

Un simple test de terrain pour évaluer la capacité d'infiltration et le comportement hydrodynamique des horizons pédologiques superficiels : méthode et exemples

Éric ROOSE (1), Philippe BLANCANEUX (2) et Pedro Luiz de FREITAS (2)

(1) Centre Orstom, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France.

(2) Orstom et Embrapa/CNPS, Rua Jardim Botânico, 1024, 22 460 000 Rio de Janeiro, (R.J.) Brésil.

RÉSUMÉ

Pour réaliser un bon diagnostic des risques de ruissellement et d'érosion sur un versant, il convient d'observer le fonctionnement hydrique du terrain au cours de la saison des pluies ou au moins de tester la capacité d'infiltration des sols soumis à diverses utilisations. Dans cette note est décrit un test au cylindre unique, test simple et peu coûteux permettant non seulement de classer les horizons d'un sol en fonction de leur capacité d'infiltration, de leur porosité et de leur réserve en eau utile, mais aussi de visualiser le mode de pénétration de l'eau d'un horizon au suivant. La discussion porte sur l'intérêt et les limites de cette méthode. Deux exemples montrent l'intérêt pratique de ce test de terrain sur des sols ferrallitiques argileux du Brésil et sur un sol ferrugineux tropical sableux du Cameroun.

MOTS CLÉS : Capacité d'infiltration — Porosité — Réserve d'eau utile — Méthode de terrain.

ABSTRACT

A SIMPLE FIELD TEST FOR EVALUATION OF THE INFILTRATION CAPACITY AND THE HYDRODYNAMIC BEHAVIOUR OF SURFACE SOIL HORIZONS: METHOD AND EXAMPLES

To predict runoff and erosion hazard on a hillslope, the best solution is to observe the runoff ways on the ground during rainstorms of the rainy season. In this paper, is described the test of monocylinder: it is a very simple and costless test which allows to classify soil horizons in relation to their infiltration capacity, their porosity and their waterstorage capacity, but also to see how irrigation water drains from one horizon to the next. Interests and limitations of this test are discussed. Two case studies demonstrate the practicability of this test on silty clay oxisols of Brazil and on a sandy alfisol of Cameroon.

KEYWORDS : Field test description — Infiltration capacity — Porosity — Waterstorage capacity.

RESUMEN

UNA SIMPLE PRUEBA DE CAMPO PARA EVALUAR LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN Y EL COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO DE LOS HORIZONTES SUPERFICIALES DE LOS SUELOS : MÉTODOS Y EJEMPLOS

Para hacer un buen diagnóstico de los riesgos de arroyada y de erosión en una vertiente, es conveniente observar el funcionamiento hídrico del suelo durante la estación de las lluvias o al menos experimentar la capacidad de infiltración de los suelos sujetos a diversas utilizations. En esa nota, se describe una prueba con un cilindro único, es una prueba simple y poco costosa que permite no sólo clasificar los horizontes de un suelo con arreglo a su

capacidad de infiltración, a su porosidad y a su reserva de agua útil sino que visualizar el modo de penetración del agua desde un horizonte hasta el siguiente. La discusión trata del interés y de los límites de ese método. Dos ejemplos muestran el interés práctico de esa prueba de campo sobre los suelos ferralíticos arcillosos de Brasil y sobre un suelo ferruginoso tropical arenoso de Camerún.

PALABRAS CLAVES : Capacidad de infiltración — Porosidad — Reserva de agua útil — Método de campo.

PROBLÉMATIQUE

Le diagnostic des problèmes d'érosion sur un versant exige une bonne compréhension du comportement hydrodynamique des sols, en particulier la naissance du ruissellement, la capacité d'infiltration des horizons superficiels soumis à différents systèmes de culture et la perméabilité des horizons sous-jacents.

Or la capacité d'infiltration des horizons de surface dépend :

— de l'état de la surface du sol : rugosité, activité biologique et couverture végétale, humidité, fissuration, pierrosité, agrégation et organisations pelliculaires superficielles (CASENAVE et VALENTIN, 1989) ;

— du potentiel de succion du sol : déficit de saturation, profondeur du front d'humectation et organisation des horizons successifs ;

— de la hauteur de la nappe d'eau au-dessus du sol.

Pour évaluer rapidement, sur le terrain, la réaction du sol à une averse (ou à une lame d'eau de ruissellement ou d'irrigation), il n'existe aucune méthode parfaite.

La *simulation de pluies* donne des indications intéressantes si l'origine du ruissellement est à chercher dans la dynamique des états de surface, mais elle a ses limites :

matériels coûteux (50 000 à 80 000 F), consommation d'eau importante (600 litres par heure), un mois de terrain pour trois observateurs pour une toposéquence, pente limitée (jusqu'à 35 %), surface de mesure réduite à un mètre carré (ASSELIN et VALENTIN, 1979). La méthode ne convient pas si le ruissellement provient de l'engorgement d'un horizon profond ou de la concentration des eaux en bas de versant (COSANDEY *et al.*, 1990).

La *méthode conventionnelle des doubles anneaux* (Muntz) peut donner des résultats intéressants pour étudier l'infiltration des eaux d'irrigation par submersion dans les sols alluviaux (BOIVIN et TOUMA, 1988). Cependant, elle exige beaucoup d'eau et de temps, ne convient pas pour des pentes supérieures à 5 % et ne donne pas le même classement des sols que le simulateur de pluies : les conditions d'infiltration sont trop éloignées des conditions des pluies naturelles (LAFFORGUE et NAAH, 1976).

On peut observer dans le tableau I que les coefficients de ruissellement sur parcelles d'érosion sont loin d'être nuls sous culture. L'intensité maximale des pluies décennales pendant trente minutes étant inférieure à 100 mm/h (BRUNET-MORET, 1967 ; ROOSE, 1973), on ne devrait constater aucun ruissellement quel que soit l'état de la surface du sol.

TABLEAU I

Comparaison des coefficients de ruissellement annuels à la parcelle de 90 m² et de la capacité d'infiltration finale au double anneau d'un sol ferrallitique très désaturé sablo-argileux de la station Orstom d'Adiopodoumé (ROOSE, 1973)
Comparison between the annual runoff coefficients in the 90 m² plot and the Muntz's double ring final infiltration capacity method of a clay sand highly unsaturated ferralitic soil in the Orstom station of Adiopodoumé (Roose, 1973)

	Infiltration finale (Muntz) (mm/h)	Coefficient de ruissellement annuel (%)
Forêt secondaire sempervirente	1200	2
Terre de culture	600	25
Sol dégradé dénudé depuis 5 ans	400	33

La *méthode Porchet* évalue la perméabilité à partir de la mesure de la descente du niveau d'eau dans un trou de sondage : elle intéresse les hydrogéologues mais renseigne peu sur l'influence des états de surface du sol (AUDRY *et al.*, 1973).

La méthode de *mesure de la tache d'humidité* laissée par un goutteur de débit connu sur un sol peut rendre de grands services pour évaluer avec précision la capacité

d'infiltration d'une surface encroûtée bien plane (BOIFFIN, 1984). Elle ne peut s'appliquer sur des surfaces rugueuses ou pentues.

Le *test en cylindre unique* proposé ici est simple : il n'exige que peu de matériel, peu d'eau et peu de temps. Il est très sensible à l'état de surface du sol et permet de plus, si le sol est sec, d'examiner la perméabilité relative des horizons sous-jacents en place, la forme de la tache

d'humectation et les risques de drainage oblique. En outre, sur le même site, on peut mesurer la densité apparente de chaque horizon, son humidité maximale (= porosité fonctionnelle), sa réserve hydrique à capacité au champ (24 heures après = microporosité) et éventuellement sa densité réelle (à partir de laquelle on calcule la porosité totale) et son humidité minimale sous culture (point de flétrissement réel de la végétation herbacée ou pF 4,2). On peut en déduire la réserve utile pour les cultures.

Ce n'est qu'un test comparatif qui permet de classer les sols, les horizons et les états de surface en fonction de leur capacité d'infiltration et de stockage des eaux.

MATÉRIEL

Il est réduit à :

- cinq cylindres de 10 cm de diamètre et 8 à 10 cm de hauteur, à bord biseauté vers le bas (une boîte à conserve d'un litre évidée peut convenir) ;
- cinq réglettes de 100 mm fixées à 1 cm de la base intérieure des cylindres ;
- des papiers-filtres rapides pour protéger l'état de surface du sol ;
- un chronomètre ordinaire, un mètre pliant et une cuillère à soupe ;
- un litre d'eau propre par test, une pissette de 500 cm³, un petit flotteur (brindille) ;
- une bêche ou une machette pour découper le profil humecté ;
- un carnet pour noter la forme des taches et les diverses observations de terrain.

MÉTHODE

1. Choisir une zone représentative d'un état de surface du sol, si possible en période sèche, sans pluie depuis plus de dix jours.
2. Enfoncer délicatement et bien verticalement le cylindre en perturbant le moins possible la surface du sol. Un léger coup de pissette mouillant l'intérieur des parois du cylindre peut aider à faire pénétrer le cylindre de 1 ou 2 cm dans le sol.
3. Assurer l'étanchéité en tassant le sol autour du cylindre et en y posant un cordon d'argile.
4. Poser un papier-filtre couvrant tout le fond du cylindre pour éviter de créer une suspension en versant l'eau, laquelle suspension pourrait former une croûte artificielle au cours de l'infiltration.
5. Poser au niveau du sol une réglette de lecture du niveau d'eau (au millimètre près).
6. Verser rapidement de l'eau claire (sur une cuillère à soupe tordue pour casser l'énergie de chute) jusqu'à atteindre 5 cm à la réglette. Lire au chronomètre le T₀. Poser

une brindille sur la réglette pour observer sans erreur de parallaxe le niveau d'eau descendant dans le cylindre.

7. Noter le temps de passage du niveau d'eau à chaque centimètre de la réglette.

8. Remettre 5 cm d'eau sur la surface mouillée du sol et poursuivre le chronométrage.

9. Quand l'eau disparaît de la surface du sol (différence de brillance), enlever rapidement le cylindre et le filtre.

10 a. Prélever le plus tôt possible, à l'aide de la cuillère, un échantillon de sol détrempe (Hp max. x da = porosité efficace pour la circulation de l'eau).

10 b. Ou bien : enfoncer le cylindre dans le sol humide, le retirer plein de terre et le peser « à saturation », puis :

- le reposer 24 et 48 heures après drainage sur bac à sable (= Hv % à capacité au champ = microporosité) ;
- le sécher à 105 °C (= densité apparente) ;
- le broyer, faire bouillir durant quatre heures 100 g de sol, refroidir puis verser dans un ballon jaugé de 200 cm³ (en déduire la densité réelle).

$$\text{Porosité totale} = \frac{(d \text{ réelle} - d \text{ apparente})}{d \text{ réelle}} \times 100$$

11. Sur le terrain, dégager une fosse coupant la tache humide au centre du cylindre initial jusqu'à atteindre la limite de la tache d'humectation.

12. Dessiner la forme de la tache dans la direction perpendiculaire à la pente, mesurer :

- la profondeur humectée ;
- les diamètres tous les 5 cm, dont on déduit le diamètre moyen.

13. Refermer le trou et poser une couverture isolante contre l'évaporation, le ruissellement et l'infiltration des pluies. Prélever à nouveau au bout de 24 à 48 heures (= capacité au champ, deuxième approche).

La sensibilité du test est telle qu'il faut prévoir au minimum cinq répétitions et écarter les mégapores visibles au niveau de la tache d'humectation. La répétition des mesures sur une tranchée en escalier permet au premier coup d'œil de repérer le fonctionnement hydrique de chaque horizon du profil pédologique par rapport au suivant.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Forme de la tache

Si le sol est sableux et très perméable, la tache aura la forme d'un cylindre (fig. 1 a).

Si le sol est sablo-limoneux ou argileux, la tache prendra la forme d'un ballon ou d'un cône renversé à cause de la succion latérale dans les micropores (fig. 1 b).

Si le sol est tassé, l'infiltration est lente, la succion latérale importante, et la tache prend la forme d'une coupe évasée (fig. 1 c).

Enfin, si le sol est formé d'un horizon perméable sur un horizon peu perméable, la tache s'étale sur ce dernier

et forme un champignon renversé. S'il y a un drainage oblique vers le bas de la toposéquence, la tache indiquera le sens du drainage oblique (fig. 1 d).

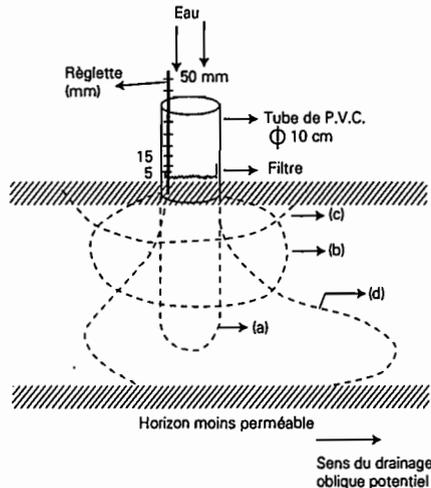


FIG. 1. — Forme des taches d'humectation en fonction des caractéristiques hydrodynamiques des horizons du sol : a) sol sableux très perméable ; b) sol sablo-argileux à porosité fine ; c) sol peu perméable, tassé ou battu par la pluie ; d) horizon perméable sur un horizon moins poreux avec tendance au drainage oblique.

Shape of moistening spots as related to the hydrodynamic features of soil horizons : a) highly permeable sandy soil ; b) clay sand soil with fine porosity ; c) weakly permeable, compacted or rain soaked soil ; d) permeable horizon on a less porous horizon with a tendency to oblique drainage.

Infiltration moyenne d'une lame de 50 mm

Généralement, le temps d'infiltration d'une lame de 50 mm varie de 1 à 60 minutes en fonction de la structure et de l'humidité préalable du sol, de la fissuration visible ou non, des états de surface et de la stabilité de la structure. Sur les sols instables, la capacité d'infiltration diminue sérieusement après un premier test sur sol sec.

Vitesse d'infiltration finale

Pour approcher la capacité d'infiltration du sol en milieu saturé, on arrose de deux fois 50 mm pour éviter les fuites latérales de l'eau sous pression dans le cylindre.

Le front d'humectation dépasse alors 12 à 30 cm de profondeur. On attend que la lame d'eau soit faible (entre 15 et 5 mm) pour déterminer la capacité d'infiltration finale sous faible pression.

On obtient alors les courbes suivantes :

— sols sableux ou sols stables à comportement sableux : deux droites à pente raide selon l'humectation initiale du sol (fig. 2 a et a') ;

— sols (limoneux) instables : courbe tangente à l'axe du temps (fig. 2 b).

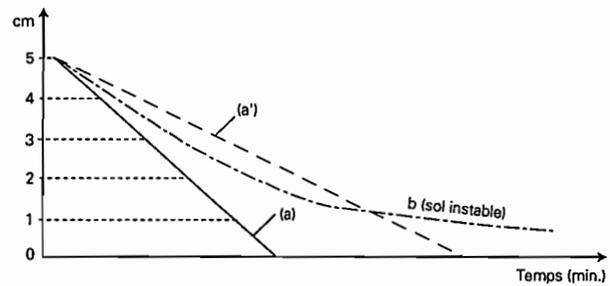


FIG. 2. — Dynamique de l'infiltration : a) sur un horizon sableux sec ; a') sur le même horizon après humectation ; b) sur un horizon peu stable à l'eau.

Infiltration dynamics : a) on a dry sandy horizon ; a') on the same horizon after moistening ; b) on an horizon weakly stable to water.

Correction en fonction du volume de la tache

Théoriquement, s'il n'y avait qu'une succion verticale, la tache devrait rester cylindrique. En réalité, comme la mesure se fait avec un seul anneau, il y a une succion latérale d'autant plus forte que le milieu est dense, compact ou argilo-limoneux.

Il faut donc corriger les valeurs d'infiltration finale en fonction du rapport entre le volume de la tache et le volume du cylindre théorique.

$$\frac{\text{volume tache}}{\text{volume cylindre}} = \frac{\pi \cdot H \cdot R^2}{\pi \cdot H \cdot r^2} = \frac{R^2}{r^2}$$

Le facteur de correction varie de 2 à 6 sur sols sableux ou « sols stables à comportement sableux » et de 4 à 8 sur sols limono-argileux peu perméables, tassés ou instables.

Capacité d'infiltration corrigée

Pour tenir compte de la succion latérale indiquée par la forme de la tache, on calcule le coefficient de correction à partir du rayon moyen sur l'ensemble de la hauteur de la tache (R). On divise l'infiltration finale par le coefficient de correction (correction = 2 à 8) :

$$\text{FN corrigée} = \text{FN} \frac{R^2}{r^2} \quad (\text{en mm/h})$$

Plus le coefficient de correction est élevé, plus les risques de drainage oblique sont forts.

Mesures complémentaires

Pour compléter la description des caractéristiques hydrodynamiques, on peut prélever :

— un cylindre pour estimer la densité apparente puis la densité réelle, l'humidité maximale, la capacité au champ et la microporosité ;

— un échantillon de sol après 24 heures de drainage : il aura atteint l'humidité de la capacité au champ ;

— un échantillon de sol pour mesurer au laboratoire les courbes de rétention et le point de flétrissement ($pF = 4,2$).

À partir de la différence entre ces diverses humidités, on pourra estimer :

- la macroporosité efficace pour la circulation de l'eau et de l'air ;
- la microporosité ;
- l'eau fixée et, par différence, la réserve en eau utile pour les cultures.

ÉTUDES DE CAS

Sols ferrallitiques argileux rouge et jaune du Brésil

À l'examen du tableau II, on peut observer que la capacité d'infiltration corrigée (à saturation) varie de moins de 100 mm/h sur un terrain tassé (vieille pâture dégradée ou passage du tracteur) à plus de 400 mm/h sur un sol perméable (semis direct ou labour).

TABLEAU II
Capacité d'infiltration (moyenne et corrigée), profondeur humectée, coefficients de correction et diamètre moyen des taches d'humectation dans les sols ferrallitiques du Brésil soumis à diverses utilisations
Infiltration capacity (mean and corrected), moistened depth, correction coefficients and mean diameter of moistening spots in the Brazilian ferrallitic soils subjected to various uses

	Infiltration moyenne (mm/h)	Infiltration finale (mm/h)	Diamètre moyen de la tache (cm)	Profondeur humectée cm	Coefficient correction	Infiltrat. finale corrigée (mm/h)
A. Sol ferrallitique argileux rouge sombre (Goiânia)						
Labour avec pulvérisateur offset "cover-crop" sur culture irriguée de haricot						
Répétition 1 (août 1994)	1745	1440	16,0	16,0	2,8	554
Répétition 2 (août 1994)	1370	973	16,0	15,0	2,6	380
Semis direct (sans labour) sur culture irriguée de haricot sur résidus de maïs						
Répétition 1 (août 1993)	1066	1091	16,6	13,0	2,8	395
Répétition 2 (août 1994)	1014	667	18,8	15,0	3,5	189
Répétition 3 (oct. 1994)	621	517	20,0	18,0	4,0	129
Répétition 4 (oct. 1994)	1486	1154	20,7	17,5	4,3	269
Répétition 5 (oct. 1994)	1446	1035	15,4	27,0	2,4	437
Bord du champ tassé par le passage des engins						
Répétition 1 (août 1993)	377	242	15,0	7,0	2,3	108
B. Sol ferrallitique argileux, sous pâturage dégradé (Morrinhos)						
Sol rouge jaunâtre						
Répétition 1	140	89	26,7	26,0	7,2	12
Répétition 2	43	24	46,5	15,0	21,6	1
Sol rouge sombre						
Répétition 1	449	284	18,0	30,0	3,2	88
Répétition 2	291	180	24,0	22,0	5,8	31

L'engorgement et le tassement du sol réduisent fortement la capacité d'infiltration : la forme évasée de la tache d'humectation le confirme.

La présence de fissures profondes augmente nettement la capacité d'infiltration (jusqu'à plus de 1 000 mm/h) et se marque au niveau de la tache (FN = 1 à 12 mm/h) (voir semis direct, troisième répétition).

Les sols jaunes ferrallitiques semblent beaucoup plus sensibles au surpâturage que les sols rouges ferrallitiques (31 à 88 mm/h).

Sol ferrugineux tropical sableux du Nord-Cameroun

L'étude de la capacité d'infiltration de chaque horizon d'un profil type a montré que les taches d'humectation ont

une forme de demi-ballon très semblable, qu'il n'y a aucun étalement au-dessus de l'horizon sous-jacent (donc de perméabilité voisine) et que les ordres de grandeur sont très semblables (tabl. III) :

— la FN corrigée diminue progressivement de 145 à 63 mm/h ;

— la capacité d'infiltration varie énormément en fonction de l'état de la surface du sol : de plus de 200 mm/h sur sol motteux ou sous jachère active biologiquement (beaucoup de vers de terre et de termites) ; de 30 à 60 mm/h sur pellicule de battance (1 mm d'épaisseur) en fonction de l'humidité préalable du sol ; de 5 à 30 mm/h sur croûtes de sédimentation.

TABLEAU III

Capacité d'infiltration d'une lame d'eau dans un cylindre, profondeur de sol humecté et forme de la tache d'humectation dans un sol ferrugineux tropical sableux nouvellement défriché (ROOSE, 1991)

Infiltration capacity of a rainfall depth in a cylinder, depth of moistened soil and shape of the moistening spot in a newly cleared sandy ferruginous tropical soil (ROOSE, 1991)

	Temps (min) pour infiltrer 100 mm	Profondeur humectée (cm)	Infiltration finale corrigée (mm/h)	Forme de la tache
Sous jachère				
- sous une touffe de graminée	1	25	250	cylindre
- sous turricule de vers de terre jeune	2	24	210	cylindre
- sous termitière vivante	50	-	20	-
Profil sous jeune défriche (bloc A)				
- horizon gris 0-15 cm	9 (12 à 24)	14 (17 à 20)	145 (52 à 64)	demi-ballon
- horizon brun-gris 20-45 cm	10 (12 à 18)	12 (17 à 20)	96 (48 à 64)	demi-ballon
- horizon brun 60-70 cm	18 (12 à 16)	13 -	63 (41 à 73)	demi-ballon
- horizon brun-rouge 120 cm	14 -	17 -	79 -	demi-ballon
Différences dues à l'état de surface				
- A 8 non dégradé	11	19	135	demi-ballon
- A 9 tassé, dénudé	23	15	60	coupe évasée
- coulée de sable	20	15	80	coupe évasée
- surface dégradée/pellicule battance	45	12	35	coupe évasée
- croûte de sédimentation	80	12	28	coupe très évasée

Entre parenthèses : mesures en humide.

DISCUSSION

Comme pour tous les tests de terrain, l'application du test au cylindre unique s'avère avantageuse dans certaines circonstances (si les états de surface sont très évolués, s'il y a des variations nettes des horizons) mais décevante dans d'autres (travail du sol fraîchement effectué, présence de fissures ou de cailloux).

Avantages

C'est un test très simple, peu coûteux, peu exigeant en matériel, en eau et en temps.

Il peut fournir de nombreuses informations sur le fonctionnement hydrique des différents horizons d'un sol ou d'une toposéquence ; il permet de classer les états de surface, les horizons et les sols en fonction de leurs propriétés hydrodynamiques ; il permet également d'analyser en détail les états de surface et leur évolution au cours d'une saison culturale ; il permet enfin des mesures en place même sur des pentes fortes.

Limites

Ce n'est qu'un test comparatif et non une mesure absolue : les sols sont souvent des milieux si hétérogènes

qu'il est nécessaire de faire de nombreuses répétitions (cinq au minimum) dont on compare les médianes.

La surface de mesure (100 cm²) n'intègre pas toujours toute la maille de l'hétérogénéité. On peut tenter d'augmenter le diamètre du cylindre, mais dans ce cas on augmente la consommation d'eau et on ne peut plus travailler sur les pentes fortes.

Il n'est pas toujours facile d'étanchéifier le contact sol-cylindre, en particulier sur les sols sableux, caillouteux, fissurés ou tassés : on augmente alors artificiellement les valeurs de la capacité d'infiltration.

Les valeurs observées sont généralement supérieures d'un ordre de grandeur à la capacité d'infiltration finale obtenue au simulateur, mais, en corrigeant les valeurs finales par le rapport des volumes tache mouillée/cylindre théorique, nous avons obtenu des capacités d'infiltration corrigées de 10 à 500 mm/h, du même ordre que celles obtenues par le simulateur de pluie.

On ne peut estimer l'effet de la rugosité sur la pluie d'imbibition (comme avec le simulateur de pluie) et les mesures sont généralement supérieures à la réalité sous la pluie battante, si bien qu'il est difficile de comparer cette estimation de l'infiltration aux intensités de la pluie pour estimer directement le risque de ruissellement. Ce n'est qu'une approche semi-quantitative, relative, comparative.

Il faut absolument verser l'eau dans le cylindre avec soin et amortir l'énergie de chute à l'aide des doigts ou

d'une cuillère sans remuer la surface du sol ; sans quoi il se forme une suspension qui va se déposer et former une croûte artificielle.

Cette technique est peu adaptée aux sols fissurés secs (vertisols et sols fraîchement travaillés) : il faut attendre leur tassement, leur enracinement et leur humectation (mais alors on ne peut plus distinguer correctement les limites de la tache d'humidité).

CONCLUSION

Le test du monocylindre et les mesures associées peuvent être très utiles pour les pédologues et les agronomes de terrain qui ne disposent pas toujours des facilités d'un laboratoire et souhaitent disposer très vite de résultats essentiels comme la capacité d'infiltration, les risques d'engorgement au-dessus d'un horizon, la macroporosité, la réserve utile en eau de chaque horizon.

Les observations sur la tache humide viennent compléter les informations obtenues à travers les profils culturaux et les profils racinaires sur le mode de circulation de l'eau sur et dans le sol, en fonction du système de culture et de la position du profil dans la toposéquence.

Des études complémentaires seraient utiles pour comparer les mesures de terrain avec les résultats des tests plus sophistiqués de laboratoire.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSELIN (J.), VALENTIN (C.), 1978 — Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 15 (4) : 321-349.
- AUDRY (P.), COMBEAU (A.), HUMBEL (F.-X.), ROOSE (E.), VIZIER (J.-F.), 1973 — *Bulletin du Groupe de travail sur la dynamique actuelle des sols*. Paris, Orstom, 133 p.
- BOIFFIN (J.), 1984 — *La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies*. Thèse doct.-ing., Ina-PG, Paris, 320 p.
- BOIVIN (P.), TOUMA (J.), 1988 — Variabilité spatiale de l'infiltrabilité d'un sol mesurée par la méthode du double anneau. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 24 (3) : 227-234.
- BRUNET-MORET (Y.), 1967 — *Étude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale : République de Côte d'Ivoire*. Orstom-CIEH, 20 p.
- CASENAVE (A.), VALENTIN (C.), 1989 — *Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration*. Paris, Orstom, coll. Didactiques, 232 p.
- COSANDEY (C.), BOUDJEMLINE (D. J.), ROOSE (E.), LELONG (F.), 1990 — Étude expérimentale du ruissellement sur des sols à végétation contrastée du Mont Lozère (France). *Zeit. Geomorphol. N.F.*, 34 (1) : 61-73.
- LAFFORGUE (A.), NAAH (E.), 1976 — Exemple d'analyse expérimentale des facteurs de ruissellement sous pluies simulées. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.*, 13 (3) : 179-194.
- ROOSE (E.), 1973 — *Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire*. Thèse doct.-ing., fac. Sciences, Abidjan, 125 p.
- ROOSE (E.), 1991 — *Compte rendu de la troisième mission au Nord-Cameroun*. Montpellier, Orstom, Ira, 6 p.