

**INFLUENCE DE LA POSITION TOPOGRAPHIQUE
ET DE LA DUREE DE LA JACHERE SUR
LA STABILITE STRUCTURALE ET
L'INFILTRABILITE**

(Booro-Borotou, Côte d'Ivoire)

Note interne
Equipe Hyperbav

Christian VALENTIN & Jean-Louis JANEAU
Pédologues à l'ORSTOM

septembre 1988

Centre d'Adiopodoumé

INTRODUCTION

L'un des objectifs du programme Hyperbav consiste à hiérarchiser les différents paramètres qui interviennent sur l'infiltration. Ceux-ci peuvent être très nombreux, depuis le couvert végétal jusqu'à la nature du sol, en passant par l'activité faunique, le micro-relief et le travail du sol.

A cette diversité des facteurs, s'ajoute une variabilité importante qui s'exprime à la fois dans l'espace et dans le temps.

Cette note présente les premiers résultats et commentaires relatifs à des essais qui visaient à isoler un des facteurs d'infiltrabilité: l'instabilité structurale, et à en étudier les variations le long d'une toposéquence et en fonction de la durée de jachère.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1 Des conditions expérimentales standardisées

1.1.1 Préparation des parcelles

Afin de s'affranchir des autres composantes d'état de surface, chaque parcelle d'un m^2 a été labourée à la main sur 10 cm, puis planée. Il s'agit d'une préparation de sol très largement utilisée pour étudier la détachabilité des sols, et sur des parcelles plus longues, l'érodibilité.

1.1.2 Protocole des pluies

C'est le même que celui adopté lors des essais sur la station IDESSA de Bouaké : une pluie d'imbibition de 45 minutes à 60 mm/h, suivie, une heure après, d'une pluie de 120 mm/h pendant 30 minutes. Pour les deux parcelles situées le plus en aval, la durée de cette deuxième pluie a été portée à 1 heure.

Les essais ont eu lieu en saison sèche (février). L'état hydrique des sols était sec pour l'ensemble des parcelles.

1.2 Recherche d'une variabilité dans l'espace et dans le temps

Les conditions précédentes amènent à ne prendre en compte parmi les facteurs de variation que la position topographique de la parcelle sur la toposéquence et la durée de jachère :

- 12 parcelles ont été implantées le long de deux demi-toposéquences : 5 le long du demi-transect amont correspondant à l'implantation des tubes d'accès neutronique, 7 le long du demi-transect aval dont 6 parcelles correspondent aux tubes, enfin une parcelle a été implantée plus à l'aval (entre les piézomètres 9 et 10). A ces douze parcelles, s'ajoutent les deux parcelles de suivi saisonnier.

En définitive, 14 parcelles permettent de suivre les variations le long du versant.

- 6 parcelles ont été installées sur les sols rouges de haut de versant. Elles correspondent à des durées de jachère variant de 2 à 40 ans.

1.3 Variables prises en compte

1.3.1 Les données acquises sous simulation de pluie

Ce sont les paramètres classiques : coefficient de ruissellement (Kr), pluie d'imbibition (Pi), intensité minimale d'infiltration (Fn) et pertes en terre (E). Précisons d'emblée que nous n'analyserons pas ce dernier paramètre indépendamment de Kr, tant la corrélation entre les deux est élevée.

1.3.2 Les variables d'instabilité structurale

Plusieurs paramètres ont été utilisés :

- Les caractères intrinsèques : les différentes fractions granulométriques, le taux de matière organique et le fer total.

- Les tests : indice d'instabilité structurale de HENIN (Is), limite de liquidité d'ATTERBERG, indice de DE PLOEY (C5-10). En outre, ont été testés les coefficients a et c des équations proposées par BOIFFIN pour ajuster l'évolution du diamètre minimum des agrégats non inclus dans la croûte :

$$D_{\min} = a \text{ Spu} + b$$

$$D_{\min} = c \text{ Sec} + d$$

avec Spu : somme des pluies utiles

Sec : somme des énergies cinétiques.

Nous y avons ajouté deux paramètres qui nous semblent particulièrement faciles à acquérir sur le terrain :

. la hauteur de pluie critique, à savoir la hauteur de pluie nécessaire à l'inclusion dans la croûte de la totalité des agrégats,

. le pourcentage d'agrégats inclus dans la croûte, mais encore identifiables en fin de pluie : "agrégats émergents". Cette donnée est issue des dépouillements de mesures de points quadrats après les pluies.

1.3.3 Les variables topographiques

Deux variables ont été utilisées pour repérer la position topographique des parcelles :

- leur distance au thalweg,
- leur distance à la mi-versant.

Les 14 parcelles n'appartenant pas toutes à la même ligne de plus grande pente, elles ont dû être repérées par rapport à une toposéquence type dressée par Emmanuel FRISTSCH. Ces variables topographiques manquent de précision.

1.3.4 Les variables relatives aux jachères

Deux variables ont été fournies par Danièle MITJA :

- la durée de jachère : sûre pour les jachères dont l'âge reste inférieur à 10 ans, elle devient imprécise au-delà;
- la durée d'exploitation du champ avant la mise en jachère : cette donnée n'est pas non plus très précise, d'autant qu'au sein d'un même bloc de culture, la durée de mise en valeur de chaque parcelle peut largement varier.

1.4 Traitement des données

Les données ont été soumises à l'analyse en composantes principales, puis à la recherche de régressions linéaires, et multiples à élimination des paramètres non significatifs au seuil de 95%. Tant les modèles linéaires, multiplicatifs et exponentiels ont été testés. Seuls sont présentés ici les résultats des régressions.

Les traitements ont porté sur trois groupes de données :

- les 20 parcelles,
- les 14 parcelles de variation spatiale
- les 6 parcelles de variation temporelle.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1 L'ensemble des parcelles (n=20)

2.1.1 Résultats

Coefficient de ruissellement

R ²	modèle	variables descriptives
0,59	multiplicatif	- Limite de liquidité
0,76	multiplicatif	Idem + Instabilité structurale
0,82	multiplicatif	Idem + Limon grossier
0,86	multiplicatif	idem + - Distance au thalweg.
0,86	exponentiel	- Limite de liquidité, Instabilité structurale - Teneur en fer total Limon grossier

Pluie d'imbibition

R ²	modèle	variables descriptives
0,79	linéaire	Limite de liquidité
0,87	linéaire	Limite de liquidité Indice de DE PLOEY
0,87	linéaire	Limite de liquidité Taux de matière organique Hauteur de pluie critique
0,92	linéaire	Limite de liquidité Indice de DE PLOEY Taux de matière organique
0,95	linéaire	idem + - Teneur en fer total

Intensité d'infiltration

R ²	modèle	variables descriptives
0,37	linéaire	- Instabilité structurale
0,59	linéaire	idem + Pourcentage d'agrégats émergeants
0,70	linéaire	idem + Distance au thalweg

2.1.2 Discussion :

a) Les constituants :

- La *matière organique* n'intervient directement que pour ralentir la fonte des agrégats et, en conséquence, la vitesse d'apparition du ruissellement : R² = 0,60 pour Pi=f(Mo).
- Parmi les fractions granulométriques, ou leurs combinaisons, seul le *limon grossier* se signale comme ayant une influence significative sur les variables étudiées.
- Le rôle du *fer total* est plus ambivalent : s'il semble participer négativement au coefficient de ruissellement, ce qui semble logique en vertu de son pouvoir agrégeant, on ne comprend pas très bien pourquoi il réduirait la durée de la pluie d'imbibition comme les résultats semblent le suggérer .

b) Les tests mécaniques et les indicateurs morphologiques

Remarquons qu'un certain nombre d'indicateurs arrivent à expliquer des parts très importantes de la variance des variables considérées :

- La *limite de liquidité d'ATTERBERG*, ainsi que l'*indice de DE PLOEY*, suffisent à extraire près de 90% de la pluie d'imbibition. La limite de liquidité seule "explique" 59% du coefficient de ruissellement. On comprend tout l'intérêt de cet indicateur lorsque l'on sait qu'il est déterminé en routine depuis de nombreuses décennies dans la plupart des laboratoires du globe. Il ne s'agit pas là d'un test d'instabilité structurale proprement dit mais plutôt d'un test portant sur la *vitesse* de fonte des agrégats et donc de la fermeture de la porosité inter-agrégats.
- Bien qu'intéressante, la *hauteur de pluie critique* (P_c), ne semble pas un aussi bon prédicteur que les paramètres précédents. En effet, elle n'est pas aussi bien corrélée à la pluie d'imbibition (P_i) que le laisserait penser le modèle de BOIFFIN ($R^2 = 0,49$, modèle exponentiel). En outre, le ruissellement apparaît bien avant que la totalité des agrégats se trouvent inclus dans la croûte ($P_i = 0,25 \times P_c$, sous contrainte d'ordonnée à l'origine nulle, $R^2 = 0,33$).
- Les valeurs d'intensité d'infiltration paraissent les plus difficiles à prévoir. L'*indice de HENIN*, test d'instabilité structurale, bien que critiqué de nos jours, "explique" 37% de la variance (Fig.1). On retrouve là les relations habituelles entre cet indice et la perméabilité mesurée au laboratoire. Doit-on réserver cet indice à la prévision de l'infiltrabilité des croûtes, et les *indices d'ATTERBERG* et de *DE PLOEY* à celle, plus dynamique de l'apparition du ruissellement ? A cet égard, il est intéressant de noter que le pourcentage d'agrégats émergents en fin de pluie - améliore nettement la prévision. Ces agrégats, bien qu'inclus dans une croûte, n'en continuent pas moins à participer à l'infiltration : leur infiltrabilité reste bien supérieure aux croûtes structurales et de ruissellement. Au reste, le microrelief qu'ils forment n'est sûrement pas étranger à cet effet.

c) La position topographique

L'introduction de la *distance au thalweg* accroît la précision des régressions pour le coefficient de ruissellement et l'intensité d'infiltration. Toutefois, pris individuellement, les paramètres topographiques ne confèrent qu'une faible part de description :

- $R^2 = 0,30$ pour le coefficient de ruissellement en fonction de la distance au talweg, modèle multiplicatif,
- $R^2 = 0,26$ pour l'intensité d'infiltration en fonction de la distance à la mi-versant, modèle multiplicatif.

La suppression de l'échantillon des parcelles sous jachères - pour lesquelles, le repérage par rapport à une toposéquence type pose davantage

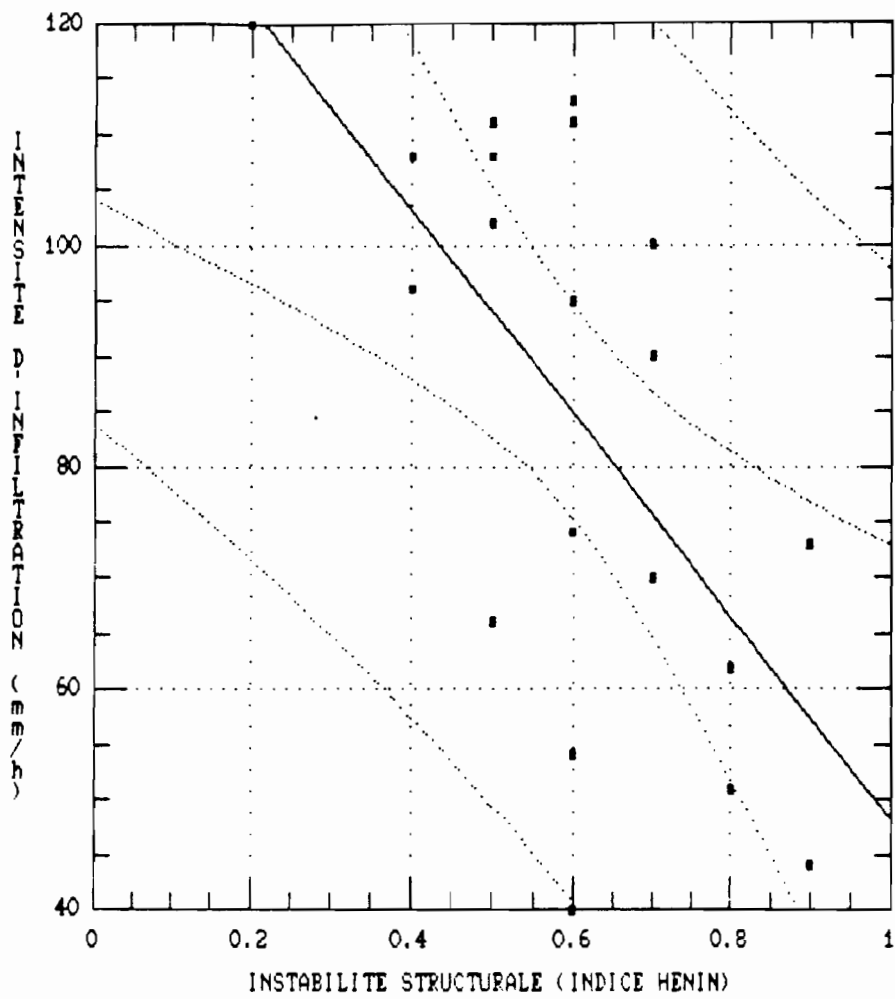


Fig.1 : INFLUENCE DE L'INSTABILITE STRUCTURALE SUR L'INTENSITE MINIMALE D'INFILTRATION

de problèmes que pour les parcelles des demi-transects - va nous permettre de tester dans de meilleures conditions la pertinence des paramètres topographiques.

2.2 Les variations le long du versant (n=14)

2.2.1 Résultats

Coefficient de ruissellement

R ²	modèle	variables descriptives
0,79	multiplicatif	- Matière organique
0,85	multiplicatif	idem+ Instabilité structurale
0,90	multiplicatif	Idem + Limon grossier
0,94	multiplicatif	Idem + - Limite de liquidité
0,97	multiplicatif	idem + - Hauteur de pluie critique

Pluie d'imbibition

R ²	modèle	variables descriptives
0,88	linéaire	Limite de liquidité
0,95	linéaire	idem + Argile + limon fin
0,98	linéaire	idem + Indice de DE PLOEY

Intensité d'infiltration

R ²	modèle	variables descriptives
0,61	linéaire	Distance à la mi-versant
0,41	linéaire	Taux de matière organique
0,66	linéaire	idem + - Limon grossier
0,85	linéaire	idem + Fer total

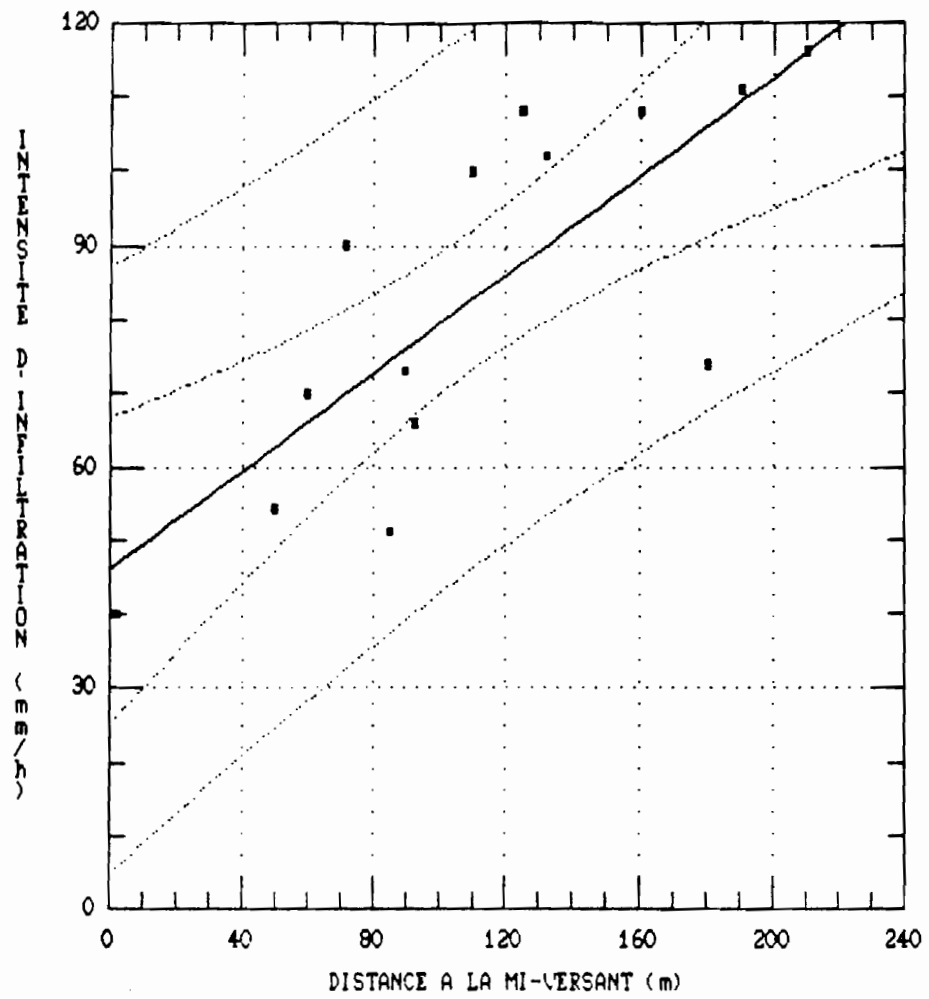


Fig.2 : INFLUENCE DE LA POSITION TOPOGRAPHIQUE SUR L'INTENSITE MINIMALE D'INFILTRATION

2.2.2 Discussion

Seule l'intensité d'infiltration est sensible à la position topographique, exprimée par la *distance à la mi-versant*. Un tel résultat ne semble pas toutefois devoir être attribué à la nature des horizons profonds. La distribution des constituants superficiels : *matière organique, limon grossier et fer total* suffisent à extraire 85% de la variance, ce qui est bien supérieur à la prévision assurée par le paramètre topographique. Il n'en demeure pas moins que ce dernier se révèle un indicateur satisfaisant ($R^2 = 0,61$; Fig.2). Les teneurs en fer total influencent le coefficient de ruissellement et l'intensité d'infiltration dans le sens d'un accroissement de la stabilité structurale.

Parmi les tests mécaniques, la *limite de liquidité* et l'*indice de DE PLOEY* constituent, comme pour les 20 parcelles, d'excellents prédicteurs pour la pluie d'imbibition. Par ailleurs, la *hauteur de pluie critique*, assez peu corrélée aux trois variables expliquées ($R^2 = 0,36$; $0,41$; $0,39$ pour K_r , P_i et F_n , respectivement), diminue fortement en fonction de la *distance au thalweg* ($R^2 = 0,85$; modèle multiplicatif - Fig.3). Ce paramètre différencierait donc les différents types d'horizons superficiels le long du versant, d'autant qu'il est assez bien corrélé aux constituants les plus pertinents :

- positivement avec la matière organique ($R^2 = 0,46$, modèle multiplicatif);
- négativement avec le fer total ($R^2 = 0,48$, modèle multiplicatif) et avec le limon grossier ($R^2 = 0,40$, modèle exponentiel)
- 80% de la variance de la hauteur de la pluie critique se trouve "expliquée" par les seules teneurs en matière organique et en limon grossier (modèle linéaire).

2.3 Les variations selon la durée de jachère (n = 6)

2.3.1 Résultats

Coefficient de ruissellement

R^2	modèle	variables descriptives
0,95	exponentiel	Instabilité structurale Limite de liquidité
0,99	exponentiel	- Agrégats émergeants Limite de liquidité

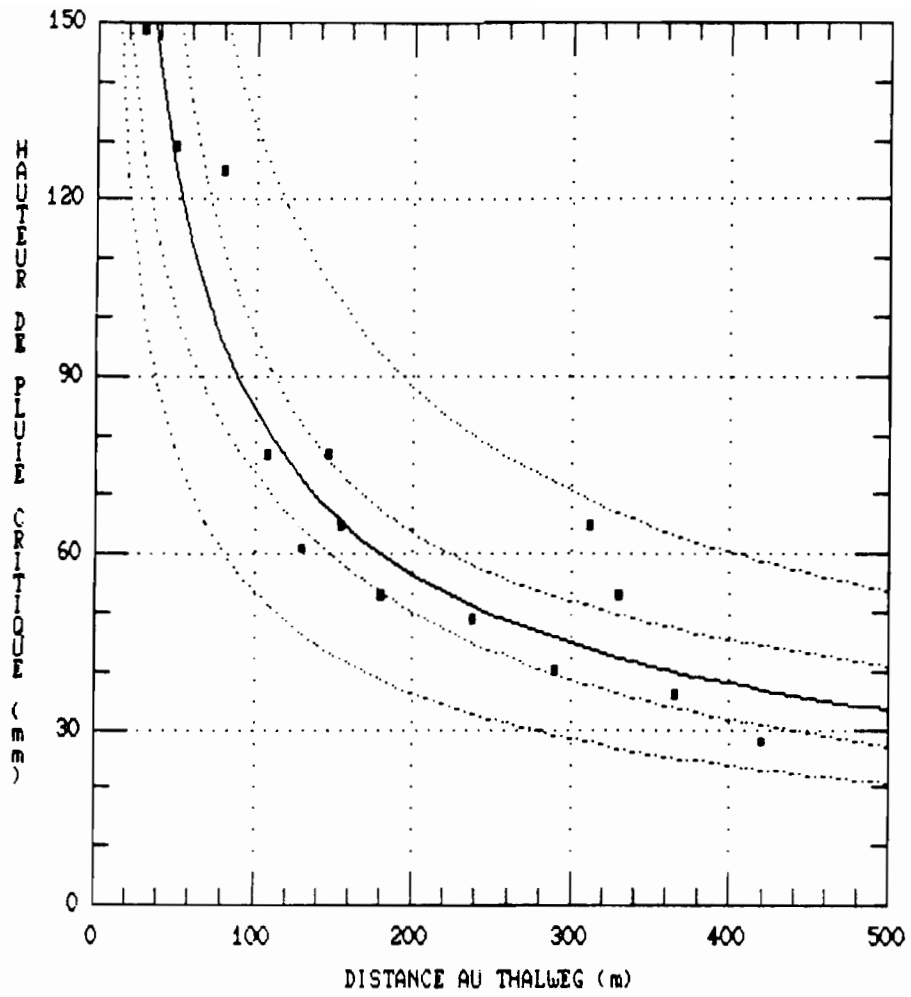


Fig.3 : INFLUENCE DE LA POSITION TOPOGRAPHIQUE SUR LA HAUTEUR DE PLUIE CRITIQUE

Pluie d'imbibition

R ²	modèle	variables descriptives
0,81	multiplicatif	Limite de liquidité

Intensité d'infiltration

R ²	modèle	variables descriptives
0,56	multiplicatif	Durée de jachère
0,73	exponentiel	idem + Durée d'exploitation
0,73	linéaire	- Instabilité structurale
0,997	linéaire	idem + Fer total

2.3.2 Discussion

Bien sûr, il est hasardeux de tirer des conclusions à partir de résultats statistiques fondés sur 6 points : notamment certaines tendances peuvent être dues au hasard. La seule durée de jachère permettrait d'"expliquer" plus de la moitié de la variance de l'intensité d'infiltration. Associée à la durée d'exploitation, elle parvient à en extraire près de 75%. Toutefois, si l'on peut facilement considérer que les agrégats sous de longues jachères résistent mieux aux pluies que sous les jachères récentes ($R^2 = 0,67$ pour "agrégats émergents" = $f(\text{durée de jachère})$, en modèle multiplicatif), il semble quelque peu paradoxal que l'intensité d'infiltration soit positivement influencée par la durée d'exploitation qui précède la mise en jachère.

Pour les autres variables expliquées : K_r et P_i , apparaît comme le meilleur descripteur.

CONCLUSION

Dans les conditions expérimentales considérées, la *position topographique* intervient sur l'intensité d'infiltration. Cette donnée spatiale peut être repérée par rapport à la ligne de thalweg ou par rapport à la mi-versant où elle est passe par un minimum. La variabilité des caractéristiques de l'horizon superficiel obéit en effet à une distribution ordonnée, toposéquentielle. Ainsi, la position topographique détermine les trois paramètres intrinsèques les plus pertinents en termes d'instabilité structurale : les taux de *matière organique*, de *limon grossier* et les teneurs en *fer total*.

Faute de données suffisantes, il serait risqué de tirer des conclusions quant à l'influence de la durée de jachère. Celle-ci semble

toutefois favoriser l'infiltrabilité. Plus étonnant serait le rôle favorable joué par la durée de mise en culture. Ce point mérite une analyse plus poussée qui sera entreprise lors du dépouillement des mesures réalisées en fin de saison des pluies sous végétation naturelle, et après labour (ces mesures ont porté sur 7 jachères).

Enfin, l'un des objectifs de ces essais était méthodologique : il s'agissait de déterminer, dans l'arsenal disponible des tests mécaniques d'instabilité structurale et des indicateurs morphologiques, ceux qui étaient les plus à même, dans les conditions ferrallitiques de savane, de prévoir les hauteurs de pluie d'imbibition, les intensités d'infiltration, voire les coefficients de ruissellement. Au terme de cet étude, il apparaît que :

- La *limite de liquidité d'ATTERBERG* s'avère un excellent indicateur de la pluie d'imbibition, et par voie de conséquence du coefficient de ruissellement.
- L'*indice de HENIN* est également un bon indicateur. Avec la limite de liquidité, il permet de prévoir correctement les pluies d'imbibition et les coefficients de ruissellement.
- L'*indice de DE PLOEY* participe à l'évaluation des pluies d'imbibition.
- Les coefficients a et c, issus des ajustements du *Diamètre minimum de BOIFFIN*, ne parviennent pas à figurer parmi les meilleurs paramètres descriptifs des variables considérées. Seule, la *hauteur de pluie critique* intervient, pour une faible part, sur la pluie d'imbibition, mais le ruissellement apparaît bien avant que l'ensemble des agrégats soit inclus : la pluie d'imbibition est en effet 4 fois moins élevée que la pluie critique. Ce paramètre révèle que plus on s'éloigne du thalweg, plus les agrégats se trouvent rapidement inclus dans une croûte mais, comme le montre l'influence du *taux d'agrégats émergents*, ces agrégats continuent à favoriser l'infiltration.