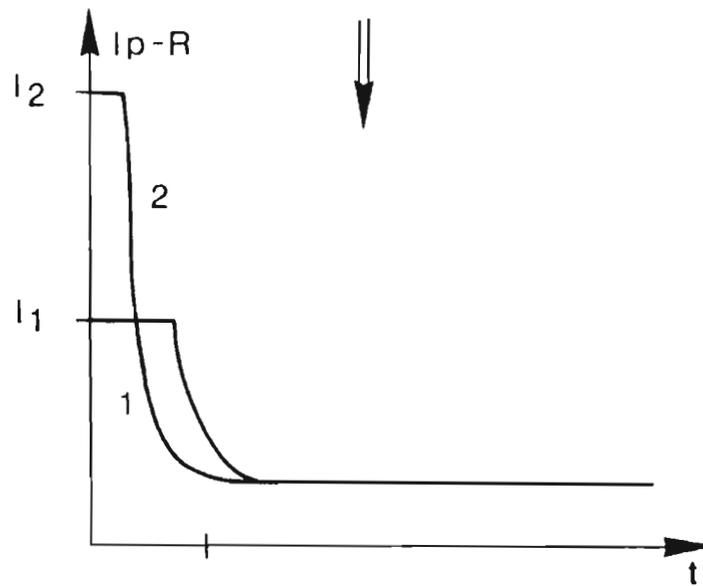
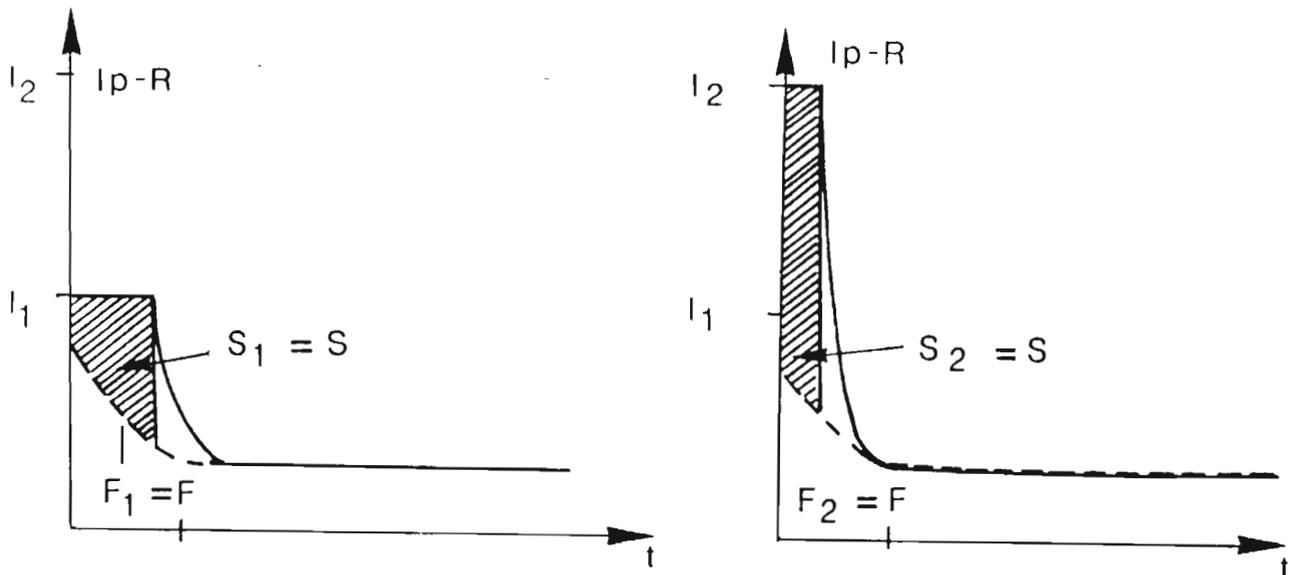


Fig.18 :
Résultats expérimentaux obtenus avec intensités de pluie différentes

		surface, 3 : couvrant plus de 50 % de la surface.
Porosité vésiculaire	abondance des vésicules	Notation visuelle in situ 0 : absence, 1 : > 5%, 2 : entre 5 % et 30 %, 3 : > 30 %
Pellicules plasmiques	continuité	Notation visuelle : 0 : absence, 1 : la pellicule est présente à l'affleurement ou sous les sables sur plus de 50 % de la surfac, 2 : plus de 70 %, 3 : plus de 95 %.
	épaisseur	Notation visuelle, 0 : absence, 1 : pellicule peu individualisée, 2 : épaisseur de l'ordre de 0,5 mm, 3 : de l'ordre de 1 mm.
Microhorizon	type	GC : grossier continu, GL : grossier libre, GI : grossier inclu, SPT : sableux peu trié, SF : sableux fin, P : pellicule plasmique, PA : plasmique à agrégats, PF : plasmiques à fentes, PC : plasmique continu.
Croute	type	A : aucune, DES : dessiccation, ST1-2-3 : structurale 1-2-3, ERO : érosion, RUI : ruissellement, DEC : décantation, G : grossière, AUT : autres.
Erosion	type	Notation visuelle, 0 : absence, 1 : traces d'impacts 2 : figures en piedestal peu marquées, 3 : bien marquées, 4 : érosion en marches d'escalier 5 : érosion linéaire.
<u>Sol</u>		
	Profondeur apparition d'un horizon à drainage limité	Notation d'après description du profil pédologique, 0 : absence ou profondeur supérieure à 60 cm, 1 : entre 40 cm et 60 cm, 2 : entre 20 cm et 40 cm 3 : > 20 cm.
	texture (0-20 cm)	Notation tactile, 0 : sableux, 1 : sablo-argileux, 2 : argileux.

ANNEXE : Notation des parcelles expérimentales -

<u>Rubrique</u>	<u>Nature de la variable</u>	<u>Méthode d'obtention</u>
<u>Recouvrement</u>		
Couvert végétal	%	Estimation visuelle in situ
Résidus	%	" "
Granulométrie (taille des constituants)	%	" "
		Argiles : moins de 0,002 mm Limons : 0,05 mm à 0,002 mm Sables fins : 0,2 mm à 0,05 mm Sables grossiers : 0,2 mm à 2 mm Gravillons et graviers libres : 2 mm à 20 mm Cailloux : > à 20 mm
<u>Organisations de surface</u>		
Micro relief	hauteur (en cm)	Mesure in situ de l'amplitude moyenne
	obstruction	Notation in situ : 0 : pas d'obstruction, 1 : faible, l'obstacle est subparallèle à l'axe d'écoulement, 2 : moyen l'obstacle est à près de 45°, 3 : 45° > angle > 90°, 4 : angle = 90°
Algues et mousses	couvert	Notation in situ : 0 : absence, 1 : traces, 2 : près de 5%, 3 : près de 15%, 4 : > 30%
Activité mésofaunique	couvert	Notation in situ du couvert des constructions mésofauniques
	porosité	Notation in situ : 0 : absence 1 : type placage de termite, 2 : type turricule de vers, 3 : type fourmillières.
Gravillons enchassés	%	estimation visuelle in situ
Fentes	largeur	Notation in situ, 0 : absence, 1 : > 1 mm, 2 : > 1 mm et en réseau
Hydromorphie de surface	abondance de taches	Notation visuelle in situ 0 : absence, 1 : traces, 2 : taches de rouille peu nombreuses (5% de la surface), 3 : nombreuses (>5%). Ces taches se localisent généralement sur la face inférieure de la pellicule plasmique.
Prise en masse des sables	cohésion	Notation visuelle : 0 : absence, 1 : sables non pris en masse, 2 : sables pris en masse couvrant moins de 50 % de la

porosité
(0-20 cm)

Notation visuelle,
0 : très poreux,
1 : assez poreux,
2 : peu poreux,
3 : très peu poreux.

hydromorphie
(0-20 cm)

Notation visuelle d'après indices de
couleurs et taches,
0 : absence,
1 : traces,
2 : quelques taches,
3 : nombreuses taches ou couleur
bleutée.

classe de
drainage

Notation synthétique d'après
description du profil, perméabilités
estimées comme
0 : très élevées,
1 : élevée,
2 : moyenne,
3 : assez faible,
4 : très faible,
5 : quasi nulle à saturation

DEFINITION DES SURFACES ELEMENTAIRES :

d'après la typologie de CASENAVE et VALENTIN

SURFACE DE TYPE CULTIVE 3 : C3. Figure n°6

Surface cultivée dont la porosité vésiculaire est supérieure à 30%. Cette surface est généralement associée à une pellicule de ruissellement dominante.

ABIDJAN (YOPOUGON) : Parcelle n°4.

SURFACE DE DESSICATION : DES. Figure n°7a et b

Surface non cultivée présentant moins de 20% de turricules de vers et moins de 40% de charge grossière, sans pellicule ou avec une pellicule de dessication. On trouve généralement ces surfaces sur les sols sableux associés à des couvertures végétales supérieures à 50%.

ABIDJAN (YOPOUGON) : Parcelle n°5

SURFACE DE TYPE STRUCTURALE 3 : ST3. Figure n°5

Surface non cultivée présentant moins de 20% de turricules de vers et moins de 40% de charge grossière, couverte d'une pellicule structurale à trois micro-horizons (sable grossier libre sur du sable fin pris en masse reposant sur une pellicule plasmique, à forte porosité vésiculaire).

ABIDJAN (YOPOUGON) : Parcelle N°1, 3 et 2, 6 (variante SDL)