

COMITE INTERAFRICAIN D'ETUDES HYDRAULIQUES

CIEH

CONVENTION FAC

223/C/DPL/86/160

CAMPAGNE DE SIMULATION
DE
PLUIES EN MILIEU URBAIN

LOME MARS 1987

C. BOUVIER
P. MAILLAC
L. SEGUIS
A. SMAOUI
J. L. JANEAU


INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

UR F 4 UR B 2

UNIVERSITE DES SCIENCES ET
TECHNIQUES DU LANGUEDOC

LABORATOIRE D'HYDROLOGIE
MATHÉMATIQUE

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 LOME
- 3.2. Description des états de surface 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. Suivi longue durée de la parcelle n°1
- 5.7. 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 Lomé du 15.03.87 au 07.04.87. Nous tenons à remercier A. CASENAVE, ainsi que toute l'équipe de l'UR B2 de Lomé, d'avoir oeuvré pour faciliter le déroulement de cette campagne.

P. MAILLAC a assuré le suivi des opérations sur le terrain.

L. SEGUIS a participé au suivi des opérations sur le terrain et à l'interprétation des mesures, et s'est attaché à la description des états de surface.

A. SMAOUI a participé au suivi des opérations sur le terrain et s'est attaché au dépouillement des mesures effectuées.

J.L. JANEAU a apporté son point de vue de pédologue et a complété la description des états de surface lors de son passage à Lomé. 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.

C. BOUVIER, présent à Lomé du 15 au 22.03.87 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 effectués à Ouagadougou, Niamey, Lomé, Abidjan, Cotonou et Bamako, vise à proposer un modèle de transformation pluie-débit adapté aux spécificités hydrologiques des bassins urbains africains.

La campagne de pluies simulées entreprise à Lomé s'inscrit dans une série de mesures analogues, relative à chacune des quatre premières 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).

D'autre part, pour établir un pont entre la séquence type précédemment décrite et les conditions naturelles rencontrées en saison des pluies, nous avons procédé à un suivi plus long pour une des parcelles (trois pluies supplémentaires espacées de une semaine et un jour, la première survenant sur un sol sec).

3. CHOIX DES PARCELLES

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

La ville de Lomé présente deux parties bien distinctes : la vieille ville coincée entre la lagune et la mer, et les quartiers Tokoin sur le plateau dominant la lagune. La vieille ville s'étend sur les sols sableux du cordon lagunaire, et les quartiers Tokoin s'étendent sur les sols sablo-argileux des "terres de Barres" qui dominant la lagune (figure 3).

Les bassins versants expérimentaux étudiés de 1977 à 1979 ont été choisis de façon à représenter la variété des types de sol rencontrée à Lomé (figure 4) :

- le bassin n° 2 est intégralement situé sur le plateau
- le bassin n°1 contient le bassin n°2 et possède une partie située en contrebas du plateau, qui présente dans cette zone des pentes relativement douces.
- le bassin n°3 est situé dans la vieille ville.

Notre premier souci a été d'étudier plus en détail la variété des sols sur l'ensemble des bassins versants 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 :

a) les sols dits de "terres de Barres", constitués de sables à teneur élevée en argile, de couleur rouge, dont le profil est très homogène. Ces sols constituent l'intégralité du bassin n°2 et la partie amont du bassin n°1, et sont représentés par les parcelles :

n°2 : Cette parcelle est située dans une cour de concession sur le bassin n°2. la couverture est constituée d'une légère frange sableuse d'épaisseur inférieure à 1 cm, surmontant une fine croûte superficielle. Le profil pédologique est très homogène et constitué de sables argileux rouges tassés.

n°3 : cette parcelle est située dans une cour de concession à proximité de la partie amont du bassin n°1. Elle possède une faible couverture de sable fin, non consolidé, associé à des petits gravillons. La croûte, épaisse de 2 cm, est recouverte d'une pellicule très fine (2 mm). on observe dans cette croûte de nombreuses petites vacuoles (correspondant à d'anciennes bulles d'air captives). Par endroit, la croûte se dédouble et une paléo-surface peut être dégagée.

De la pellicule jusqu'à une profondeur de 10 cm, le sable est sec. Croûte et pellicule sont constituées du même sable que le restant du profil.

Le restant du profil est homogène, de couleur rougeâtre, sablo-argileux, légèrement humide mais sans trace d'hydromorphie.

b) Les sols du cordon lagunaire, constitués de sables à faible teneur en argile, de couleur grise, couvrant la partie basse de la ville, notamment le bassin n°3 et la partie aval du bassin n°1.

Contrairement à la première catégorie de sols très homogènes, on trouve rarement ces sols sableux à l'état brut, mais souvent constitués de surfaces rapportées d'origine latéritique. Les états de surface trouvés sur ces bassins sont donc assez hétérogènes et sont représentés par les parcelles :

n°1 : Située sur le terrain de l'ORSTOM, cette parcelle possède un horizon supérieur compact de "terres de Barres", que surmonte une large frange meuble inférieure à 0,5 cm. L'épaisseur de cet horizon de couleur rougeâtre et d'une dizaine de cm, en dessous desquels on trouve un profil homogène constitué de sables lagunaires.

n°5 : Située sur le BV3 en bordure de lagune, sur un terrain utilisé comme terrain de sport, cette parcelle possède une couverture constituée de sable fin, sec, associé à un petit

nombre de gravillons et des résidus, dont l'épaisseur est d'environ 3 cm. La croûte est formée d'une pellicule fine (1-2 mm) reposant sur une épaisseur de 1 cm de sable consolidé et sec.

Le restant du profil est constitué d'un sable fin marron foncé-noir sur les 30 premiers centimètres, puis marrons au-delà. Vers 70 cm, le sable devient très fin. Dans les 30 premiers centimètres, on observe de nombreux débris de charbons de bois et détritiques divers.

n°4 : Située dans une cour de concession sur la partie aval du BV 1, cette parcelle possède une couverture constituée d'un demi-centimètre de sable libre.

La croûte est formée d'une pellicule extrêmement mince (1/4 mm) reposant sur une zone consolidée sableuse d'un centimètre d'épaisseur. Quelques débris et gravillons sont enchassés dans la croûte. Cependant, dans les zones humides, la croûte disparaît.

Le restant du profil est constitué de 10 cm de sable (de même taille que celui de la croûte, grain moyen), humide. Puis par une transition très rapide (2-3 cm), on passe à une argile compacte, très humide, de couleur gris-noir à nombreuses traces d'hydromorphie.

Il est intéressant de noter dans cette cour la présence de nombreuses pierres surélevées destinées à faciliter les passages, suggérant ainsi des occurrences d'inondations fréquentes.

n°6 : Cette parcelle est située dans la cour de l'école St Antoine sur le BV3.

Dix centimètres de sable moyen à fin, sec, recouvre une pellicule de 1 mm d'épaisseur. Cette pellicule sèche repose sur une croûte humide, très peu consolidée, d'un centimètre d'épaisseur.

Le restant du profil est constitué d'un sable fin, à légères traces d'hydromorphie. L'humidité augmente jusqu'à la nappe située à 80 cm de profondeur.

L'analyse granulométrique effectuée sur les 5 premiers centimètres du sol (figure 5) illustre les variétés des sols rencontrés sur la partie basse de la ville de Lomé : la proportion en argile va en croissant de la parcelle n°6, constituée exclusivement de sables, à la parcelle n°1 qui présente un horizon supérieur épais d'une dizaine de centimètres de "terre de barres", en passant par les parcelles n°4 et 5.

Pour l'ensemble des parcelles étudiées, nous avons procédé à des prélèvements du sol avant chaque pluie pour déterminer l'état d'humidité du sol (tableau 25 et 26). Il est intéressant de constater que les conditions initiales d'humidité sont très variables comme le montre la figure n°6 qui indique l'évolution des pourcentages d'humidité pondérale en fonction de la profondeur. Il apparaît une nette distinction entre les sols rouges peu hydromorphes constitués de "terres de barres" et les sols plus hydromorphes, de couleur grise ou marron, de la partie basse de la ville

3.2. Description des états de surface des parcelles

Les descriptions figurant au paragraphe précédent ont été complétées par une description détaillée des premiers centimètres du sol par la méthode préconisée par C. VALENTIN (tableaux 22 à 25), dont le référentiel se trouve en annexe.

Les parcelles n°1, 3 et 5 possèdent en surface trois micro-horizons : sables grossiers déliés, sables fins blanchis et pellicule plasmique à forte porosité vésiculaire fine. Elles appartiennent aux surfaces de type structurale 3 (figure 7).

La parcelle n°2 présente une pellicule d'érosion avec quelques sables grossiers localisés dans les micro-dépressions. Cette pellicule fine est solidaire de l'horizon sous-jacent. Elle appartient aux surfaces de type érosion (figure 8).

La parcelle n°4 présente une surface couverte de sables grossiers plus ou moins pris en masse qui reposent sur une fine pellicule rugueuse (aspérité liée aux déchets), c'est une pellicule de type structurale 2 (figure 9).

La parcelle n°6 contient de faibles taux d'argiles et de limons qui ne permettent pas la formation de croûte de surface. Le micro-relief est induit par le piétinement (amplitude de 0 à 10 cm). Elle appartient aux surfaces de type dessiccation (figure 10).

4. DEPOUILLEMENT DES MESURES

A l'occasion de cette campagne, les mesures ont porté principalement sur le ruissellement et l'infiltration. Nous avons procédé à 6 pluies sur la parcelle n°1 et à 3 pluies pour chacune des autres parcelles, soit 21 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 6.

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 sur la figure 11).

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 11 à 16, nous avons représenté, pour chaque parcelle, l'évolution des valeurs obtenues en soustrayant l'intensité du ruissellement R à l'intensité de la pluie Ip, 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 25 et 26).

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 Ip), 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 27 indique les valeurs des intensités de pluies obtenues lors du pré-étalonnage et du post étalonnage effectués systématiquement pour chaque expérience : ces valeurs sont très rarement (deux fois) supérieures à 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 montre que ces valeurs sont très variables d'une parcelle à l'autre. Nous pouvons cependant remarquer qu'une tendance nette se dégage en ce qui concerne le groupe de parcelles constitué de "terres de Barres" (n° 1, 2, 3) ; ces parcelles ont des coefficients de ruissellement très voisins, de l'ordre de 50% sur sol sec et de 85% sur sol humide.

Parcelle	1	2	3	4	5	6
Kr sec (%)	46	50	50	37	27	0
Kr saturé (%)	84	87	78	36	86	0

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 28) : P_i varie de 3,4 à 9,9 mm sur sol sec ($I_k = 0$) et 0,6 à 2,6 mm sur sol humide ($I_k = 120$).

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 29 indique pour chaque pluie les valeurs de l'intensité d'infiltration à saturation F_N , ainsi que la durée approximative t_s écoulée pour atteindre cette limite, quand elle existe. Il apparaît que :

1) plusieurs tendances se dégagent :

le groupe de parcelles n° 1, 2 et 3 ont des comportements assez proches. Le régime permanent est atteint après :

25 à 40 minutes sur sol initialement sec
1 à 25 minutes sur sol initialement humide.

l'intensité d'infiltration F_N alors atteinte est de l'ordre de :

30 mm/h sur sol initialement sec
4 à 14 mm/h sur sol initialement humide.

la parcelle n°4 présente un comportement indifférent à l'état d'humidité du sol, avant que l'intensité d'infiltration ne chute brutalement au cours de la troisième pluie. Avant cette chute, le régime permanent est atteint après 5 à 15 minutes et l'intensité d'infiltration alors atteinte est de l'ordre de 45 à 50 mm/h. Au cours de la troisième pluie, cette intensité tombe à 18 mm/h.

Comme la parcelle n°4, la parcelle n° 5 connaît une brusque diminution de l'intensité d'infiltration après l'établissement d'un palier constant. Au cours de la pluie n°1, un premier palier de l'ordre de 15 mm/h est atteint après 10 mn, puis un deuxième de l'ordre de 23 mm/h au bout de 40 mn. Pour les pluies suivantes, le régime permanent est atteint après 15 à 20 minutes. L'intensité d'infiltration alors atteinte est de l'ordre de 7 à 9 mm/h.

2) On assiste pour les parcelles 2, 4 et 5 à de brusques chutes d'intensité d'infiltration consécutives à des paliers constants. Ces variations ne sont pas dues à des variations de l'intensité de la pluie et il est probable que nous aurions pu obtenir le même phénomène sur les parcelles n° 1 et 3 avec des pluies n°1 plus longues.

Ces variations semblent indiquer que des phénomènes de restructuration du sol surviennent en cours de protocole.

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

- 1) - 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.

Pour l'ensemble des expériences, nous avons constaté plus précisément que :

- lorsqu'on procède à un changement d'intensité de pluie dans le sens d'une augmentation ($I_1 < I_2$), F_N augmente dans 7 cas sur 18 et diminue dans 11 cas sur 18.
- lorsqu'on procède à un changement d'intensité de pluie dans le sens d'une diminution ($I_1 > I_2$), F_N augmente dans 4 cas sur 11 et diminue dans 7 cas sur 11.

Si on considère que certains cas de diminution sont dus à des phénomènes de restructuration de la parcelle (au plus 1 par parcelle), les proportions obtenues ne semblent pas indiquer une influence significative de l'intensité de pluie I_p sur l'intensité d'infiltration F_N .

- 2) 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 mettre en évidence d'une façon statistique une éventuelle influence de la pluie sur l'intensité d'infiltration.

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 rétention 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. Suivi longue durée de la parcelle n°1

Nous avons procédé à 3 expériences complémentaires sur la parcelle n°1 à un mois d'intervalle sans avoir déplacé le cadre de la parcelle.

pluie n°4 le 14.04.87 matin $I_k = 0$
pluie n°5 le 20.04.87 matin $I_k = 0$
pluie n°6 le 21.04.87 après midi $I_k = 65$

S'il est satisfaisant de constater que les courbes des intensités de pertes à l'écoulement des expériences n°4 et 5 coïncident assez bien (figure 11), il est étonnant de mesurer la différence existant entre ces courbes et celle obtenue pour l'expérience n°1 dans des conditions pourtant a priori analogues en ce qui concerne l'état d'humidité du sol.

Il est bien clair que cette différence ne peut s'expliquer autrement que par des actions mécaniques ou autres de la pluie conduisant à une restructuration du profil : dans le cas de la parcelle n°1, cette restructuration est manifestement intervenue entre la pluie n°2 et la pluie n°3.

D'autre part, l'expérience n°6, réalisée sur sol humide, donne des résultats comparables à ceux de l'expérience n°3, réalisée dans des conditions analogues et intervenant également après restructuration de la parcelle.

Les expériences complémentaires n°4, 5 et 6 montrent donc que pour la parcelle n°1, les résultats expérimentaux restent assez stables après restructuration de la parcelle. La question maintenant posée est de savoir quand intervient cette restructuration de la parcelle.

En ce qui concerne ce phénomène, les résultats expérimentaux obtenus sur les autres parcelles font apparaître des variations d'infiltration en régime permanent pouvant être liées à ces mécanismes de restructuration.

parcelle n°2 : chute de l'intensité d'infiltration à saturation de 31,4 mm/h à 20,9 mm/h au cours de la pluie n°2.

parcelle n°4 : chute de l'intensité d'infiltration à saturation de 46,0 mm/h à 18,0 mm/h au cours de la pluie n°3.

parcelle n°5 : chute de l'intensité d'infiltration à saturation de 64,5 mm/h à 23,0 mm/h au cours de la pluie n°1.

5.7. Représentativité des mesures

Compte tenu du paragraphe précédent, la représentativité des mesures consiste non seulement à vérifier l'homogénéité des résultats expérimentaux obtenus pour des parcelles de caractéristiques semblables, mais encore à considérer pour une même parcelle plusieurs états structuraux.

1) Pour le groupe de parcelles à horizon supérieur constitué de "terres de barres", nous avons considéré 3 types de résultats obtenus :

- sur une parcelle non restructurée sur un sol initialement sec (pluie n°1)

- sur une parcelle restructurée sur un sol initialement sec (pluie n°4 dans le cas d'un suivi longue durée)
- sur une parcelle restructurée sur un sol initialement humide (pluie n°3).

L'homogénéité des résultats expérimentaux obtenus sur l'ensemble des parcelles 1,2 et 3 (figures 18 et 19) autorise la construction de courbes médianes représentatives (figure 20).

Pour I_k respectivement égal à 0 (pluie n°1) et supérieur à 120 (pluie n°3) nous avons procédé de la façon suivante :

- calcul de la pluie d'imbibition P_i médiane.
- calcul des valeurs médianes 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 $I_p = 80 \text{ mm/h}$.

Les valeurs médianes calculées figurent dans les tableaux 30 et 31.

Pour le cas des résultats obtenus sur sol sec sur une parcelle restructurée, nous avons extrapolé à partir de la courbe médiane n°1 en fonction des rapports d'affinité existant entre les courbes expérimentales obtenues sur la parcelle n°1 (pluie n°1 d'une part, et n°4 d'autre part), et nous avons obtenu les valeurs figurant dans le tableau ci-dessous :

	P_i	$I_{7,5}$	$I_{12,5}$	$I_{17,5}$	$I_{27,5}$	$I_{37,5}$	$I_{47,5}$	$I_{57,5}$
Pluie n° 1	8,0	38,5	35,2	33,0	32,0	32,0	30,8	29,6
Pluie n° 4	4,9	29,0	20,5	16,0	16,0	13,5	13,0	13,0
Rapport	0,61	0,75	0,58	0,48	0,50	0,42	0,42	0,44
(1)	2,9	30,3	21,5	16,6	16,0	13,4	12,9	13,0

où I_t représente l'intensité des pertes à l'écoulement à l'instant t , en mm/h

(1) Valeurs représentatives - Sols initialement sec sur parcelle restructurée.

- Pour la parcelle n°4, le problème semble se poser différemment. Les pourcentages élevés d'humidité pondérale indiquent que la parcelle est initialement très humide et réduisent donc l'influence de l'état d'humidité du sol puisqu'il ne compte qu'un état humide. Dans ces conditions, la chute brutale de l'intensité de l'infiltration au cours de la troisième pluie relève plus de la saturation du sol dûe à l'influence de l'horizon inférieur argileux moins perméable que d'une éventuelle restructuration.

Pour cette parcelle, nous avons construit deux courbes expérimentales (figure 21) des intensités de pertes à l'écoulement, représentatives de :

- la non-saturation de l'horizon supérieur ; cette courbe est celle obtenue lors de la pluie n°1.
- la saturation de l'horizon supérieur : la partie finale de cette courbe est celle obtenue lors de la pluie n°2 après $t = 50 \text{ mn}$ et la partie initiale est celle obtenue lors de la pluie complémentaire postérieure à la pluie n°3.

Ces valeurs figurent dans le tableau ci-dessous :

	Pi	I _{7,5}	I _{12,5}	I _{17,5}	I _{27,5}	I _{37,5}	I _{47,5}	I _{57,5}
(1)	4,6	47,0	47,0	45,5	45,5	45,0	45,0	44,0
(2)	1,3	20,4	13,2	-	-	-	-	20,0

où It représente l'intensité des pertes à l'écoulement à l'instant t, en mm/h

- (1) Sol initialement humide non saturé
(2) Sol initialement humide saturé.

Si on se réfère à la présence de pierres posées sur le sol de la cour de la concession pour faciliter les passages piétonniers, les conditions de saturation de l'horizon supérieur doivent largement prévaloir au cours de la saison des pluies. La parcelle n°4 est représentative de la partie basse du bassin n°2.

- 3) Le cas de la parcelle n°5 se situe à mi-chemin entre d'une part celui de la parcelle n°4, dont elle présente des conditions d'humidité initiale du sol comparables, et d'autre part ceux du groupe de parcelles 1, 2 et 3, dont elle présente des teneurs en argile analogues. On peut ainsi considérer que la parcelle n°5 présente des caractéristiques hydrodynamiques variant suivant :

- la non saturation de l'horizon supérieur, mesurée expérimentalement lors de la pluie n°1 jusqu'à t = 15 mn. Cet horizon se sature donc beaucoup plus rapidement que celui de la parcelle n°4, ce qui peut s'expliquer par la teneur en argile plus élevée de l'horizon supérieur.
- la saturation de l'horizon supérieur sur la parcelle non restructurée, mesurée expérimentalement lors de la pluie n°1 à partir de t = 40 mn et lors de la pluie secondaire postérieure à la pluie n°1.
- la saturation de l'horizon supérieur sur la parcelle restructurée ; cette restructuration apparaissant entre la pluie n°1 et la pluie n°2, elle est mesurée expérimentalement par les pluies n°2 et 3, à partir desquelles nous avons déterminé des valeurs expérimentales médianes. Ces valeurs figurent dans le tableau ci-dessous :

	Pi	I _{7,5}	I _{12,5}	I _{17,5}	I _{27,5}	I _{37,5}	I _{47,5}	I _{57,5}
(1)	9,9	-	64,5	-	-	-	-	-
(2)	0,7	21,4	19,0	-	-	-	23,0	23,0
Pluie n° 2	1,3	23,0	16,0	9,0	7,0	11,0	2,0	2,0
(3) Pluie n° 3	1,1	10,0	10,0	9,0	5,0	1,0	6,0	6,0
Médiane	1,2	16,5	13,0	9,0	6,0	6,0	4,0	4,0

où It représente l'intensité des pertes à l'écoulement à l'instant t, en mm/h

- (1) Sol initialement humide non saturé et non restructuré
(2) Sol initialement humide saturé et non restructuré
(3) Sol initialement humide restructuré

Les courbes représentatives des intensités des pertes à l'écoulement de la parcelle n° 5 sont dessinées sur la figure 22.

En définitive, nous obtenons des valeurs expérimentales de pertes à l'écoulement représentatives de 5 états structuraux rencontrés :

- E.S. 1 sol sec non restructuré
- E.S. 2 sol sec restructuré
- E.S. 3 sol humide non saturé et non restructuré
- E.S. 4 sol humide saturé et non restructuré
- E.S. 5 sol humide restructuré.

Notons que pour chaque parcelle, le nombre d'états structuraux possibles ne dépasse jamais 3 .

Le tableau suivant résume les caractéristiques représentatives des pertes à l'écoulement obtenues sur l'ensemble des parcelles :

	Parcelles 1-2-3			Parcelle 4		Parcelle 5		
	E.S. 1	E.S. 2	E.S. 5	E.S. 3	E.S. 4	E.S. 3	E.S. 4	E.S. 5
Pi (mm)	4,7	2,9	0,7	4,6	1,3	9,9	0,7	1,2
F _N (mm/h)	31,0	13,0	11,0	45,0	20,0	64,5	23,0	6,0
ts (mn)	35	25	15	15	10	15	15	30
D _R (mm)	0,3	0,3	0,4	0,9	0,9	0,4	0,4	0,4

Nous avons ensuite déterminé à l'aide de ces courbes les valeurs cumulées des pertes à l'écoulement (lame infiltrée + lame stockée) en fonction du temps (tableau 32), de la manière suivante :

pour une durée t_0 donnée,

- nous avons d'abord calculé par intégration l'aire comprise entre l'axe des abscisses et la courbe représentative I_p-R , l'axe des ordonnées et l'axe $t = t_0$.
- 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, $\alpha(t) \cdot D_R$ sinon avec $0 \leq \alpha(t) < 1$

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

Pour fixer les idées, nous retiendrons que le cumul des pertes à l'écoulement s'élève, pour une pluie d'une durée de 60 minutes, à :

37 mm sur sol initialement sec non restructuré type "terres de barres"
 20 mm sur sol initialement sec restructuré type "terres de barres"
 14 mm sur sol initialement humide restructuré type "terres de barres"

47 mm sur sol initialement humide non saturé type "hydromorphe"
 22 mm sur sol initialement humide saturé type "hydromorphe"

66 mm sur sol initialement humide non saturé non restructuré type "mixte"
 24 mm sur sol initialement humide saturé non restructuré type "mixte"
 11 mm sur sol initialement humide restructuré type "mixte".

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 drainage 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 figure 2),

- 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 D_R et D_m au moyen de deux coefficients A et \dots 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 utilisé des méthodes adaptées 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 33 indique quelles sont les valeurs de D_R et de $D_R + t_R \cdot F_N$ obtenues pour toutes les pluies obtenues à partir des pluies secondaires. Compte tenu des valeurs généralement relativement fortes de F_N , on obtient finalement un intervalle assez large, qui ne permet pas d'obtenir une estimation précise de D_m .

Cependant, dans le cas d'une intensité d'infiltration importante, la surface effectivement infiltrante se réduit assez rapidement à la fin de la pluie, à quelques drains principaux occupant sans doute moins de 10% de la surface totale de la parcelle. Dans ces conditions nous avons considéré que la valeur de D_R pouvait représenter une estimation assez correcte de la détention mobilisable de surface D_m .

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 condition 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_f , instant de la fin du stockage.

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

Le tableau 34 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°1, les valeurs de S_i obtenues sur chaque parcelle pour l'ensemble des 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:

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

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

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 relative imprécision des données.

CONCLUSION

L'étude des sols naturels rencontrés en zone urbaine à Lomé a montré que ceux-ci pouvaient être classés en deux grandes catégories, en regard de leurs caractéristiques hydrodynamiques : les sols nus de "terre de barre" situés sur le plateau dominant la lagune, et les sols nus plus hydromorphes de la partie basse de la ville.

En ce qui concerne les sols de "terre de barre", un premier résultat important est que, pour un indice d'humectation du sol I_k donné, les valeurs expérimentales de ruissellement obtenues sont très proches les unes des autres.

Un second résultat remarquable est que l'ensemble de ces parcelles subit une restructuration des profils due à l'action mécanique ou autre des premières pluies du protocole.

En ce qui concerne les sols plus hydromorphes de la partie basse de la ville, les parcelles étudiées ont montré une grande variété de résultats liée à la proportion d'argile contenue dans ces sols.

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 est 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.

Par contre, nous avons pu constater que toutes les parcelles, à l'exception de la parcelle n°6 qui ne ruisselle jamais, connaissent, indépendamment des variations de l'intensité de la pluie, des modifications hydrodynamiques importantes au cours du protocole que nous utilisons : la question est de savoir si ces modifications interviennent également en saison des pluies et à quel moment ?

Une campagne de mesures du ruissellement instantané sur parcelle sous pluies naturelles apporterait les éléments nécessaires pour répondre à ces questions.

Enfin, la représentativité des parcelles en fonction des bassins urbains expérimentaux étudiés à Lomé de 1977 à 1979 pour lesquels il existe des données hydropluviométriques de qualité, est clairement établie :

parcelles n° 1-2 et 3 représentatives des sols de "terres de barre" que l'on trouve sur le bassin n°2 et la partie amont du BV1

- parcelle n°4 représentative de la partie aval du BV1, se trouvant en contrebas du plateau et pouvant être délimitée sur les documents cartographiques à partir des courbes de niveau.

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
- LE BARBE (L.) : "Etude du ruissellement en zone urbaine à LOME - Recueil des données de base - Années 1977, 1978 et 1979."
Rapport CIEH - ORSTOM - décembre 1984
- 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

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°4	" n°1
Tableau 5 :	" n°5	" n°1
Tableau 6 :	" n°6	" n°1
Tableau 7 :	" n°1	" n°2
Tableau 8 :	" n°2	" n°2
Tableau 9 :	" n°3	" n°2
Tableau 10 :	" n°1	" n°3
Tableau 11 :	" n°2	" n°3
Tableau 12 :	" n°3	" n°3
Tableau 13 :	" n°1	" n°4
Tableau 14 :	" n°2	" n°4
Tableau 15 :	" n°3	" n°4
Tableau 16 :	" n°1	" n°5
Tableau 17 :	" n°2	" n°5
Tableau 18 :	" n°3	" n°5
Tableau 19 :	" n°1	" n°6
Tableau 20 :	" n°2	" n°6
Tableau 21 :	" n°3	" n°6
Tableau 22 :	Description des parcelles - Recouvrement	
Tableau 23 :	Description des parcelles - Organisation de surface	
Tableau 24 :	Description des parcelles - Sol	
Tableau 25 :	Mesures d'humidité pondérale effectuées sur les parcelles 1,2,3	
Tableau 26 :	Mesures d'humidité pondérale effectuées sur les parcelles 4,5,6	
Tableau 27 :	Intensité des pluies obtenues en pré-étalonnage et en post-étalonnage	
Tableau 28 :	Pluie d'imbibition	
Tableau 29 :	Intensité limite d'infiltration	
Tableau 30 :	Calcul des valeurs médianes des pertes à l'écoulement sur sol initialement sec	
Tableau 31 :	Calcul des valeurs médianes des pertes à l'écoulement sur sol initialement humide	
Tableau 32 :	Cumul des pertes à l'écoulement	
Tableau 33 :	Détection récupérable D_R et mobilisable D_m	
Tableau 34 :	Volume stocké S_i	

Tableau 1

Parcelle : LM 1

Date : 17/03/87

Pluie n° 1

 $I_k = 0$

Heure début : 12h05

 $D_{R_1} = 0,7 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 3 mn15 $D_{R_2} = 0,7 \text{ mm}$ 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	$K_R(t)$ %
6	80,0	8,0	0,0	0,0	80,0	8,0	0,0
10	80,0	13,3	41,5	2,2	38,5	11,1	16,5
15	80,0	20,0	44,8	6,0	35,2	14,0	30,0
20	80,0	26,7	47,0	9,6	33,0	17,1	36,0
25	80,0	33,3	48,0	13,7	32,0	19,6	41,1
30	80,0	40,0	48,0	17,7	32,0	22,3	44,3
35	80,0	46,7	48,0	21,8	32,0	24,9	46,7
40	80,0	53,3	48,0	26,0	32,0	27,0	48,8
45	80,0	60,0	48,0	30,5	32,0	29,5	50,8
50	80,0	66,7	49,2	34,3	30,8	32,4	51,4
55	80,0	73,3	49,2	38,4	30,8	34,9	52,4
60	80,0	80,0	50,4	42,6	29,6	37,4	53,3
68	0	0	0	0	0	0	0
69	80,0	1,3	0	0	80,0	1,3	0
73	80,0	6,7	43,5	2,9	36,5	3,8	43
78	80,0	13,3	51,6	7,2	28,4	6,1	54

Tableau 2

Parcelle : LM 1

Date : 17/03/87

Pluie n° 2

 $I_K = 89,5$

Heure début : 15h40

 $D_{R_1} = 0,7 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 3 mn30 $D_{R_2} = 0,7 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_2} : 2 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	$K_R(t)$ %
1	80,4	2,0	0,0	0,0	80,4	2,0	0,0
5	80,4	6,7	48,0	2,4	32,4	4,3	35,8
10	80,4	13,4	53,0	6,9	27,4	6,5	51,5
15	80,4	20,1	53,2	11,3	27,4	8,8	56,2
20	80,4	26,8	54,0	15,8	26,4	11,0	59,0
25	80,4	33,5	55,5	20,4	24,9	13,1	60,9
30	80,4	40,2	55,5	24,9	24,9	15,3	61,9
35	120,0	50,2	(89,0)	32,5	(31,0)	17,7	64,7
40	120,0	60,2	89,0	39,9	31,0	20,3	66,3
45	120,0	70,2	89,0	47,0	31,0	23,2	67,0
50	80,4	76,9	(52,0)	51,3	(28,4)	25,6	66,7
55	80,4	83,7	52,0	55,8	28,4	27,9	66,7
60	80,4	90,3	52,0	60,1	28,4	30,2	66,7
66	0	0	0	0	0	0	0
67	80,4	1,3	0	0	80,4	1,3	0
71	80,4	6,7	48,0	3,2	32,4	3,5	48
76	80,4	13,4	55,2	7,8	25,2	5,6	58

Tableau 3

Parcelle : LM 1

Date : 18/03/87

Pluie n° 3

 $I_K = 138,4$

Heure début : 8h58

 $D_{R_1} = 0,7 \text{ mm}$ 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	80,0	2,0	0,0	0,0	80,0	2,0	0,0
5	80,0	6,7	58,0	2,9	22,0	3,8	43,3
10	80,0	13,3	61,8	8,4	18,2	4,9	63,2
15	80,0	20,0	72,0	14,3	8,0	5,7	71,5
20	80,0	26,7	72,0	20,5	8,0	6,2	76,8
25	80,0	33,3	74,5	26,6	5,5	6,7	80,0
30	80,0	40,0	76,0	33,0	4,0	7,0	82,5
35	120,0	50,0	(114,0)	43,0	{ 6,0 }	7,0	86,0
40	120,0	60,0	116,0	52,5	4,0	7,5	87,5
45	120,0	70,0	117,0	62,1	3,0	7,9	88,7
50	45,0	73,7	(38,0)	65,4	{ 7,0 }	8,3	88,7
55	45,0	77,5	38,0	68,6	7,0	8,9	88,5
60	45,0	81,3	38,0	71,7	7,0	9,6	88,2
65	80,0	88,0	69,0	77,1	11,0	10,9	87,6
70	80,0	94,5	69,0	83,0	11,0	11,6	87,7
75	80,0	101,3	69,0	88,6	11,0	12,7	87,5
82	0	0	0	0	0	0	0
82,75	80,0	1,0	0	0	80,0	1,0	0
87	80,0	6,7	59,3	4,2	20,7	2,5	63
92	80,0	13,3	67,2	9,8	12,8	3,5	74

Tableau 4

Parcelle : LM 1

Date : 14/04/87

Pluie n° 4

 $i_k = 0$

Heure début : 9h10

 $D_{R_1} = 0,7 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 2 mn30 $D_{R_2} = 0,7 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_2} : 2 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	$K_R(t)$ %
3,5	84,0	4,9	0,0	0,0	84,0	4,9	0,0
5	84,0	7,0	17,6	0,3	66,4	6,7	4,0
10	84,0	14,0	55,0	4,4	29,0	9,6	31,0
15	84,0	21,0	63,5	9,6	20,5	11,4	46,0
20	84,0	28,0	68,0	15,1	16,0	12,9	54,0
25	84,0	35,0	68,0	20,7	16,0	14,3	59,0
30	84,0	42,0	68,0	26,5	16,0	15,5	63,0
35	84,0	49,0	68,0	32,1	16,0	16,9	66,0
40	84,0	56,0	70,5	38,0	13,5	18,0	68,0
45	84,0	63,0	70,5	43,9	13,5	19,1	70,0
50	84,0	70,0	71,0	49,9	13,0	20,1	71,0
55	84,0	77,0	71,0	55,8	13,0	21,2	72,0
60	84,0	84,0	71,0	61,7	13,0	22,3	73,0
69	0	0	0	0	0	0	0
70	84,0	1,4	0	0	84,0	1,4	0
74	84,0	7,0	64,5	4,3	19,5	2,7	61
79	84,0	14,0	70,8	10,4	13,2	3,6	74
84	84,0	21,0	74,4	16,6	9,6	4,4	79

Tableau 5

Parcelle : LM 1

Date : 20/04/87

Pluie n° 5

 $I_K = 5,2$

Heure début : 9h05

 $D_{R_1} = 0,6 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 2 mn30 $D_{R_2} = 0,6 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_2} : 2 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	$K_R(t)$ %
3	81,5	4,1	0	0	81,5	4,1	0
5	81,5	6,8	12,0	0,4	69,5	6,4	6
10	81,5	13,6	40,8	3,8	40,3	9,8	28
15	81,5	20,4	57,6	8,6	23,9	11,8	42
20	81,5	27,2	58,8	13,5	22,7	13,7	50
25	81,5	34,0	61,2	18,6	20,3	15,4	55
30	81,5	40,8	63,6	23,9	17,9	16,9	59
35	118,0	50,6	(105,0)	32,7	(13,0)	17,9	65
40	118,0	60,4	104,4	41,4	13,6	19,0	69
45	118,0	70,3	106,8	50,3	11,2	20,0	72
50	81,5	77,0	(68,0)	56,0	(13,5)	21,0	73
55	81,5	83,8	69,6	61,8	11,9	22,0	74
60	81,5	90,6	70,8	67,7	10,7	22,9	75
66	0	0	0	0	0	0	0
66,75	81,5	1,0	0	0	0	1,0	0
71	81,5	6,8	64,9	4,6	16,6	2,2	68
76	81,5	13,6	72,0	10,6	9,5	3,0	78
81	81,5	20,4	72,0	10,6	9,5	3,8	81

Tableau 6

Parcelle : LM 1

Date : 21/04/87

Pluie n° 6

 $I_K = 64,8$

Heure début : 14h32

 $D_{R_1} = 1,0 \text{ mm}$ $D_{R_2} = 1,0 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 2 mnDurée 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	$K_R(t)$ %
3	48,0	2,4	0	0	48,0	2,4	0
5	48,0	4,0	12,0	0,4	36,0	3,6	10
10	48,0	8,0	31,2	3,0	16,8	5,0	38
15	48,0	12,0	34,8	5,9	13,2	6,1	49
20	80,0	18,7	(56,4)	9,4	(23,6)	9,3	50
25	80,0	25,3	55,2	14,0	24,8	11,3	55
30	80,0	32,0	55,2	18,6	24,8	13,4	58
35	118,0	41,8	(93,6)	26,4	(24,4)	15,4	63
40	118,0	51,7	100,8	34,8	17,2	16,9	67
45	118,0	61,5	110,4	43,0	7,6	18,5	70
51	0	0	0	0	0	0	0
51,5	118,0	1,0	0	0	0	1,0	0
56	118,0	9,8	104,0	7,8	14,0	2,0	80
61	118,0	19,7	112,8	17,2	5,2	2,5	87

Tableau 7

Parcelle : LM 2

Date : 19/03/87

Pluie n° 1

 $I_K = 0$

Heure début : 15h25

 $D_{R_1} = 0,3 \text{ mm}$ $D_{R_2} = 0,3 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 1 mn30Durée de vidange de la D_{R_2} : 1 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	$K_R(t)$ %
3,5	80,4	4,7	0,0	0,0	80,4	4,7	0,0
5	80,4	6,7	32,5	0,9	47,9	5,8	13,4
10	80,4	13,4	40,0	4,3	40,4	9,1	32,1
15	80,4	20,1	43,0	7,8	37,4	12,3	38,8
20	80,4	26,8	44,5	11,5	35,9	15,3	42,9
25	80,4	33,5	47,0	15,5	33,4	18,0	46,3
30	80,4	40,2	49,0	19,6	31,4	20,6	48,8
35	80,4	46,9	49,0	23,7	31,4	23,2	50,5
40	80,4	53,6	49,0	27,9	31,4	25,7	52,1
45	80,4	60,3	49,0	32,1	31,4	28,2	53,2
50	80,4	67,0	56,0	36,9	24,4	30,1	55,1
55	80,4	73,7	59,5	41,8	20,9	31,9	56,7
60	80,4	80,4	59,5	46,6	20,9	33,9	58,0
65	0	0	0	0	0	0	0
65,5	80,4	0,7	0	0	80,4	0,7	0
70	80,4	6,7	56,0	4,2	24,4	2,5	63
75	80,4	13,4	62,4	9,4	18,0	4,0	70

Tableau 8

Parcelle : LM 2

Date : 20/03/87

Pluie n° 2

$I_k = 65,8$

Heure début : 9h50

$D_{R_1} = 0,4$ mm

Duree de vidange de la D_{R_1} : 3 mn

$D_{R_2} = 0,3$ mm

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	80,0	1,3	0,0	0,0	80,0	1,3	0,0
5	80,0	6,7	62,0	4,1	18,0	2,6	61,2
10	80,0	13,3	69,0	9,9	11,0	3,4	74,4
15	80,0	20,0	69,0	15,7	11,0	4,3	78,5
20	80,0	26,7	71,0	21,7	9,0	5,0	81,3
25	80,0	33,3	71,0	27,6	9,0	5,7	82,9
30	120,0	40,0	(99,0)	36,2	(21,0)	3,9	90,5
35	120,0	50,0	110,0	45,1	10,0	4,9	90,2
40	120,0	60,0	110,0	54,4	10,0	5,6	90,7
45	120,0	70,0	112,0	63,7	8,0	6,3	91,0
50	80,0	76,7	50,0	68,8	30,0	7,9	89,7
55	80,0	83,3	50,0	72,4	30,0	10,9	87,0
60	80,0	90,0	50,0	76,4	30,0	13,6	85,0
67	0	0	0	0	0	0	0
67,5	80,0	0,7	0	0	80,0	0,7	0
72	80,0	6,7	46,7	3,5	33,3	3,2	52
77	80,0	13,3	48,0	7,5	32,0	5,8	56

Observations : irrégularités observées sur le diagramme entre $t = 30$ mn et $t = 35$ mn.

Tableau 9

Parcelle : LM 2

Date : 20/03/87

Pluie n° 3

 $I_K = 155,6$

Heure début : 14h51

 $D_{R_1} = 0,4 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 1 mn30 $D_{R_2} = 0,4 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_2} : 1 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	$K_R(t)$ %
0,5	80,0	0,7	0,0	0,0	80,0	0,7	0,0
5	80,0	6,7	68,0	6,1	12,0	0,6	91,0
10	80,0	13,3	68,0	11,8	12,0	1,5	88,7
15	80,0	20,0	68,0	17,5	12,0	2,5	87,5
20	80,0	26,7	68,0	23,2	12,0	3,5	87,0
25	80,0	33,3	68,0	28,8	12,0	4,5	86,5
30	80,0	40,0	68,0	34,4	12,0	5,6	86,0
35	116,0	49,7	(100,0)	42,7	(16,0)	7,0	86,0
40	116,0	59,3	100,0	51,1	16,0	8,2	86,2
45	116,0	69,0	100,0	59,6	16,0	9,4	86,4
50	44,0	72,7	(34,0)	62,4	(10,0)	10,3	85,8
55	44,0	76,3	34,0	65,2	10,0	11,1	85,5
60	44,0	80,0	35,0	68,1	10,0	11,9	85,1
65	80,0	86,7	71,0	74,1	9,0	12,6	85,5
70	80,0	93,3	73,0	80,2	7,0	13,1	86,0
75	80,0	100,0	73,0	86,3	7,0	13,7	86,3
80	0	0	0	0	0	0	0
80,5	80,0	0,7	0	0	80,0	0,7	0
85	80,0	6,7	69,3	5,2	10,7	1,5	78
90	80,0	13,3	75,6	11,5	4,4	1,8	87

Tableau 10

Parcelle : LM 3

Date : 25/03/87

Pluie n° 1

 $I_K = 2$

Heure début : 10h30

 $D_{R_1} = 0,2 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 1 mn $D_{R_2} = 0,2 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_2} : 1 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	$K_R(t)$ %
2,5	82,0	3,4	0,0	0,0	82,0	3,4	0,0
5	82,0	6,8	36,0	1,4	46,0	5,4	20,6
10	82,0	13,7	41,0	4,8	41,0	8,9	35,0
15	82,0	20,5	45,0	8,6	37,0	11,9	42,0
20	82,0	27,3	47,5	12,4	34,5	14,9	45,4
25	82,0	34,2	47,5	16,3	34,5	17,9	47,7
30	82,0	41,0	49,5	20,2	32,5	20,8	49,3
35	82,0	47,8	49,5	24,3	32,5	23,5	50,8
40	82,0	54,7	50,0	28,3	32,0	26,4	51,7
45	82,0	61,5	51,0	32,7	31,0	28,8	53,2
50	82,0	68,3	5,0	36,9	31,0	31,4	54,0
55	82,0	75,2	51,0	41,4	31,0	33,8	54,8
60	82,0	82,0	51,0	45,7	31,0	36,3	55,7
67	0	0	0	0	0	0	0
67,5	82,0	0,7	0	0	82,0	0,7	0
72	82,0	6,8	50,7	3,8	31,3	3,0	56
77	82,0	13,7	54,0	8,3	28,0	5,4	61
82	82,0	20,5	58,8	13,2	23,2	7,3	64

Tableau 11

Parcelle : LM3

Date : 26/03/87

Pluie n° 2

 $I_K = 53,8$

Heure début : 8h53

Durée de la pluie : 30mn

 $D_{R_1} = 0,3$ mnDurée de vidange de la D_{R_1} : 1 mn30 $D_{R_2} = 0,2$ mmDurée de vidange de la D_{R_2} : 1 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	81,0	1,3	0	0,0	81,0	1,3	0,0
5	81,0	6,8	56,0	3,6	25,0	3,2	52,9
10	81,0	13,5	60,0	8,8	21,0	4,7	65,2
15	81,0	20,2	63,0	14,2	19,0	6,0	70,3
20	81,0	27,0	67,0	19,8	14,0	7,2	73,3
25	81,0	33,9	67,0	25,2	14,0	8,6	74,6
30	81,0	40,5	67,0	31,0	14,0	9,5	76,5
35	120,0	50,5	(101,0)	39,6	(19,0)	10,9	78,4
40	120,0	60,5	101,0	48,0	19,0	12,5	79,3
45	120,0	70,5	101,0	56,5	19,0	14,0	80,1
50	81,0	77,3	(67,0)	62,0	(14,0)	15,3	80,2
55	81,0	84,0	67,0	67,6	14,0	16,4	80,5
60	81,0	90,7	67,0	73,0	14,0	17,7	80,5
65	0	0	0	0	0	0	0
65,5	81,0	0,7	0	0	81,0	0,7	0
70	81,0	6,8	64,0	4,8	17,0	2,0	71
75	81,0	13,5	66,0	10,3	15,0	3,2	76

Tableau 12

Parcelle : LM3

Date : 26/03/87

Pluie n° 3

 $I_K = 126,6$

Heure début : 15h30

Durée de la pluie : 30mn

 $D_{R_1} = 0,3$ mnDurée de vidange de la D_{R_1} : 2 mn $D_{R_2} = 0,3$ mmDurée de vidange de la D_{R_2} : 1 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	$K_R(t)$ %
0,5	82,0	0,7	0	0,0	82,0	0,7	0,0
5	82,0	6,8	59,0	4,2	23,0	2,6	61,8
10	82,0	13,7	64,0	9,5	18,0	4,2	69,3
15	82,0	20,5	66,0	15,1	16,0	5,4	73,7
20	82,0	27,3	66,0	20,5	16,0	6,8	75,1
25	82,0	34,2	68,0	26,1	14,0	8,1	76,3
30	82,0	41,0	68,0	31,7	14,0	9,3	77,3
35	120,0	51,0	(107,0)	40,7	(13,0)	10,3	79,8
40	120,0	61,0	107,0	49,6	13,0	11,4	81,3
45	120,0	71,0	107,0	58,6	13,0	12,4	82,5
50	42,0	74,5	(27,0)	61,3	(15,0)	13,2	82,3
55	42,0	78,0	27,0	63,7	15,0	14,3	81,7
60	42,0	81,5	27,0	66,0	15,0	15,5	81,0
65	82,0	88,3	(74,0)	72,2	(8,0)	16,1	81,8
70	82,0	95,2	74,0	78,4	8,0	16,8	82,4
75	82,0	102,0	74,0	84,8	8,0	17,2	83,1
80	0	0	0	0	0	0	0
80,5	82,0	0,7	0	0	82,0	0,7	0
85	82,0	6,8	72,0	5,4	10,0	1,4	80
90	82,0	13,7	76,8	11,8	5,2	1,9	86
95	82,0	20,5	75,6	18,1	6,4	2,4	88

Tableau 13

Parcelle : LM4

Date : 30/03/87

Pluie n° 1

 $I_k = 0$

Heure début : 10h30

 $D_{R_1} = 0,9 \text{ mn}$ $D_{R_2} = 1,0 \text{ mn}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 10 mnDurée de vidange de la D_{R_2} : 12 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	$K_R(t)$ %
3,5	78,0	4,6	0,0	0,0	78,0	4,6	0,0
5	78,0	6,5	23,0	0,5	55,0	6,0	7,7
10	78,0	13,0	31,0	2,9	47,0	10,1	22,3
15	78,0	19,5	31,0	5,5	47,0	14,0	28,2
20	78,0	26,0	32,5	8,4	45,5	17,6	32,3
25	78,0	32,5	32,5	11,0	45,5	21,5	33,8
30	78,0	39,0	35,5	13,7	45,5	25,3	35,1
35	78,0	45,5	32,5	16,4	45,5	29,1	36,0
40	78,0	52,0	33,0	19,2	45,0	32,8	36,9
45	78,0	58,5	33,0	21,9	45,0	36,6	37,4
50	78,0	65,0	33,0	24,7	45,0	40,3	38,0
55	78,0	71,5	34,0	27,4	44,0	44,1	38,3
60	78,0	78,0	34,0	30,3	44,0	47,7	38,8
79	0	0	0	0	0	0	0
81	78,0	2,6	0	0	78,0	2,6	0
84	78,0	6,5	32,0	1,6	46,0	4,9	25
89	78,0	13,0	36,0	4,6	42,0	8,4	35
94	78,0	19,5	36,0	7,6	42,0	11,8	39

Tableau 14

Parcelle : LM4

Date : 31/03/87

Pluie n° 2

 $I_K = 48,3$

Heure début : 9h59

 $D_{R_1} = 0,8 \text{ mn}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 10 mn30 $D_{R_2} = 0,8 \text{ mn}$ Durée de vidange de la D_{R_2} : 12 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	80,0	2,7	0,0	0,0	80,0	2,7	0,0
5	80,0	6,7	31,0	1,5	49,0	5,2	22,4
10	80,0	13,3	33,0	4,1	47,0	9,2	30,8
15	80,0	20,0	33,0	7,0	47,0	13,0	35,0
20	80,0	26,7	33,0	9,6	47,0	17,1	36,0
25	80,0	33,3	33,0	12,6	47,0	20,7	37,8
30	80,0	40,0	33,0	15,1	47,0	24,9	37,8
35	116,0	49,7	(56,0)	19,7	(60,0)	30,0	39,6
40	116,0	59,3	56,0	24,9	60,0	34,8	41,3
45	116,0	69,0	58,0	29,6	58,0	39,4	42,9
50	80,0	75,7	(33,0)	32,5	(47,0)	43,2	42,9
55	80,0	82,3	33,0	35,2	47,0	47,1	42,8
60	80,0	69,0	33,0	37,9	47,0	51,1	42,6
74	0	0	0	0	0	0	0
75,5	80,0	2,0	0	0	80,0	2,0	0
79	80,0	6,7	30,8	1,8	49,2	4,9	27
84	80,0	13,3	32,4	4,5	47,6	8,8	34
89	80,0	20,0	32,4	7,2	47,6	12,8	36

Tableau 15

Parcelle : LM4

Date : 31/03/87

Pluie n° 3

 $I_k = 125,4$

Heure début : 15h19

 $D_{R_1} = 0,6 \text{ mn}$ $D_{R_2} = 0,9 \text{ mn}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 4 mnDurée de vidange de la D_{R_2} : 5 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	78,0	2,6	0,0	0,0	78,0	2,6	0,0
5	78,0	6,5	27,0	1,4	51,0	5,1	21,5
10	78,0	13,0	28,0	3,8	50,0	9,2	29,2
15	78,0	19,5	28,0	6,1	50,0	13,4	31,3
20	78,0	26,0	28,0	8,4	50,0	17,6	32,3
25	78,0	32,5	31,0	11,0	47,0	21,5	33,8
30	78,0	39,0	32,0	13,6	46,0	25,4	34,9
35	114,0	48,5	(62,5)	18,6	(51,5)	29,9	38,4
40	114,0	58,0	62,5	23,8	51,5	34,2	41,0
45	114,0	67,5	71,0	29,8	43,0	37,7	44,1
50	42,0	71,0	(16,0)	31,4	(26,0)	39,6	44,2
55	42,0	74,5	22,0	32,9	20,0	41,6	44,2
60	42,0	78,0	22,0	34,8	20,0	43,2	44,6
65	78,0	84,5	(54,0)	39,2	(24,0)	45,3	46,4
70	78,0	91,0	60,0	44,0	18,0	47,0	48,4
75	78,0	97,5	60,0	49,0	18,0	48,5	50,3
85	0	0	0	0	0	0	0
86	78,0	1,3	0	0	78,0	1,3	0
90	78,0	6,5	57,0	3,8	21,0	2,7	59
95	78,0	13,0	57,6	8,6	20,4	4,4	66
100	78,0	19,5	64,8	14,0	13,2	5,5	72

Tableau 16

Parcelle : LM 5

Date : 01/04/87

Pluie n° 1

 $I_K = 0$

Heure début : 15h38

 $D_{R_1} = 0,3 \text{ mm}$ $D_{R_2} = 0,4 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 2 mnDurée de vidange de la D_{R_2} : 1 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	$K_R(t)$ %
7	85,0	9,9	0,0	0,0	85,0	9,9	0,0
10	85,0	14,2	20,5	1,0	64,5	13,2	7,0
15	85,0	21,3	20,5	2,4	64,5	18,9	11,3
20	85,0	28,3	27,0	4,4	58,0	23,9	15,5
25	85,0	35,4	42,0	7,1	43,0	28,3	20,1
30	85,0	42,5	54,0	11,3	31,0	31,2	26,6
35	85,0	49,6	57,0	16,0	28,0	33,6	32,3
40	85,0	56,7	57,5	20,8	27,5	35,9	36,7
45	85,0	63,9	62,0	26,0	23,0	37,8	40,8
50	85,0	70,8	62,0	32,0	23,0	38,8	45,2
55	85,0	77,9	62,0	36,6	23,0	41,3	47,0
60	85,0	85,0	62,0	41,4	23,0	43,6	48,7
67	0	0	0	0	0	0	0
67,5	85,0	0,7	0	0	85,0	0,7	0
72	85,0	7,1	58,7	4,4	26,3	2,7	62
77	85,0	14,2	63,6	9,7	21,4	4,5	68
82	85,0	21,3	66,0	15,2	19,0	6,1	71

Tableau 17

Parcelle : LM 5

Date : 02/04/87

Pluie n° 2

 $I_K = 60,8$

Heure début : 8h42

 $D_{R_1} = 0,4$ mmDurée de vidange de la D_{R_1} : 3 mn $D_{R_2} = 0,6$ 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	80,0	1,3	0,0	0,0	80,0	1,3	0,0
5	80,0	6,7	47,0	2,0	33,0	4,7	29,9
10	80,0	13,3	57,0	6,7	23,0	6,6	50,4
15	80,0	20,0	64,0	12,3	16,0	7,7	61,5
20	80,0	26,7	71,0	17,8	9,0	8,9	66,7
25	80,0	33,3	73,0	23,9	7,0	9,4	71,8
30	80,0	40,0	73,0	30,1	7,0	9,9	75,3
35	120,0	50,0	(109,0)	39,4	(11,0)	10,6	78,8
40	120,0	60,0	109,0	48,5	11,0	11,5	80,8
45	120,0	70,0	109,0	57,7	11,0	12,3	82,4
50	80,0	76,7	(78,0)	64,2	(2,0)	12,5	83,7
55	80,0	83,3	78,0	70,5	2,0	12,8	84,6
60	80,0	90,0	78,0	76,9	2,0	13,1	85,4
67	0	0	0	0	0	0	0
67,5	80,0	0,7	0	0	80,0	0,7	0
72	80,0	6,7	68,0	5,1	12,0	1,6	76
77	80,0	13,3	75,6	11,4	4,4	1,9	86
82	80,0	20,0	78,0	17,9	2,0	2,1	90

Tableau 18

Parcelle : LM 5

Date : 02/04/87

Pluie n° 3

 $I_K = 135$

Heure début : 15h20

 $D_{R_1} = 0,4 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_1} : 2 mn $D_{R_2} = 0,4 \text{ mm}$ Durée de vidange de la D_{R_2} : 2 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	$K_R(t)$ %
0,75	86,0	1,1	0,0	0,0	86,0	1,8	0,0
5	86,0	7,2	60,7	4,3	25,3	2,9	59,7
10	86,0	14,3	76,0	10,4	10,0	3,9	72,7
15	86,0	21,5	76,0	16,7	10,0	4,8	77,7
20	86,0	28,7	77,0	23,0	9,0	5,7	80,1
25	86,0	35,8	77,0	29,5	9,0	6,3	82,4
30	86,0	43,0	81,0	36,6	5,0	6,4	85,1
35	120,0	53,0	(117,5)	46,1	(2,5)	6,9	87,0
40	120,0	63,0	117,0	56,5	1,0	6,5	89,7
45	120,0	73,0	119,0	65,9	1,0	7,1	90,3
50	51,0	77,2	(45,0)	69,8	(6,0)	7,4	90,4
55	51,0	81,3	45,0	73,6	6,0	7,7	90,5
60	51,0	85,5	45,0	77,4	6,0	8,1	90,5
65	86,0	92,7	(82,0)	84,1	(4,0)	8,6	90,7
70	86,0	99,8	82,0	91,0	4,0	8,8	91,2
75	86,0	107,0	82,0	96,6	4,0	10,4	90,3
81	0	0	0	0	0	0	0
81,5	86,0	0,7	0	0	86,0	0,7	0
86	86,0	7,2	82,7	6,2	3,3	1,0	86
91	86,0	14,3	76,8	12,6	9,2	1,7	88
96	86,0	21,5	81,6	19,4	4,4	1,9	90

Tableau 19

Parcelle : LM 6

Date : 06/04/87

Pluie n° 1

$I_K = 0$

Heure début : 15h13

$D_{R_1} = -$

Durée de vidange de la $D_{R_1} : -$

$D_{R_2} = -$

Durée de vidange de la $D_{R_2} : -$

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	$K_R(t)$ %
60	80,0	80,0	0	0	80,0	80,0	0
90	118,0	139,0	0	0	118,0	139,0	0

Tableau 20

Parcelle : LM 6

Date : 07/04/87

Pluie n° 2

$I_k = 99,6$

Heure début : 9h11

$D_{R_1} = -$

Durée de vidange de la $D_{R_1} : -$

$D_{R_2} = -$

Durée de vidange de la $D_{R_2} : -$

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	$K_R(t)$ %
55	79,2	72,6	0	0	79,2	72,6	0
90	121,2	143,3	0	0	121,2	143,3	0

Tableau 21

Parcelle : LM 6

Date : 07/04/87

Pluie n° 3

$I_K = 221,2$

Heure début : 14h27

$D_{R_1} = -$

Durée de vidange de la $D_{R_1} : -$

$D_{R_2} = -$

Durée de vidange de la $D_{R_2} : -$

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	$K_R(t)$ %
65	140,0	151,7	0	0	140,0	151,7	0

Tableau 22: Description des parcelles - Recouvrement

Parcelle	LM1	LM2	LM3	LM4	LM5	LM6
couvert végétal %	0	0	0	0	0	0
résidus %	0	0	0	0	2	0
Granulométrie réalisée par LOME (prélèvement épaisseur 5 cm)						
argiles %	6,31	5,23	4,85	3,04	4,20	1,43
limons fins %	1,21	2,32	2,52	2,42	2,93	0,10
limons grossiers %	3,47	2,48	2,54	3,44	1,92	0,52
sables fins %	27,62	38,99	35,87	38,87	12,72	18,22
sables grossiers %	60,89	50,27	53,75	51,47	76,20	79,49
gravillons et graviers libres %	Estimation de visu en surface					
	0	0	1	5	5	0
cailloux %	0	0	0	0	0	0

Tableau 23 : Description des parcelles - Organisation de surface

Parcelle	LM1	LM2	LM3	LM4	LM5	LM6
microrelief hauteur (cm) obstruction	2	<à 1	<à 1	<a 1	2	<à 1
algues et mousses	0	0	0	0	0	0
	activité mésofaunique					
couvert % porosité	0	0	1	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
gravillons enchassés	0	0	0	1	3	0
fentes	0	0	0	0	0	0
hydromorphie de surface	0	0	0	0	0	0
prise en masse des sables	0	0	0	0	0	0
porosité vésiculaire	1	2	1	1	1	0
	Pellicule plasmique					
continuité	3	2	3	3	3	0
épaisseur	3	3	2	1	3	0
Type de micro 1 horizon 2 autre 3	SG SF PP --	SG SF PP --	SG SF PP --	SG SF -- --	SG SF PP --	SABLES -- -- --
type de croute	ST3	ST3	ST3	ST2	ST3	DES var SSA
érosion	0	0	0	0	1	0

TABLEAU 24 : Description des parcelles - Sol

Parcelle	LM1	LM2	LM3	LM4	LM5	LM6
Profondeur d'apparition d'un horizon à drainage limité.	0	1	1	2	0	1
texture (0-20 cm)	0	1	1	2	0	0
porosité (0-20 cm)	2	2	2	3	2	0
hydromorphie (0-20 cm)	0	0	1	3	3	1
classe de drainage	2	0	2	5	1	0

Tableau 25 : Mesures d'humidité pondérale effectuées sur les parcelles 1 et 2

Parcelle	Pluie	Profondeur (cm)	Hp (%)	lk	
1	1	0 - 5	0,63	0	
		10 - 15	1,61		
		80 - 85	2,35		
	2	2	0 - 5	11,65	89,5
			10 - 15	10,97	
			20 - 25	11,47	
25 - 30			10,05		
45 - 50			1,72		
3	3	0 - 5	8,77	138,4	
		10 - 15	13,81		
		20 - 25	7,41		
5	5	0 - 5	2,14	5,2	
		10 - 15	3,17		
		20 - 25	5,51		
		30 - 35	6,96		
		45 - 50	4,85		
6	6	0 - 5	5,98	64,8	
		10 - 15	6,83		
		20 - 25	3,78		
		30 - 35	3,95		
		45 - 50	1,60		
2	1	0 - 5	0,29	0	
		10 - 15	10,80		
		20 - 25	19,75		
3	3	0 - 5	10,80	155,3	
		10 - 15	11,63		
		20 - 25	19,75		

Les mesures d'humidité pondérale du sol ont été effectuées avant chaque pluie. Les prélèvements ont été réalisés à la tarière à plusieurs niveaux de profondeur sur une même verticale pour chacune des pluies, située sur le bord extérieur de la parcelle.

Tableau 26 . Mesures d'humidité pondérale effectuées sur les parcelles
3, 4, 5 et 6

Parcelle	Pluie	Profondeur (cm)	Hp (%)	Ik
3	1	0 - 5 10 - 15 20 - 25	3,82 4,63 4,58	2
	2	0 - 5 10 - 15 20 - 25	7,48 4,63 4,58	53,8
	3	0 - 5 10 - 15 20 - 25 50 - 55 80 - 85	7,77 9,83 12,87 13,87 15,52	126,6
4	1	0 - 5 15 - 20 50 - 55	18,34 19,14 27,73	0
	2	0 - 5 10 - 15 20 - 25 50 - 55 75 - 80	24,24 30,16 28,32 27,73 23,75	48,3
	3	0 - 5 10 - 15 20 - 25 50 - 55 75 - 80	13,69 24,79 26,75 26,69 27,07	125,4
5	1	0 - 5 10 - 15 15 - 20 30 - 35	4,34 18,75 12,52 23,46	0
	2	0 - 5 10 - 15 20 - 25 50 - 55 75 - 80	9,78 8,12 9,77 13,39 25,85	60,8
	3	0 - 5 10 - 15 20 - 25 50 - 55 75 - 80	8,61 9,96 12,08 13,85 26,39	135
6	1	0 - 5 15 - 20 25 - 30 45 - 50 65 - 70	2,35 2,78 4,43 6,43 22,74	0
	2	5 - 10 15 - 20 35 - 40 70 - 75	9,23 9,81 10,10 19,82	99,6
	3	5 - 10 10 - 15 20 - 25 50 - 55 75 - 80	5,83 5,98 5,78 10,48 22,86	221,2

Les mesures d'humidité pondérale du sol ont été effectuées avant chaque pluie. Les prélèvements ont été réalisés à la tarière à plusieurs niveaux de profondeur sur une même verticale pour chacune des pluies, situé sur le bord extérieur de la parcelle.

Tableau 27 : Intensités de pluies obtenues en pré-étalonnage et en post-étalonnage

Parcelle Pluie	Pré-étalonnage (mm/h)	Post-étalonnage (mm/h)	Ecart Relatif (%)
LM1-1	80	81	1
LM1-2	80	80	0
LM1-3	80 120 46	80 120 44	0 0 4
LM1-4	84	84	0
LM1-5	80 120	83 116	4 3
LM1-6	80 120 48	80 116 48	0 3 0
LM2-1	80	80	0
LM2-2	82 118	80 115	3 3
LM2-3	112 78 44	120 80 43	7 3 2
LM3-1	82	81	1
LM3-2	81 120	82 118	1 2
LM3-3	82 120 42	86 120 44	5 0 5
LM4-1	78	74	5
LM4-2	80 118	80 114	0 3
LM4-3	78 111 42	79 117 44	1 5 5
LM5-1	85	84	1
LM5-2	80 120	82 114	3 5
LM5-3	86 118 50	86 120 52	0 2 4
LM6-1	80 -	80 118	0 -
LM6-2	79 121 48	- 132 -	- 9 -
LM6-3	140	-	-

Tableau 28 : Pluie imbibition

Parcelle	Pluie	I_K	I_p mm/h	t_i mm	P_i mm
LM1	1	0	80	6	8
	2	89,5	80	1,5	2
	3	138,4	80	1,5	2
	4	0	84	3,5	4,9
	5	5,2	81,5	3	4,1
	6	64,8	48,0	3	2,4
LM2	1	0	80	3,5	4,7
	2	65,8	80	1	1,3
	3	155,6	80	0,5	0,6
LM3	1	2	82	2,5	3,4
	2	53,8	81	1	1,3
	3	126,6	82	0,5	0,7
LM4	1	0	78	3,5	4,6
	2	48,3	80	2	2,7
	3	125,4	78	2	2,6
LM5	1	0	85	7	9,9
	2	60,8	80	1	1,3
	3	135	86	1,25	1,8

Tableau 29 : Intensité d'infiltration à saturation F_N

Parcelle	Pluie	I_K	I_p mm/h	F_N mm/h	t_s mn	
1	1	0	80	31	40	
	2	89,5	80	25	20	
	3	138,4	80	4	25	
	4	0	84	13	35	
	5	5,2	82	18	25	*
	6	64,8	48	13	10	*
2	1	0	80	31	25	**
	2	65,8	80	9	15	
	3	155,6	80	12	1	
3	1	2	82	31	35	
	2	53,8	81	14	15	
	3	126,6	82	14	20	
4	1	0	78	45	15	
	2	48,3	80	47	5	
	3	125,4	78	50	5	**
5	1	0	85	23	40	**
	2	60,8	80	7	20	
	3	135	86	9	15	

* : Régime permanent non atteint avant changement d'intensité de pluie.

** : intensité du palier d'infiltration mesuré avant chute brutale.

Tableau 30 : Calcul des valeurs médianes des intensités des pertes à l'écoulement obtenues sur sol sec non restructuré (pluie n°1).

Parcelles 1-2-3

Parcelle	LM1	LM2	LM3	Médiane
P _i	8,0	4,7	3,4	4,7
I _{7,5}	38,5	40,4	41,0	40,4
I _{12,5}	35,2	37,4	37,0	37,0
I _{17,5}	33,0	35,9	34,5	34,5
I _{27,5}	32,0	31,4	32,5	32,0
I _{37,5}	32,0	31,4	32,0	32,0
I _{47,5}	30,8	24,4	31,0	30,8
I _{57,5}	29,6	20,9	31,0	29,6
D _R	0,7	0,3	0,2	0,3

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

P_i : pluie d'imbibition en mm

D_R : détention de surface récupérable en mm.

Tableau 31 : Calcul des valeurs médianes des intensités des pertes à l'écoulement obtenues sur sol humide (pluie n°3).

Parcelles 1-2-3

Parcelle	LM1	LM2	LM3	Médiane
P_i	2,0	0,7	0,7	0,7
$I_{7,5}$	18,2	12,0	18,0	18,0
$I_{12,5}$	8,0	12,0	16,0	12,0
$I_{17,5}$	8,0	12,0	16,0	12,0
$I_{27,5}$	4,0	12,0	14,0	12,0
$I_{37,5}$	4,0	16,0	13,0	13,0
$I_{47,5}$	7,0	10,0	15,0	10,0
$I_{57,5}$	7,0	10,0	15,0	10,0
D_R	0,7	0,4	0,3	0,4

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

P_i : pluie d'imbibition en mm

D_R : détention de surface récupérable en mm.

Tableau 32 : Cumul des pertes à l'écoulement.

	Parcelle 1-2-3			Parcelle 4		Parcelle 5		
	ES1	ES2	ES5	ES3	ES4	ES3	ES4	ES5
t en minutes	ES1	ES2	ES5	ES3	ES4	ES3	ES4	ES5
5	6,4	5,3	3,2	5,9	3,7	6,6	3,3	2,9
10	10,0	7,8	4,6	9,9	5,3	13,2	5,3	4,3
15	13,0	9,6	5,6	13,7	7,0	18,5	7,1	5,5
20	15,9	11,0	6,6	17,4	8,6	23,8	9,0	6,3
30	21,2	13,2	8,4	24,9	12,0	34,4	12,6	7,6
40	26,4	15,4	10,2	32,4	15,3	45,0	16,3	8,7
50	31,5	17,5	12,0	39,8	18,6	55,7	19,9	9,9
60	36,7	19,7	13,9	47,3	21,9	66,3	23,6	11,0
70	41,8	21,8	15,7	54,8	25,2	76,9	27,2	12,2
80	47,0	24,0	17,5	62,5	28,6	87,5	30,9	13,4
90	52,1	26,1	19,3	69,7	31,9	98,1	34,5	14,5

Tableau 33 : Détection récupérable D_R et détection mobilisable de surface D_m calculées à partir de pluies secondaires

Parcelle	Pluie	I_p mm/h	t_R mn	F_N mm/h	D_R mm	$D_R + t_R F_N$ mm	Ecart relatif %
1	1	80,0	3	28,4	0,7	2,1	100
	2	80,4	2,5	25,2	0,7	1,8	88
	3	80,0	3	12,8	0,8	1,4	55
	4	84,0	2,5	9,6	0,7	1,1	44
	5	81,5	2,5	9,5	0,6	1,0	50
	6	118,0	2	5,2	1,0	1,2	18
2	1	80,4	1,5	18,0	0,3	0,8	91
	2	80,0	2	32,0	0,3	1,4	130
	3	80,0	1,5	4,4	0,4	0,5	22
3	1	82,0	1	23,2	0,2	0,6	100
	2	81,0	1	15,0	0,2	0,5	86
	3	82,0	1,5	5,2	0,3	0,4	29
4	1	78,0	12,5	42	1,0	9,8	163
	2	80,0	12	47,6	0,8	10,3	171
	3	78,0	5,5	13,2	0,9	2,1	80
5	1	85,0	1,5	19,0	0,4	0,9	77
	2	80,0	3	2,0	0,6	0,7	15
	3	86,0	2,5	4,4	0,4	0,6	40

Tableau 34 : volumes stockés S_i

Parcelle	Pluie	S_i avec $D_m = D_R$ mm
1	1	0,7
	2	0,7
	3	0,6
	4	1,3
	5	0,8
	6	0,6
2	1	0,7
	2	0,2
	3	0,7
3	1	1,3
	2	0,5
	3	0,7
4	1	0,4
	2	0,7
	3	1,3
5	1	1,0
	2	1,0
	3	0,4

Liste des figures

- Figure 1 : Le simulateur de pluie
- Figure 2 : Hydrogramme de ruissellement sous pluie simulée
- Figure 3 : Coupe schématique de la ville de LOME
- Figure 4 : Emplacements des parcelles
- Figure 5 : Analyse granulométrique des parcelles
- Figure 6 : Humidités pondérales du sol
- Figure 7 : Surface de type structural 3
- Figure 8 : Surface de type érosion
- Figure 9 : Surface de type structural 2
- Figure 10 : Surface de type dessication
- Figure 11 : Dépouillement du diagramme dans le cas d'un changement d'intensité de pluie
- Figure 12 : Parcelle LM1 - Pluies 1,2,3,4,5,6
- Figure 13 : Parcelle LM2 - Pluies 1,2,3
- Figure 14 : Parcelle LM3 - "
- Figure 15 : Parcelle LM4 - "
- Figure 16 : Parcelle LM5 - "
- Figure 17 : Résultats expérimentaux obtenus avec des intensités de pluies différentes
- Figure 18 : Comparaison des pertes à l'écoulement sur sol initialement sec - Parcelles 1-2-3-4-5-6
- Figure 19 : Comparaison des pertes à l'écoulement sur sol initialement humide - Parcelles 1-2-3-4-5-6
- Figure 20 : Courbe représentative des pertes à l'écoulement - Parcelles 1-2-3
- Figure 21 : Courbe représentative des pertes à l'écoulement - Parcelle 4
- Figure 22 : Courbe représentative des pertes à l'écoulement - Parcelle 5

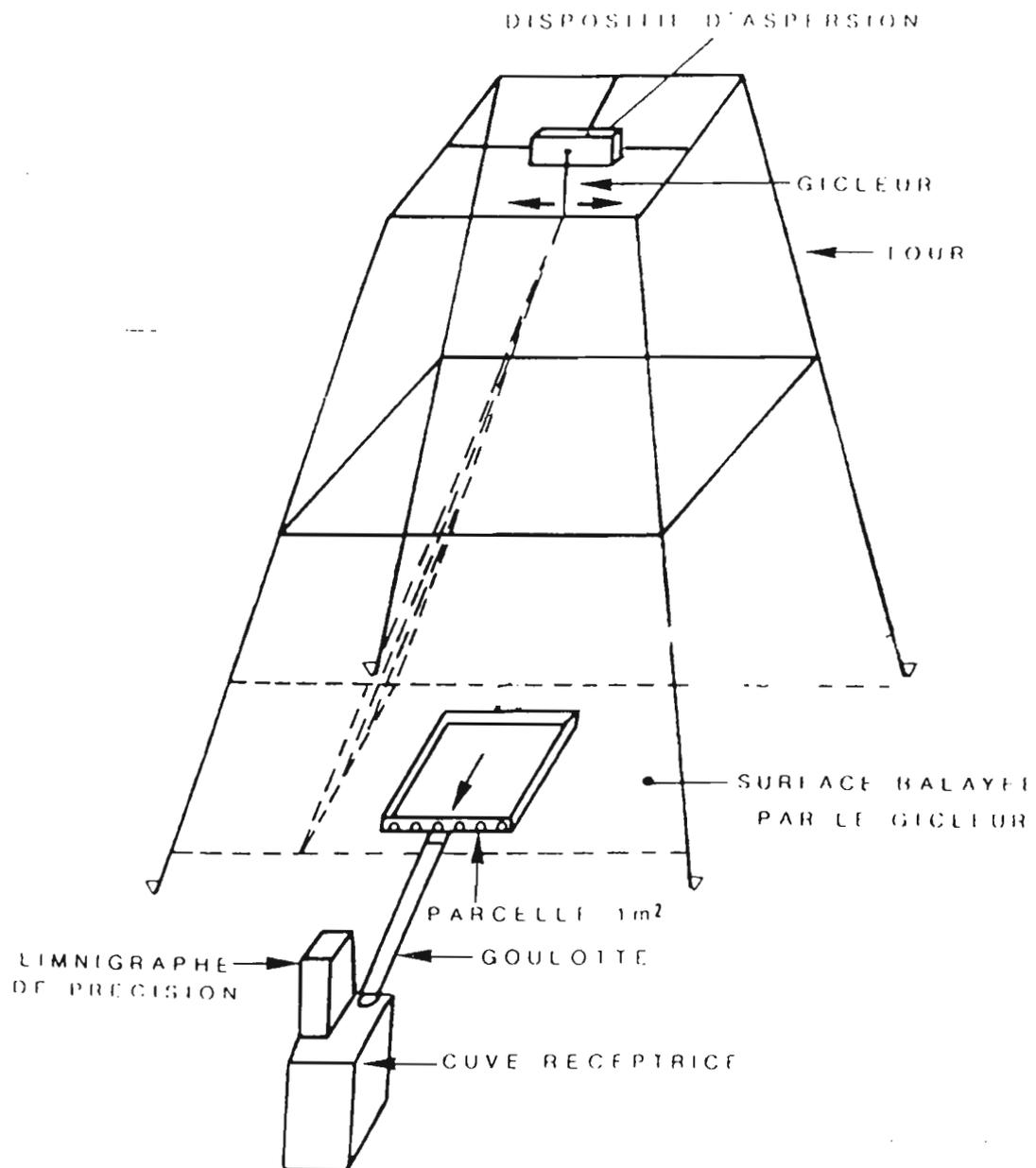


Fig- 1 SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DU SIMULATEUR DE PLUIE
 (d'après B. THEBE)

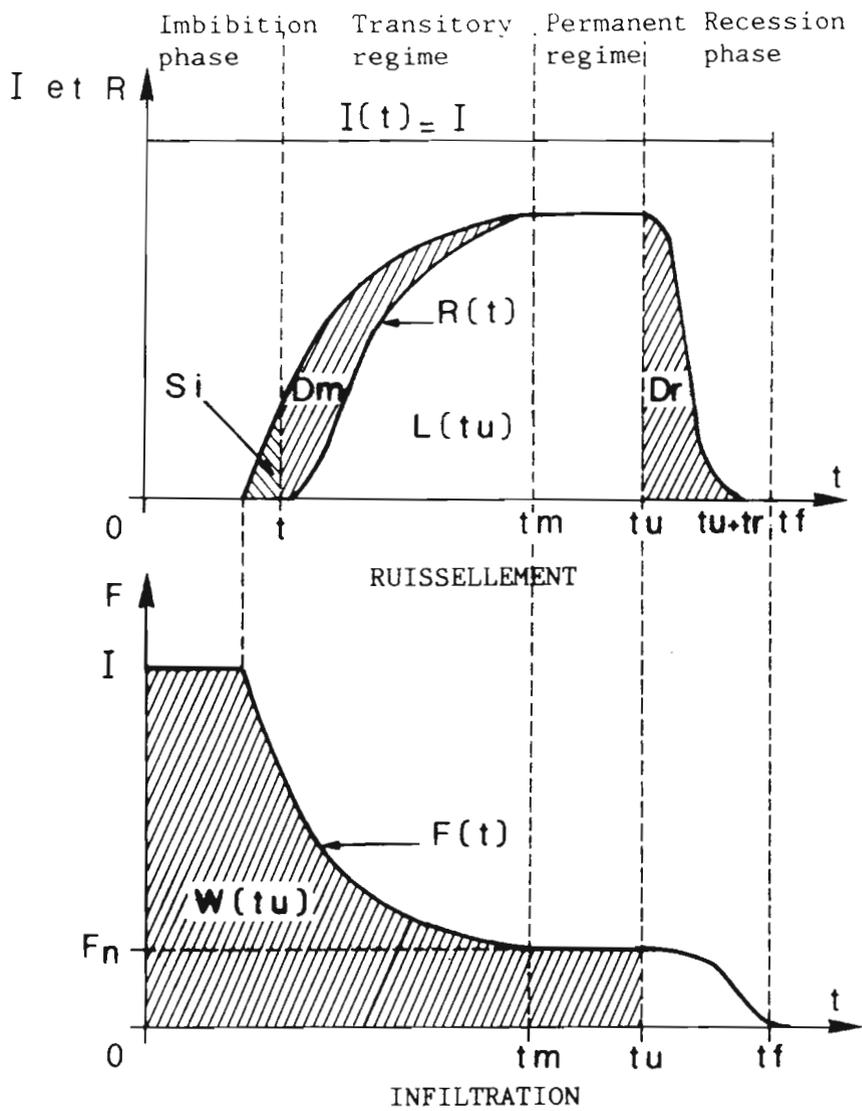
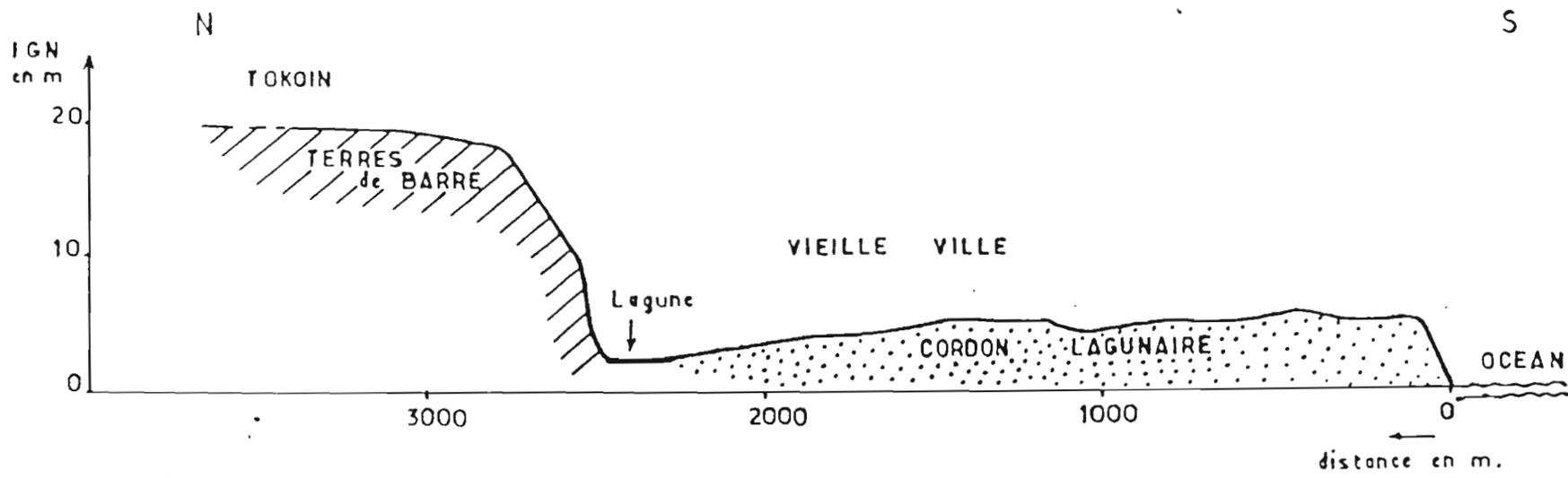


figure 2 : hydrogramme de ruissellement sous pluie simulée d'intensité constante (d'après Lafforgue)

ETUDE de RUISSELLEMENT URBAIN à LOME

COUPE SCHEMATIQUE de la VILLE

FIG. 3



(d'après L. LE BARBE)

FIGURE 4

BASSINS VERSANTS LOME

EMPLACEMENTS PARCELLES

Ech. : 1/13 700 environ.



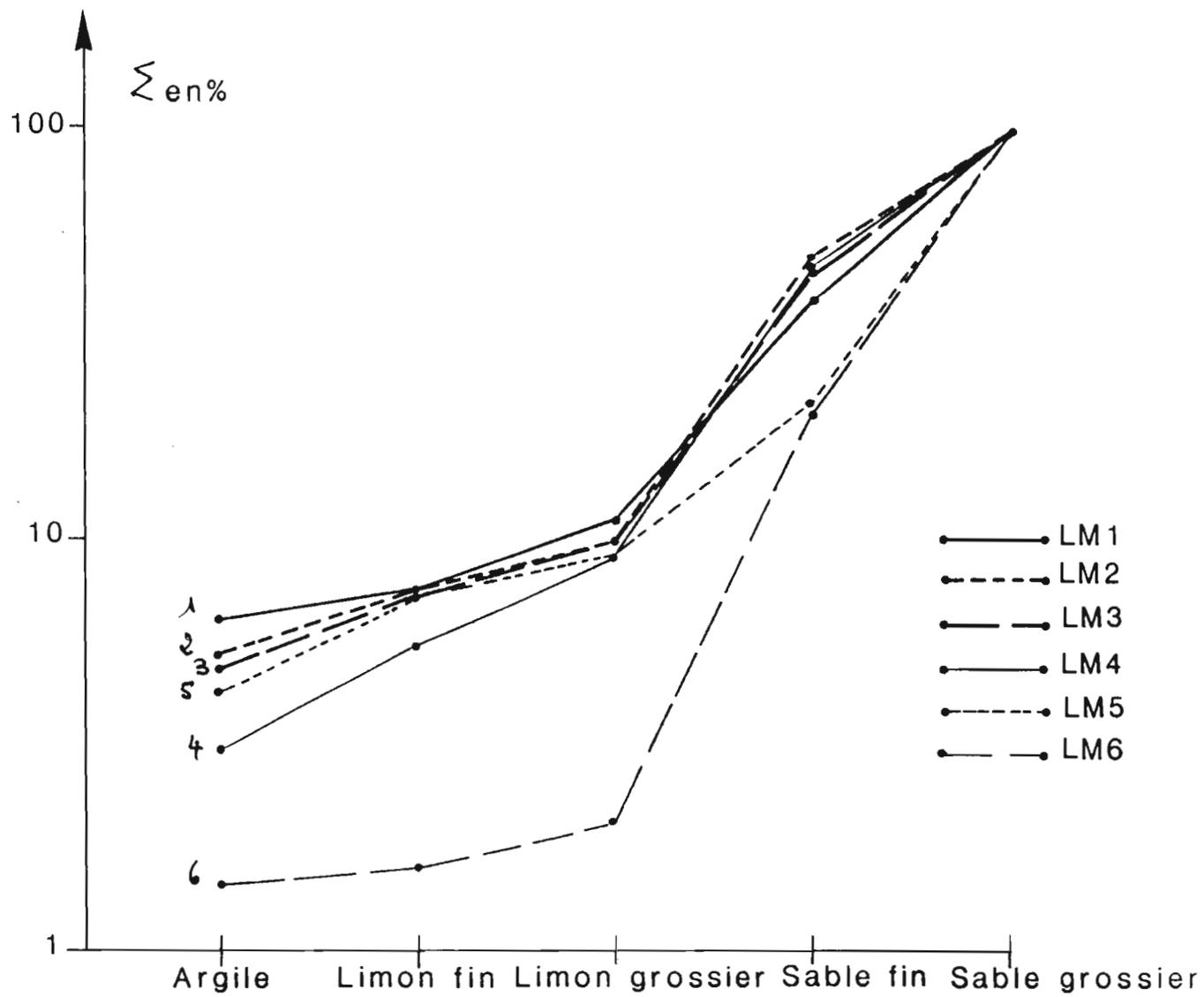


Fig-5- PARCELLES LOME-ANALYSE GRANULOMETRIQUE

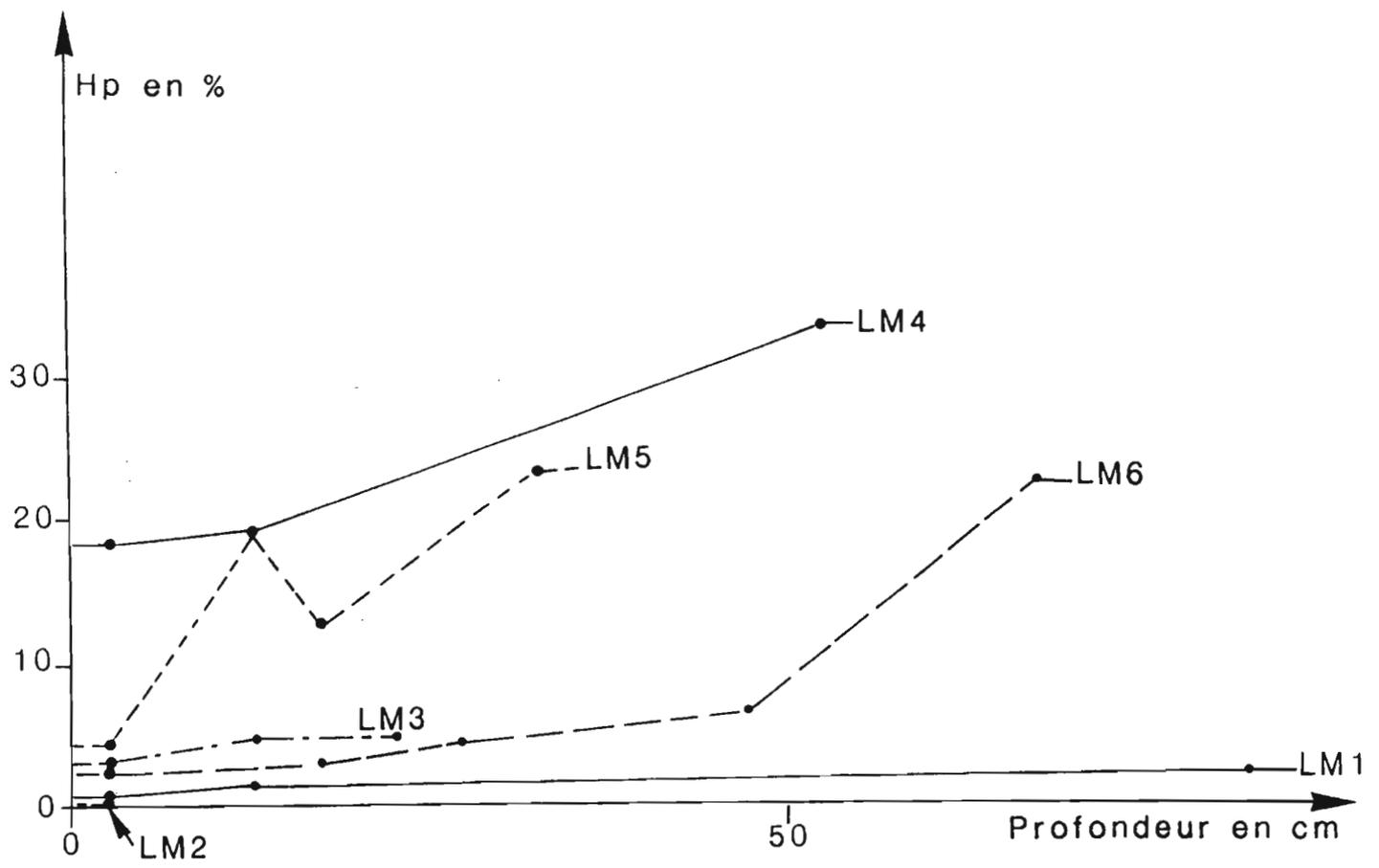


Fig-6- PARCELLE LOME-HUMIDITE PONDERALE DU SOL

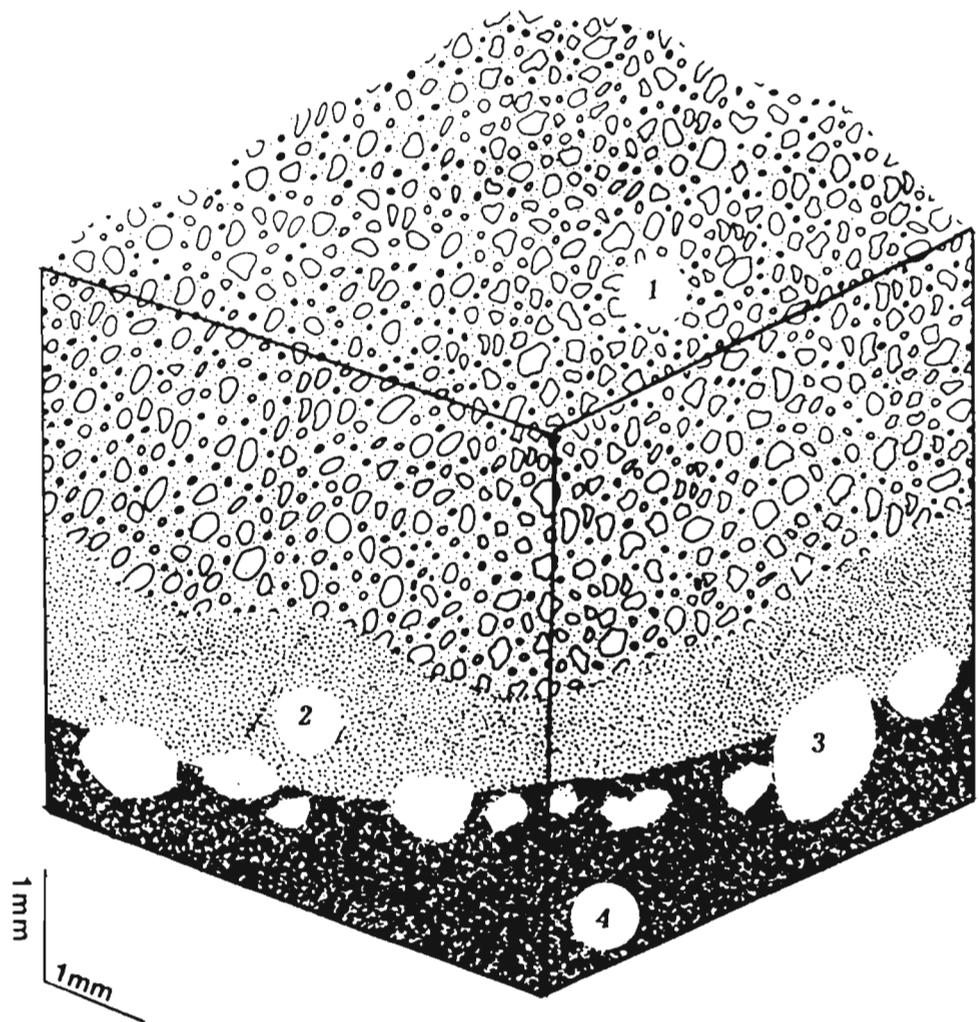


FIG. 7: SURFACE DE TYPE STRUCTURAL 3

Lome n° 1, 3 et 5

1 : SABLES GROSSIERS

2 : SABLES FINS

3 : POROSITE VESICULAIRE FINE

4 : PLASMA

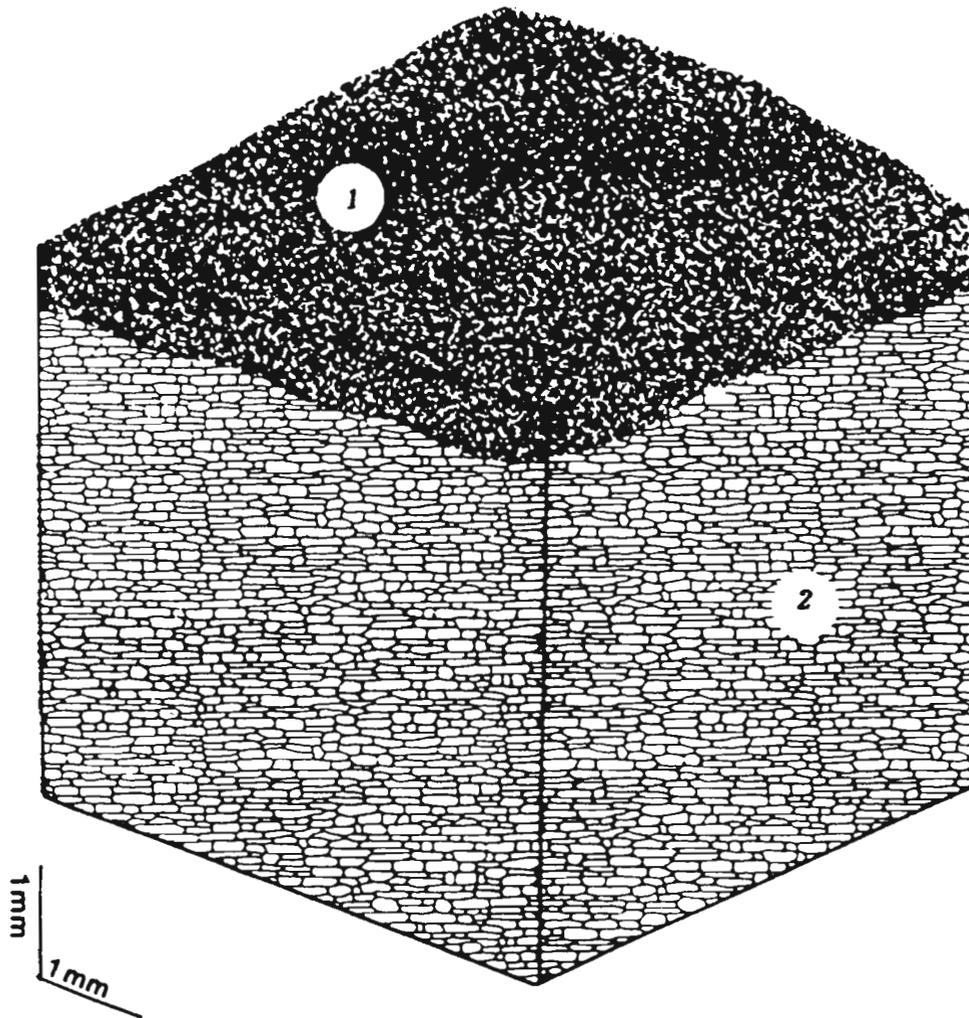


FIG. 8 : SURFACE DE TYPE EROSION

Lome n° 2

1 : PELLICULE PLASMIQUE FINE ET INDUREE

2 : MATRICE DE L'HORIZON SOUS JACENT COMPACTEE

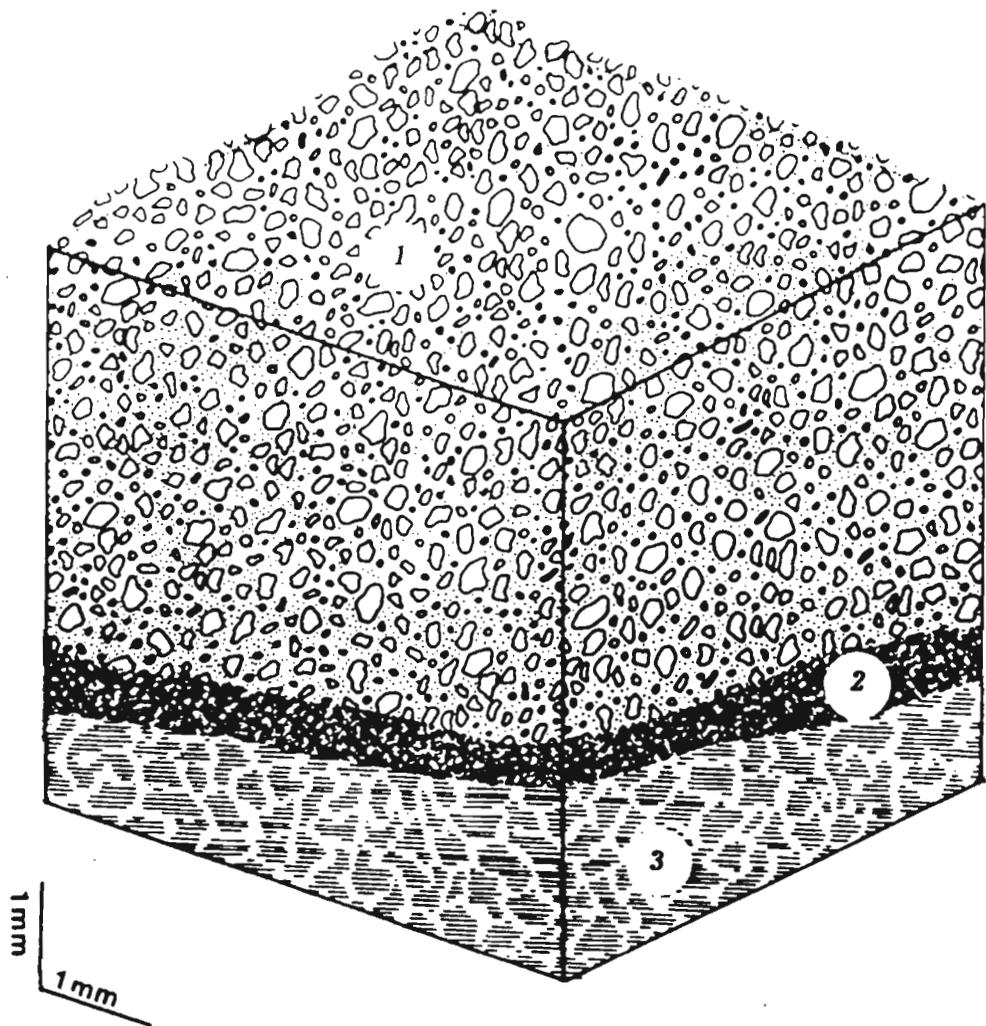


FIG. 9 : SURFACE DE TYPE STRUCTURAL . 2
(deux microhorizons)

Lomé n° 4

- 1 : SABLES GROSSIERS DELIES**
- 2 : PELLICULE PLASMIQUE FINE**
- 3 : MATRICE DU 1° HORIZON**

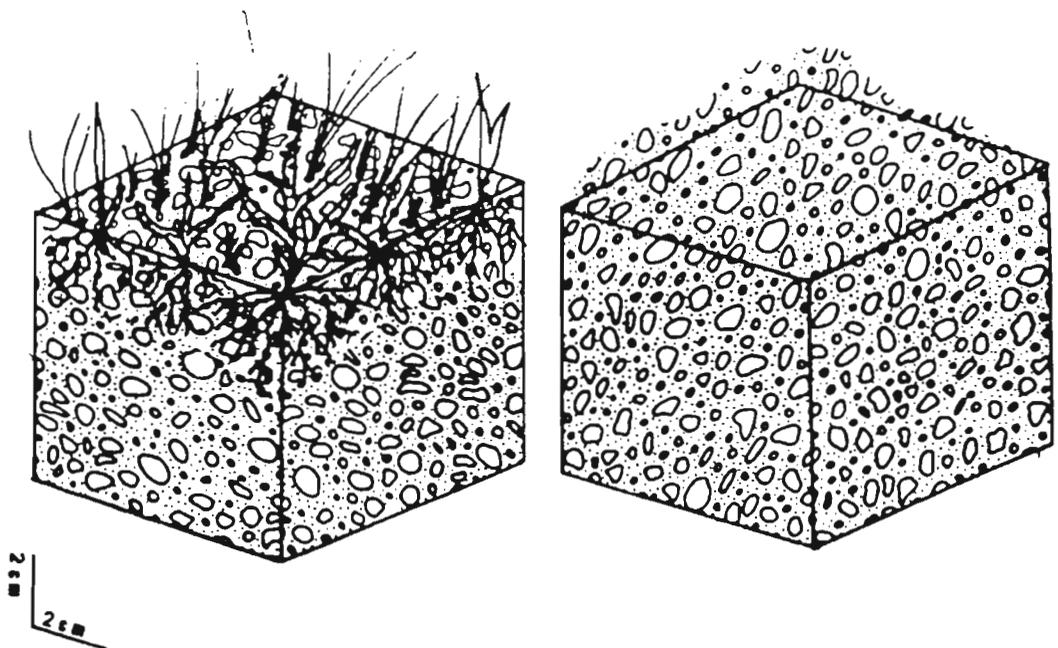


FIG.10: SURFACES DE TYPE DESSICATION

A -

Surface très enherbée, sableuse sur sol sableux.

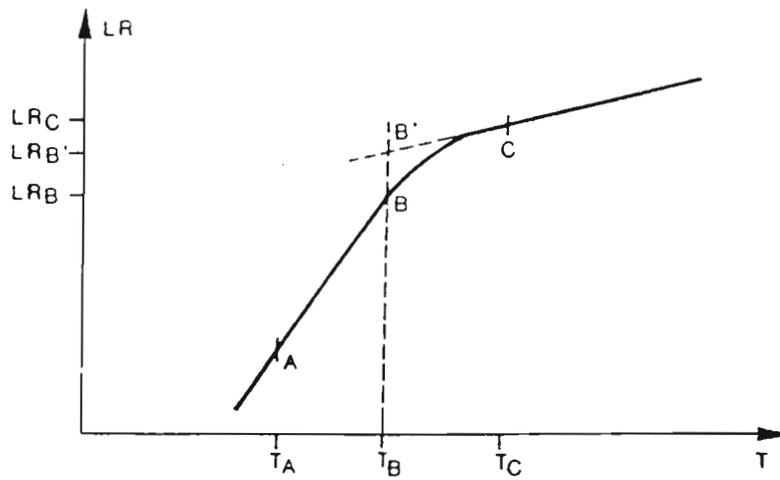
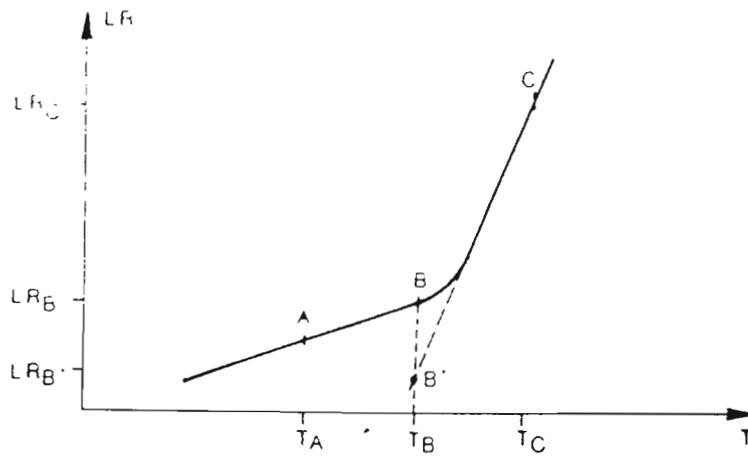
Le couvert herbacé, son chevelu racinaire dense et l'activité biologique de ce micro milieu inhibent les effets de réorganisations de surface dus à la pluie.

B - Lomé n° 6

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



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

Figure 11: dépouillement du diagramme en cas de changement d'intensité de pluie

PARCELLE LM 1 PLUIES 1-2-3-4-5-6

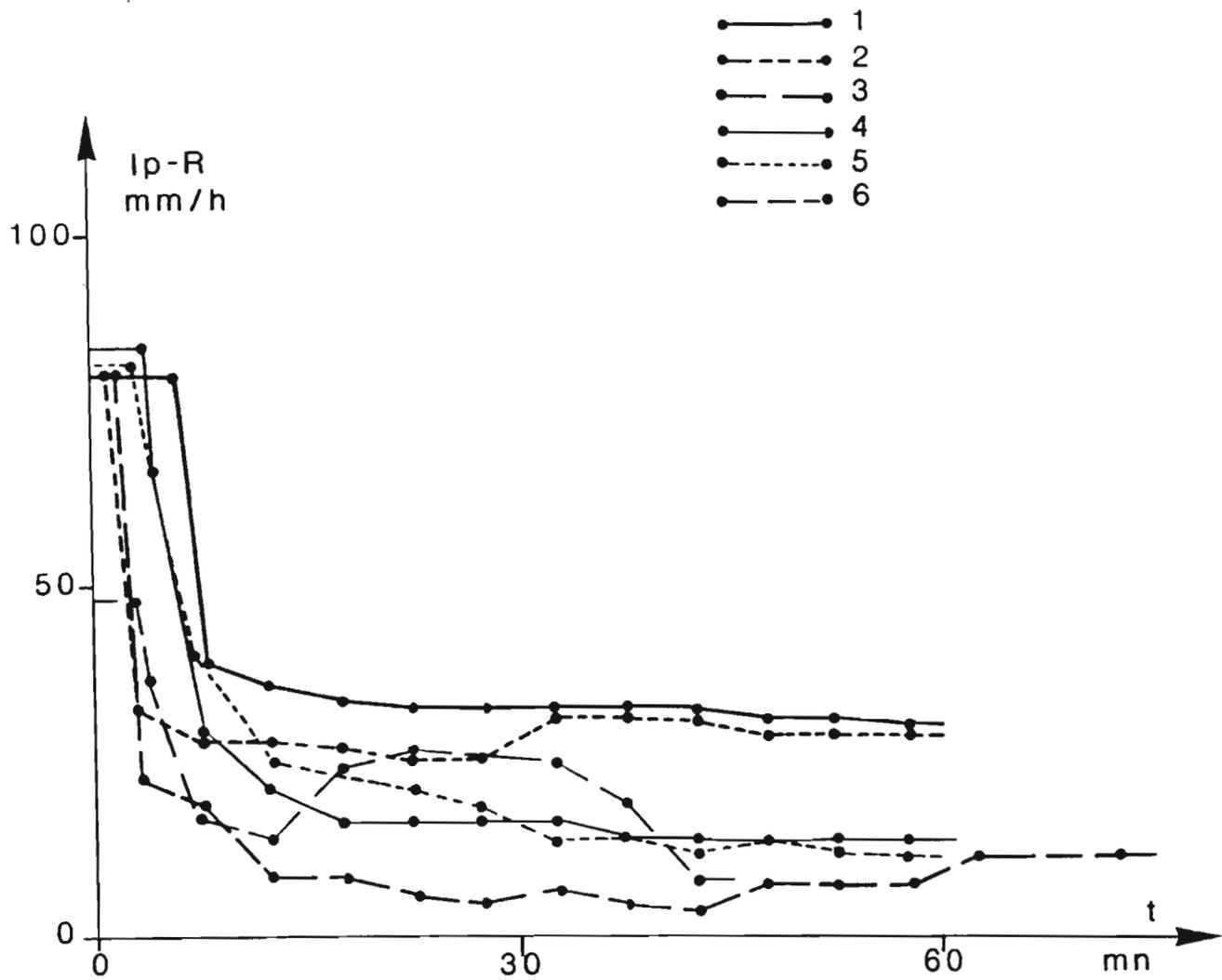


Fig- 12

PARCELLE LM 2

PLUIES 1-2-3

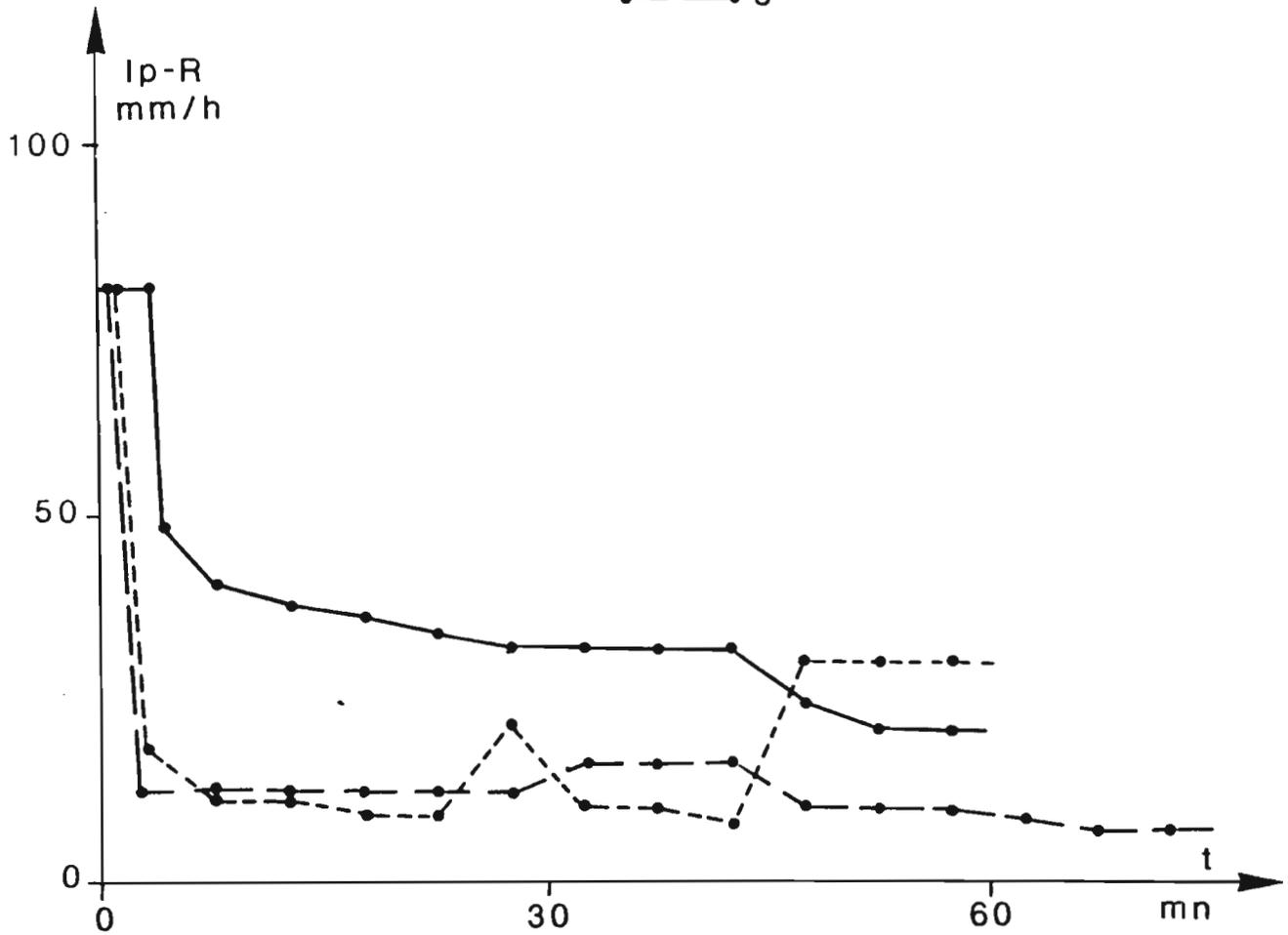
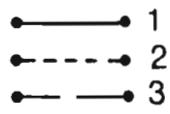


Fig- 13

PARCELLE LM 3 PLUIES 1-2-3

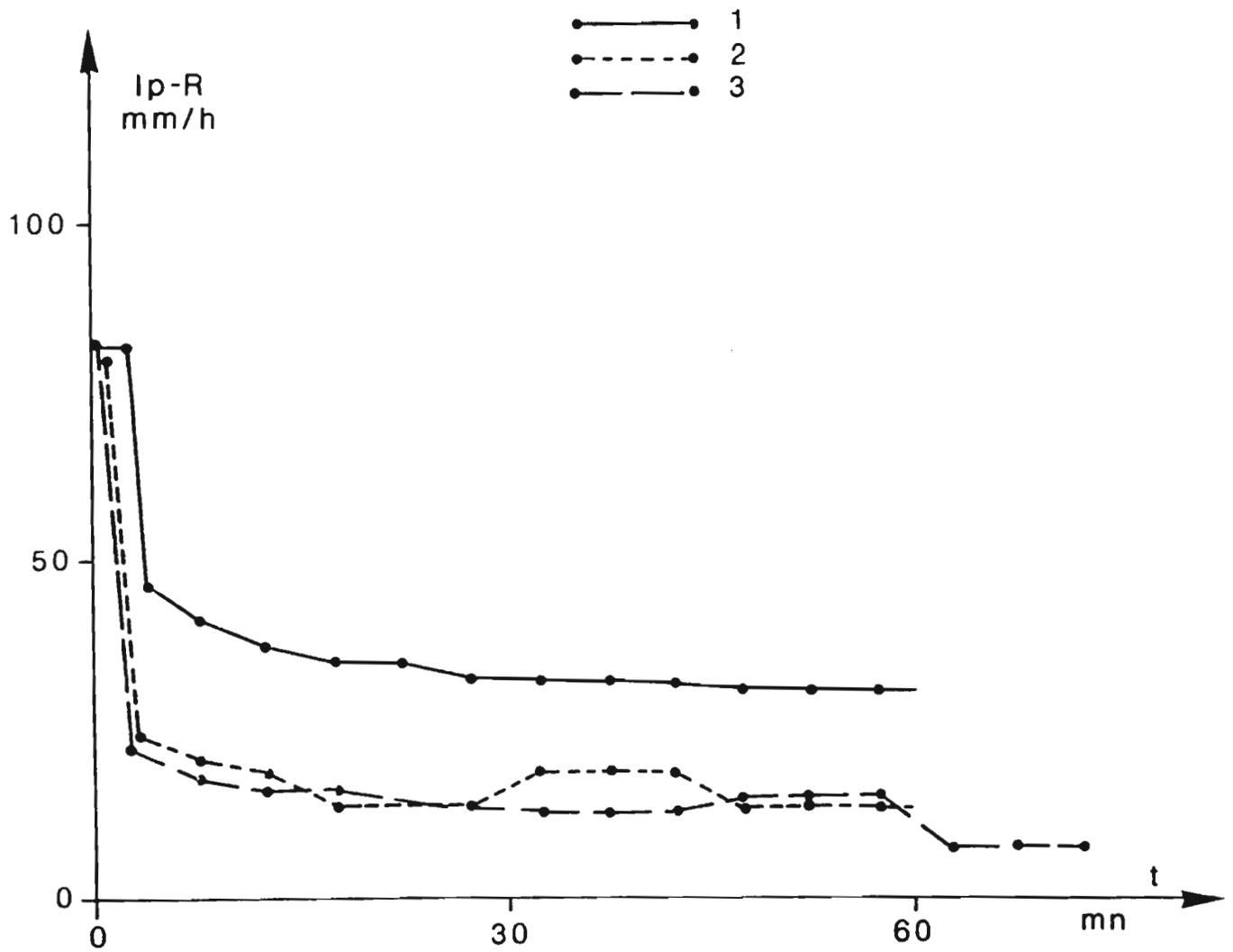


Fig- 14

PARCELLE LM 4 PLUIES 1-2-3

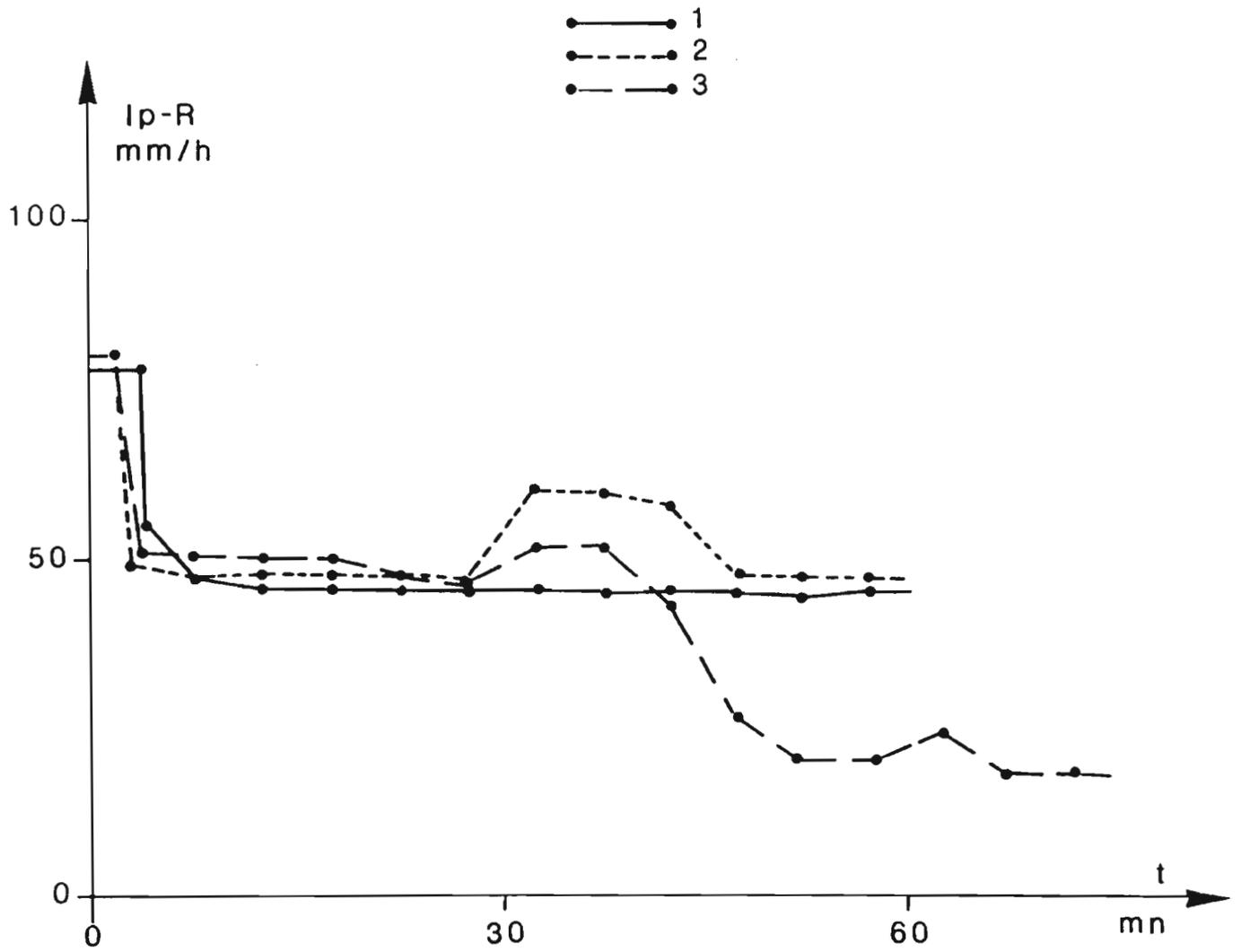


Fig- 15

PARCELLE LM5 PLUIES 1-2-3

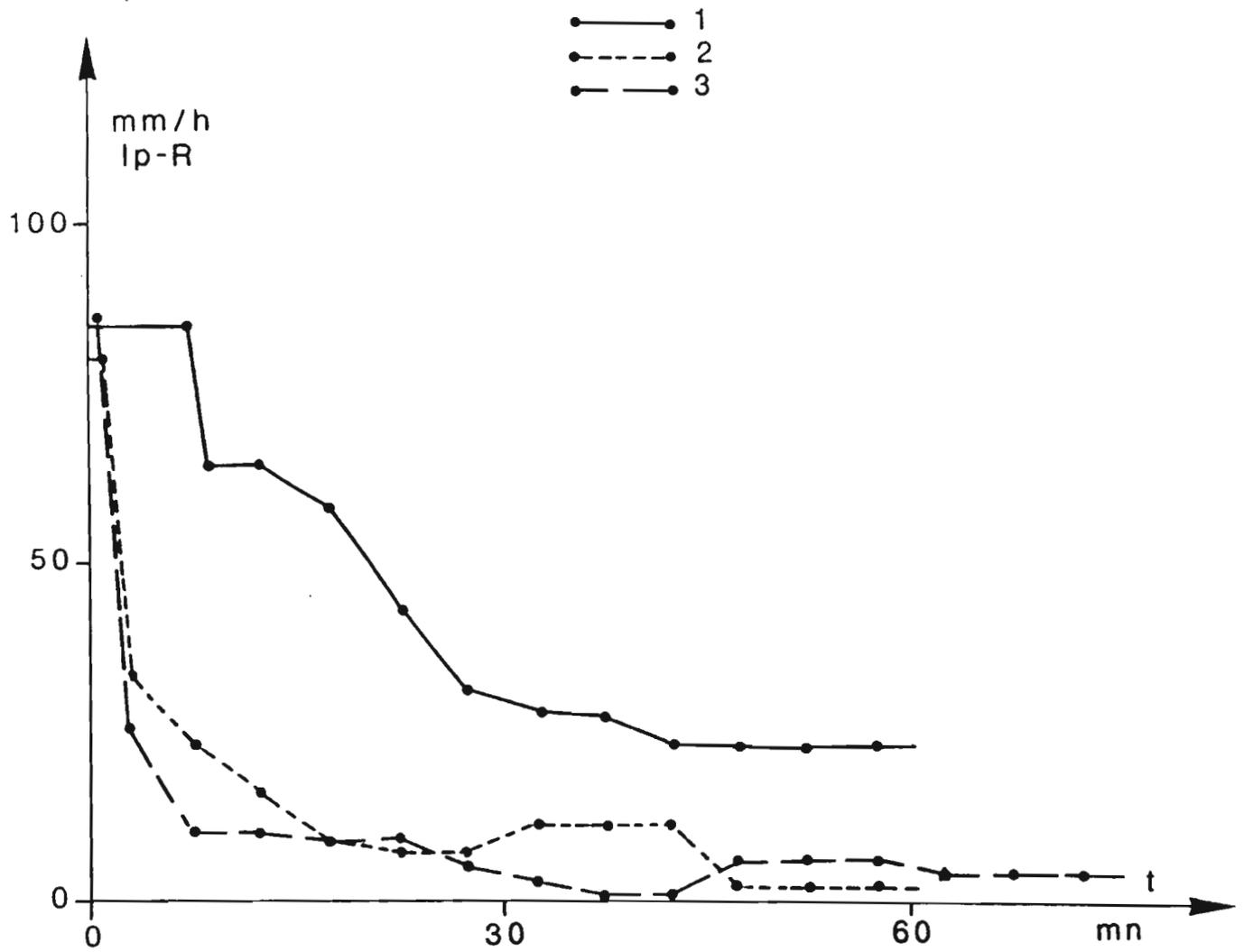
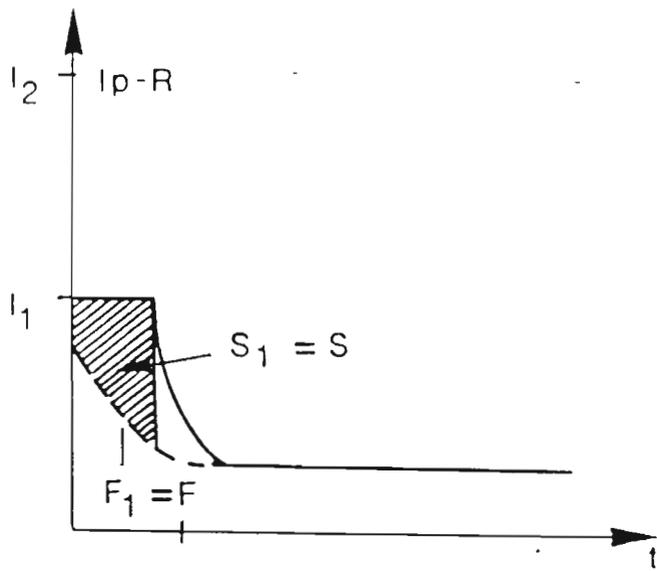


Fig- 16

Parcelle 1



Parcelle 2

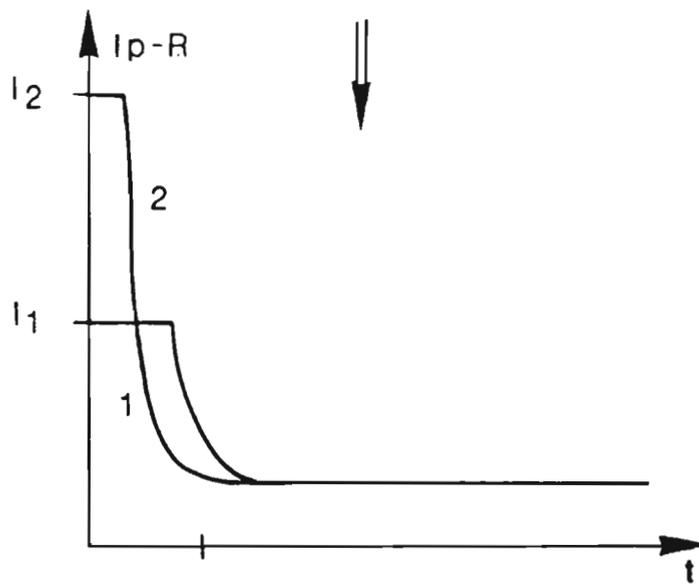
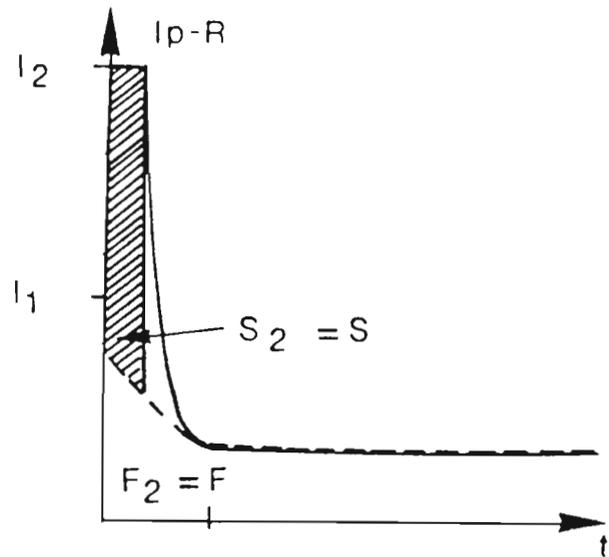


Figure 17: Résultats expérimentaux obtenus avec intensités de pluie différentes

COMPARAISON DES PERTES A L'ECOULEMENT SUR SOL SEC-LOME
PARCELLES 1-2-3-4-5

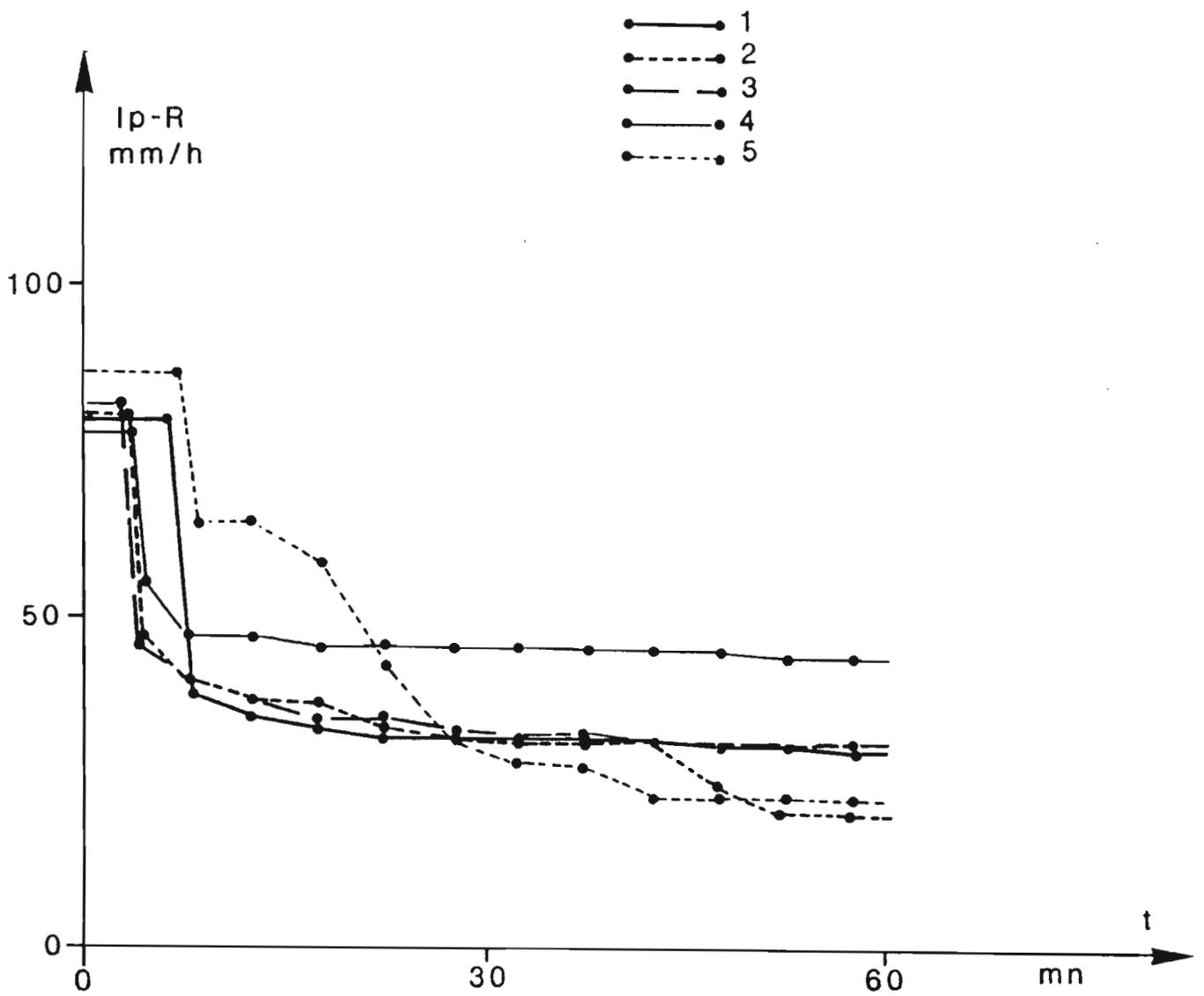


Fig-18

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

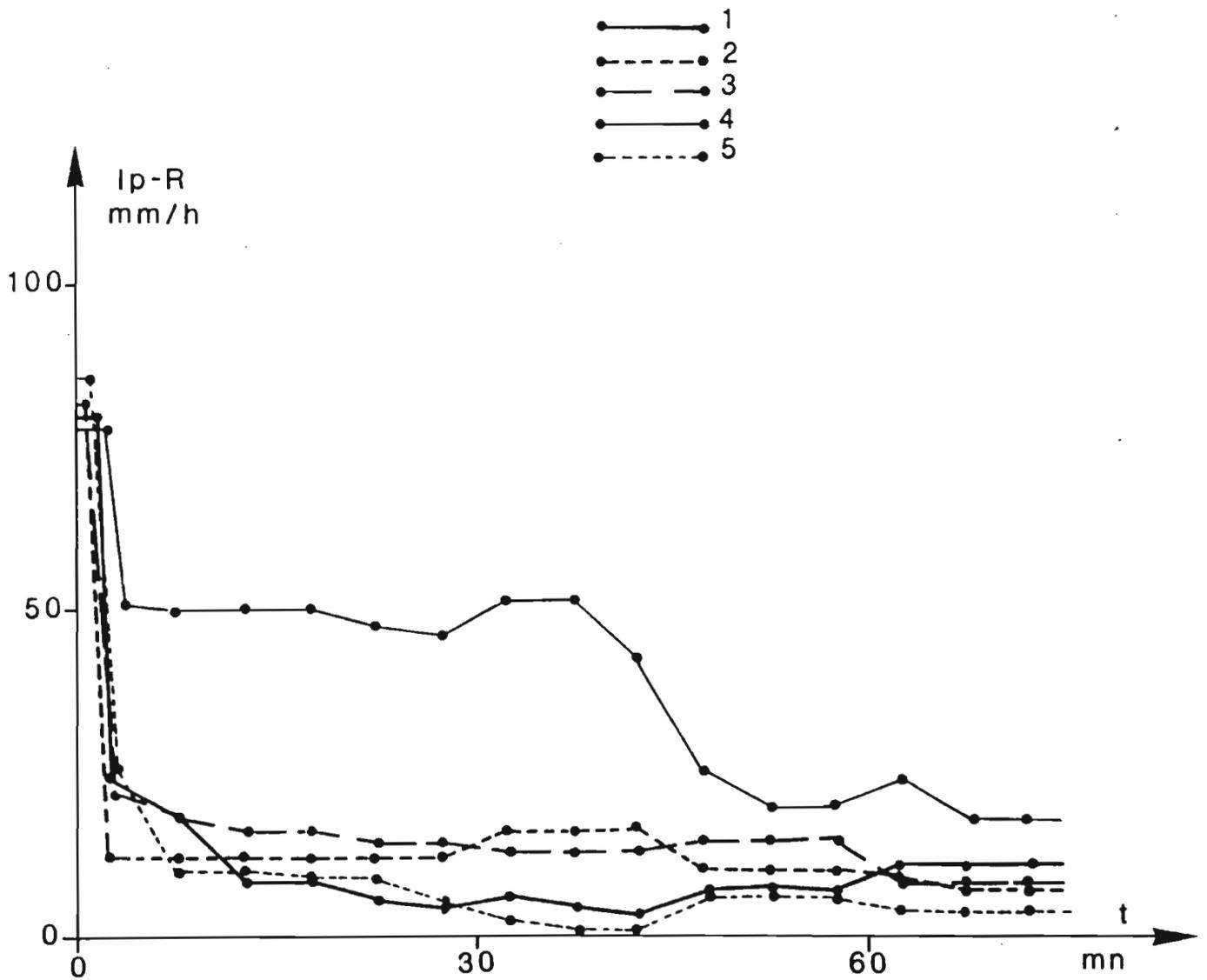


Fig- 19

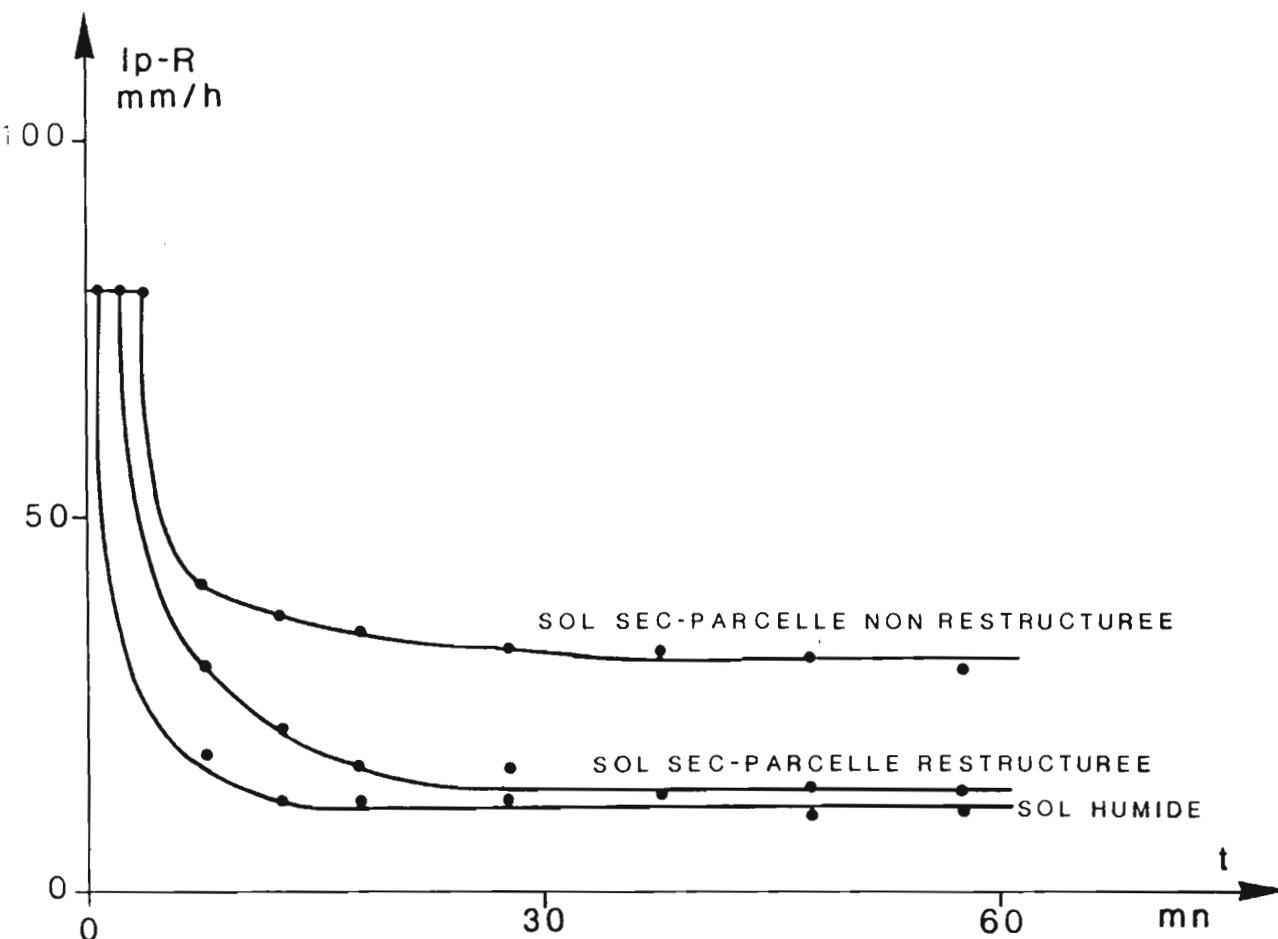


Fig-20- COURBES MEDIANES DES INTENSITES DES PERTES A L'ECOULEMENT SUR LES PARCELLES LM 1-2-3

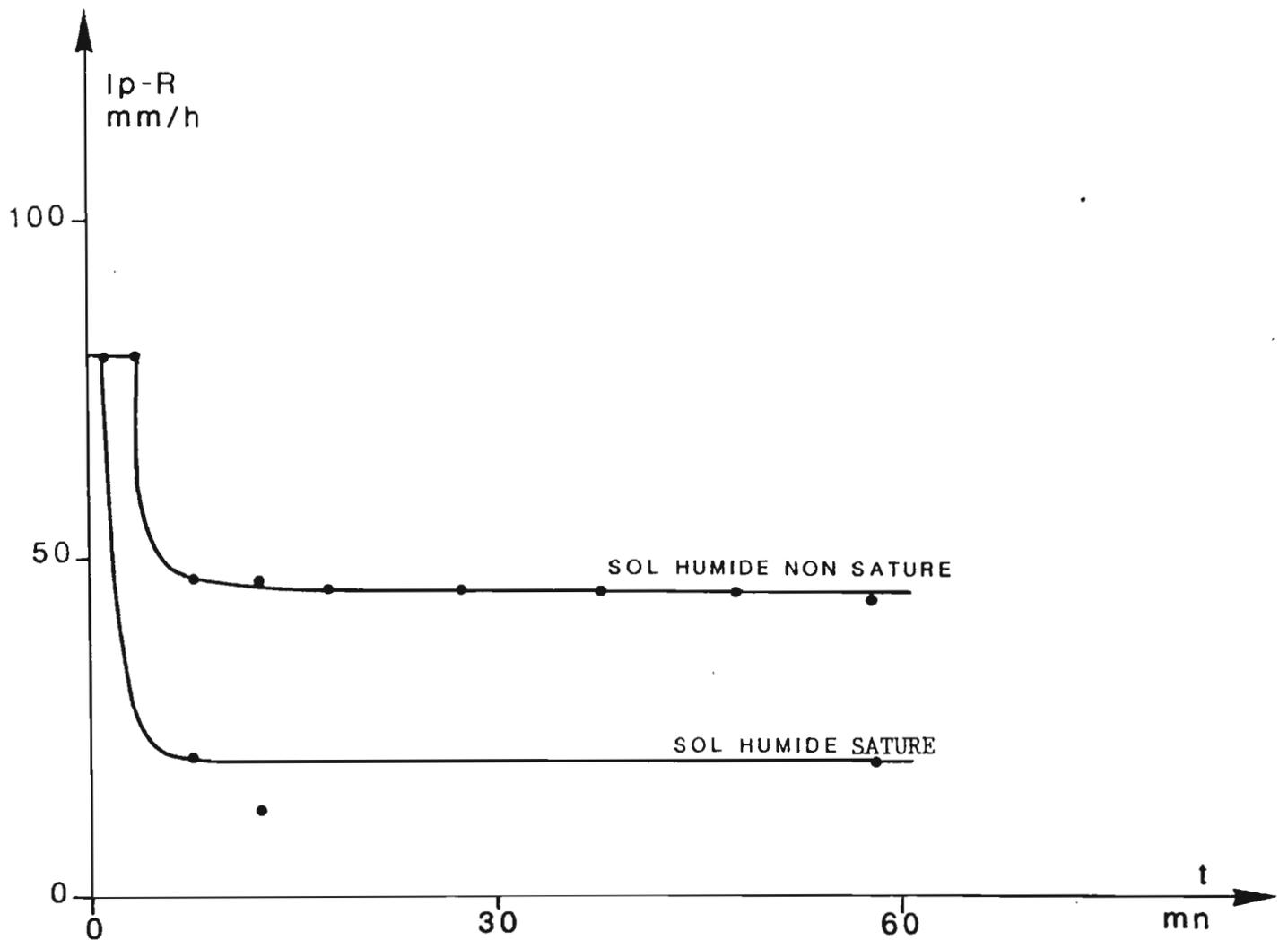


Fig-21- COURBES REPRESENTATIVES DES INTENSITES DES PERTES A L'ECOULEMENT SUR LA PARCELLE LM 4

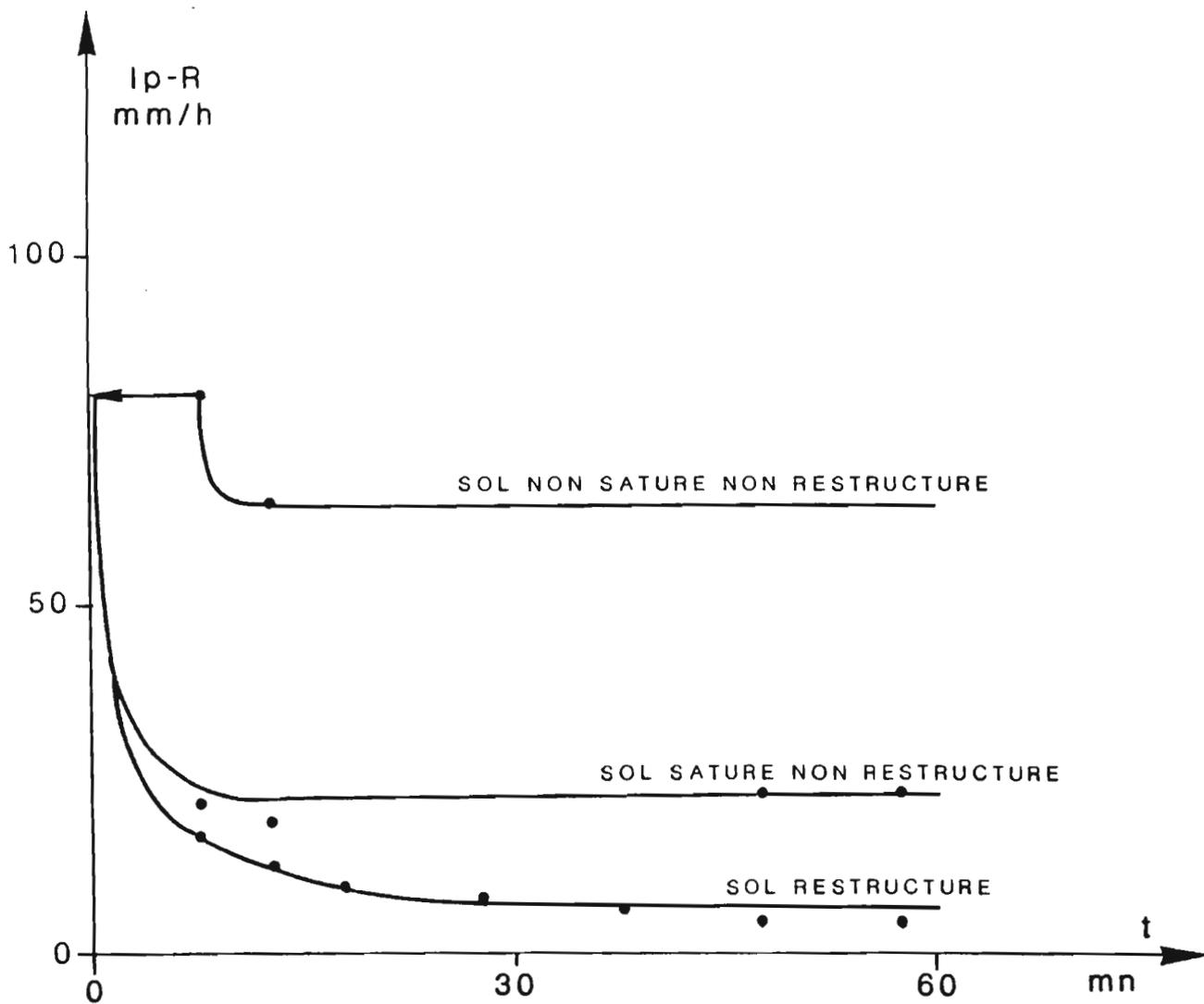


Fig-22- COURBES REPRESENTATIVES DES INTENSITES DES PERTES A L'ECOULEMENT SUR LA PARCELLE LM 5

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 mmet 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

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 : dessication, 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.

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 DESSICATION : DES. figure n°10 a 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%.

LOME parcelle n°6

SURFACE DE TYPE STRUCTURALE 2 : ST2. Figure n°9

Surface non cultivée présentant moins de 20% de turricules de vers et moins de 40% de charge grossière, couverte d'une pellicule structurale à deux micro-horizons (sable grossier continu, légèrement pris en masse recouvrant une pellicule plasmique).

LÔME : parcelle n°4

SURFACE DE TYPE STRUCTURALE 3 : ST3. Figure n°7

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).

LOME : N°1, 3, 5

Possibilité de variante en zone urbaine : variante sur sol à horizon à drainage limité.

SURFACE DE TYPE EROSION : ERO Figure n°8

Surface non cultivée présentant moins de 20% de turricules de vers et moins de 40% de charge grossière, couverte d'une pellicule d'érosion.

LOME : Parcelle n°2.