

Note sur la conception et l'utilisation d'un simulateur de ruissellement

Jean ASSELINE, Georges DE NONI, Jean-François NOUVELOT et Éric ROOSE

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

RÉSUMÉ

Sous l'action des précipitations, un sol évolue et s'érode parce qu'il est soumis à l'énergie libérée par les gouttes de pluie qui s'écrasent au sol d'une part, et au ruissellement qui se concentre durant son déplacement sur le versant d'autre part. La simulation de pluie, parce qu'elle est généralement pratiquée sur une petite parcelle d'un mètre carré, ne permet d'apprécier que l'impact des gouttes de pluie sur le sol. Pour compléter cette approche, il était utile de concevoir un autre test qui permette de simuler le ruissellement sous diverses conditions morphopédologiques et d'occupation du sol. À l'occasion d'un programme de recherche dans le Sud-Aveyron, un simulateur de ruissellement, facile d'emploi et de coût peu élevé a été conçu et utilisé. Bien que cet appareil, au même titre que le mini-simulateur de pluie, ne reproduise que partiellement les phénomènes naturels, il constitue néanmoins, à l'analyse des premiers résultats obtenus, un excellent test comparatif sur différentes couvertures pédologiques et végétales. Il a permis aussi de mieux comprendre l'action du ruissellement et notamment, dans le cas étudié, le rôle essentiel de l'écoulement subsuperficiel ou hypodermique.

MOTS CLÉS : Simulateur de ruissellement — Ruissellement subsuperficiel — Techniques culturales.

ABSTRACT

ABOUT THE DESIGN AND THE USE OF A RUNOFF SIMULATOR

Under the influence of rainfall, soil surface properties are evolving: the soil becomes eroded because it is subjected to rain drop energies falling on the topsoil, and runoff energies increasing along the slope. Rainfall simulation which is generally made on 1 m² plots allows to evaluate only the impact of raindrops on the ground surface. In order to improve this approach, it was useful to design another device which will allow to simulate runoff in various morphopedological land use conditions. In the case of a research programme conducted in Aveyron (southern France), an easy to use and cheap runoff simulator was designed and used. Although this device reproduces only partially the natural runoff phenomena, it is, nevertheless, given the first results obtained, a very good comparative test in different soil and plant covers. It also allowed a better understanding of the action of runoff and especially, in the case studied, the main role of sub-surface runoff.

KEYWORDS : Runoff simulator — Sub-surface runoff — Cultural practices.

RESUMEN

APROPÓSITO DEL DISEÑO Y DEL USO DE UN SIMULADOR DE ESCURRIMIENTO

Bajo la acción de las precipitaciones, un suelo se transforma y se erosiona porque está sometido a las energías liberadas por una parte por las gotas de lluvia que se estrellan contra el suelo y por otra parte por el escurrimiento que se concentra a lo largo de la vertiente. La simulación de lluvias, porque se realiza generalmente sobre una pequeña parcela de 1 m², toma en cuenta sólo el papel de las gotas de lluvias sobre el suelo. Para completar las observaciones, fue necesario concebir un otro tipo de experimentación para simular el papel del escurrimiento bajo diversas condiciones morfo-edafológicas y de uso del suelo. Tomando la oportunidad de una investigación en el Sur Aveyron, un simulador de escurrimiento, de uso cómodo y de costo barato, ha sido concebido y utilizado. A pesar de que este aparato, al igual que el simulador de lluvias, simule de manera parcial los fenómenos naturales, permite sin embargo, a la luz de los primeros resultados, realizar excelentes observaciones bajo diversas condiciones edafológicas y de uso del suelo. También ha permitido comprender mejor la dinámica del escurrimiento y en particular, en el caso estudiado, el papel del escurrimiento sub-superficial.

PALABRAS CLAVES : Escurrimiento simulador — Sub-superficial escurrimiento — Culturales practicas.

INTRODUCTION

La simulation de pluie sur une petite parcelle d'un mètre carré permet d'apprécier le comportement du sol soumis à l'énergie cinétique des gouttes de pluie. Celles-ci provoquent le détachement des particules du sol, la restructuration de son état de surface et la naissance d'un ruissellement en nappe, éventuellement d'une érosion en nappe, seule manifestation de ce processus si l'on considère la faible longueur de pente concernée. Il est ainsi possible de mesurer ponctuellement l'intensité de ruissellement, d'en déduire l'intensité d'infiltration et d'évaluer les pertes en terre succédant à l'effet de battance (« détachabilité » ou « *interrill erosion* »).

Dans ces conditions de protocole expérimental, les processus érosifs induits par l'énergie du ruissellement concentré, tels qu'ils apparaissent généralement sur un versant, ne peuvent être appréhendés. Dans ce type de dynamique interviennent en effet, outre la pluie en tant que facteur climatique, des facteurs biologiques tels que l'occupation du sol, des facteurs physiques du milieu parmi lesquels la longueur et l'inclinaison de la pente du terrain. Le rôle de ces derniers a relativement peu été étudié et les quelques références disponibles montrent la complexité des relations pouvant exister entre ruissellement, érosion et morphologie du versant. Pour certains chercheurs, l'augmentation de l'inclinaison ou de la longueur de pente induit une diminution du ruissellement (ROOSE, 1973, 1994 ; VALENTIN, 1978, 1981 ; LAL, 1982) mais pas des charges solides ; d'autres, en revanche, constatent une grande variabilité dans ces relations (LENVAIN, 1975 ; MEYER *et al.*, 1976 ; POESEN et BRYAN, 1989-1990).

Pour compléter ces différentes approches, il est apparu utile de concevoir un appareil et de mettre en place une expérimentation qui permettent de simuler le ruissellement

sous diverses situations morphopédologiques et d'occupation des sols. Dans cet esprit, différents chercheurs ont été amenés à proposer un simulateur de ruissellement, ou « ruissellateur », utilisé sur une parcelle d'un mètre carré (JANEAU, 1983 ; PLANCHON, 1985). Néanmoins, pour être plus proche des conditions naturelles d'un versant et apprécier l'érosion linéaire sur une parcelle de plusieurs mètres de longueur, il s'est avéré nécessaire de concevoir un nouvel appareil. Son fonctionnement a été testé à l'occasion d'un programme de recherche mené dans le Sud-Aveyron.

OBJECTIFS DE L'APPAREILLAGE

Les caractéristiques du simulateur de ruissellement doivent permettre de répondre au double objectif suivant :

— le premier, d'ordre scientifique, est de fournir, à la sortie de l'appareil et sans apport pluvial, un débit contrôlé et réglable, distribué sur le sol sous forme d'une lame d'eau uniforme sans énergie cinétique initiale, et de mesurer, à une distance choisie, l'écoulement, superficiel et (ou) subsuperficiel (ou hypodermique), ainsi que les éléments entraînés en suspension et (ou) en solution ;

— le second, d'ordre technique et économique, est de concevoir un appareil de coût modeste (moins de 5 000 FF), maniable, simple d'emploi et ne nécessitant pas un approvisionnement en eau trop important (2 à 5 m³).

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE L'APPAREIL

Le dispositif adopté se compose de trois parties essentielles (fig. 1).

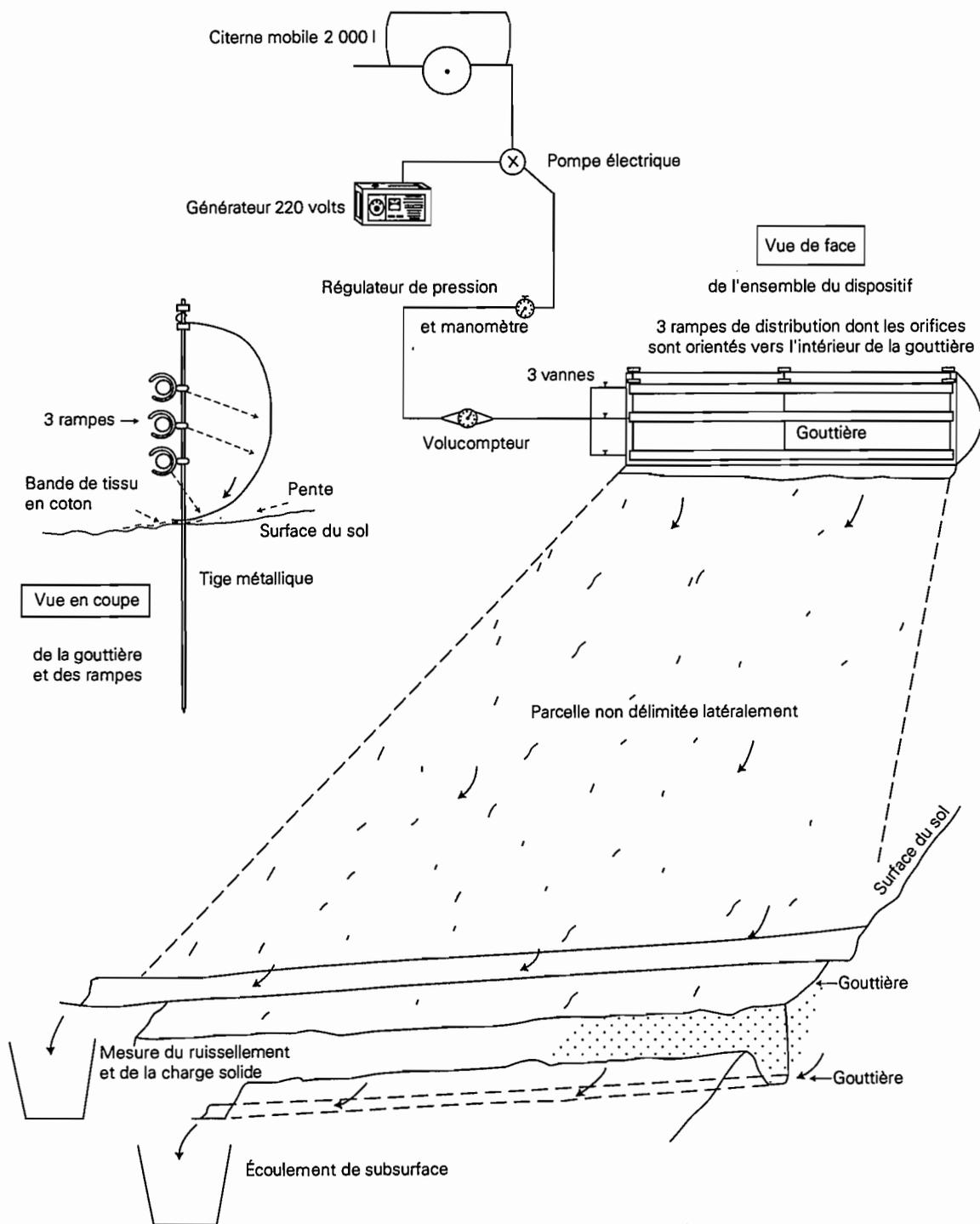


FIG. 1. — Schéma du ruissellomètre.
Diagram of the runoff simulator.

Un dispositif pour produire une nappe ruisselante de faible énergie

Le corps principal de l'appareil est constitué de trois rampes d'injection en tubes PVC rigides de 2 m de longueur et de 25 mm de diamètre. Chaque tube présente une ligne de perforations, d'un diamètre de 1 ou 1,5 mm, distantes de 2 cm, soit 98 perforations par tube.

Ces trois tubes superposés sont réunis à l'aide de clips en PVC coulissant sur trois tiges métalliques de 30 cm de longueur et de 6 mm de diamètre ; ce montage permet de régler l'écartement des tubes ainsi que l'orientation des jets. Ils sont placés dans une gouttière en PVC de 2 m de longueur, fermée aux deux extrémités. L'ensemble est maintenu sur le sol en position verticale grâce aux trois tiges métalliques enfoncées en terre sur une quinzaine de centimètres. La gouttière est orientée avec l'ouverture face à l'aval, les perforations des tubes étant dirigées au contraire vers l'amont, de telle sorte que les filets d'eau viennent s'écraser sur le fond de la gouttière. L'énergie cinétique de l'eau est ainsi fortement diminuée et sa sortie du dispositif, s'effectuant uniquement par gravité, provoque un ruissellement en nappe. Une distribution uniforme de la lame d'eau au contact du sol est obtenue à l'aide d'une « jupe » de tissu, bande de coton collée à l'extérieur tout le long de la gouttière et reposant sur le sol sur une dizaine de centimètres de largeur ; elle joue le rôle d'une mèche d'écoulement.

Une alimentation en eau

Celle-ci s'effectue à partir d'une citerne d'une capacité suffisante, correspondant à la durée prévue de l'expérimentation ; avec une rampe de deux mètres de largeur, on peut obtenir un débit maximal de deux mètres cubes durant une heure.

L'eau est mise en pression par une électropompe, elle-même alimentée par un groupe électrogène. Cette pression est contrôlée à l'aide d'une vanne, d'un régulateur de pression et d'un manomètre de façon à réguler le débit en fonction de l'objectif défini. Il est possible d'intervenir également sur le nombre de rampes en fonctionnement.

Un second ensemble de distribution, présentant les mêmes caractéristiques (vanne, gouttière, rampe), peut être ajouté en prolongation du premier, sur la même courbe de niveau, afin d'obtenir un dispositif de quatre mètres de largeur, l'approvisionnement en eau devant dans ce cas être doublé.

Un dispositif de mesure

Une gouttière disposée sur le sol et éventuellement une autre gouttière positionnée à une profondeur déterminée permettent de réceptionner le ruissellement superficiel et l'écoulement de subsurface, ainsi que les charges solides et les solutés. Dans tous les cas, pour que l'on soit certain d'appréhender toute la largeur du front de ruissellement,

la longueur des gouttières (ou du canal de recueil des eaux) doit être supérieure à celle du ruissellateur. La longueur de pente peut varier du mètre à quelques dizaines de mètres, en fonction du plan d'expérimentation. En présence d'une pente naturelle régulière où les risques de ruissellement provenant d'une autre section de pente sont faibles (*run on*), il n'est pas nécessaire de placer des bordures pour délimiter la parcelle. Cela étant, la surface ainsi définie est suffisamment étendue pour permettre la hiérarchisation de l'écoulement.

MATÉRIEL UTILISÉ

Les principaux matériels utilisés sont :

- une électropompe de capacité de 6 m³/h, sous 1,5 bar ;
- un groupe électrogène de 800 W ;
- 20 m de tuyau souple de 32 mm de diamètre ;
- 2 m de tuyau souple de 20 mm de diamètre ;
- un compteur volumétrique d'eau, de capacité de 7 m³/h ;
- un régulateur de pression de 0 à 6 bars ;
- des raccords, coudes, embouts en PVC ;
- trois vannes sphériques 1/4 de tour, l'une de 1 pouce et les deux autres de 3/4 de pouce ;
- trois tubes PVC rigides de 2 m de longueur, un de 32 mm de diamètre, deux de 25 mm, avec bouchon collé à une extrémité et raccord avec coude à 90° à l'autre extrémité ;
- une gouttière PVC de 15 cm de diamètre et 2 m de longueur, avec un fond droit et un fond gauche ;
- neuf clips PVC pour le support des rampes ;
- trois tiges métalliques de 30 cm et six écrous de 6 mm de diamètre.

Pour la collecte et la mesure du ruissellement, il faut ajouter : canaux en fibrociment, ou gouttières PVC ; seaux plastiques gradués de 10 litres ; éprouvettes de 2 litres ; récipients gradués ; chronomètre ; décimètre ; chaux ou autres colorants marqueurs du ruissellement.

EXEMPLE D'APPLICATION

L'appareil a été testé sur le terrain à l'occasion d'une étude (ASSELINE *et al.*, 1994) menée dans le Sud-Aveyron, dont l'objectif était de mesurer les risques d'érosion, en nappe et linéaire, sur des sols cultivés.

Dans un premier temps, des mesures ont été effectuées sous pluies simulées (mini-simulateur de pluie sur un mètre carré) pour évaluer la fonction de production de ruissellement et de sédiments ; l'utilisation séparée du ruissellateur a ensuite permis, sans apport pluvial, d'étudier la fonction de transfert (ruissellement et charges solides).

Pour un même type de sol, les situations culturales suivantes ont été retenues et testées :

- semis direct : sol tassé par le pâturage, après culture céréalière et repousse herbacée grillée aux herbicides ;
- labour perpendiculaire à la pente, suivi d'un hersage (herse rotative avec semoir), laissant un sol motteux ;
- labour dans le sens de la pente, suivi d'un hersage et d'un passage du cultipacker, qui a éclaté les mottes et tassé la surface.

Les états de surface ont été décrits le long de transects ; ils ont été définis par le pourcentage :

- de surfaces ouvertes (mottes, fissures) ;
- de surfaces fermées (pellicules de battance, croûtes de sédimentation, cailloux) ;
- de surfaces couvertes (litières, végétation, cailloux) ;
- de rugosité (entre chaque simulation, l'évolution des microformes est estimée grâce à l'emploi d'une chaînette souple).

Pour chaque situation culturale, la simulation expérimentale est répétée sur trois états d'humidité différents :

- un premier ruissellement sur sol humide dont l'état d'humectation a été préservé des pluies naturelles et de

l'évaporation par une bâche plastique placée sur le terrain un mois environ avant le début des essais ;

- une deuxième simulation intervient une heure après le premier essai et donc sur un sol très humide tel qu'il peut se présenter en fin d'automne ou de printemps ;

- une troisième simulation est réalisée huit jours après la deuxième sur un sol plus sec, présentant des conditions proches de celles rencontrées en période estivale, lors des orages d'été.

La topographie naturelle du versant a permis de sélectionner, sans avoir recours à des limites artificielles, des parcelles de dix mètres de longueur (20 % de pente) au pied desquelles a été inséré un canal en fibrociment en vue de récupérer l'eau de ruissellement superficiel et les charges solides. Légèrement en aval du canal, un fossé a été creusé jusqu'à la roche mère (schiste à faible profondeur, 30 à 40 cm de la surface) dont le pendage est en concordance avec la pente topographique. Ce dispositif a permis d'observer un ruissellement de subsurface, interne au sol, et d'en évaluer l'importance.

À titre d'exemple, les résultats obtenus durant la première simulation sont récapitulés dans le tableau I.

TABLEAU I
Première simulation de ruissellement
First runoff simulation

Ruissellement de surface					
	Pente (%)	Kr (%)	C (g/l)	Vm (m/s)	Krmax (%)
SD	21,5	47,3	0,09	0,05	74,1
L + 1H + Cpk	20,0	31,9	3,87	0,18	47,7
L + 1H	20,0	0		0	0
Écoulement interne (de subsurface)					
L + 1H	20,0	8,8		0,002	49,9

Kr : coefficient de ruissellement global ; C : concentration moyenne ; Vm : vitesse moyenne de ruissellement ; Krmax : coefficient de ruissellement maximal.

Seules ruissent la parcelle traitée en semis direct (SD) et la parcelle labourée avec hersage et un passage du cultipacker (L + H + Cpk). Dans les deux cas, le régime permanent (fig. 2) est atteint au bout de cinquante minutes environ, avec un coefficient de ruissellement instantané maximal atteignant respectivement 74 % et 48 %. La vitesse de ruissellement est près de quatre fois supérieure sur la parcelle traitée au cultipacker (18 cm/s) que sur celle en semis direct (5 cm/s). Sur la parcelle compactée au cultipacker, on constate, en effet, que si le ruissellement commence en nappe, avec un seul front d'humectation sur les dix à vingt premiers centimètres de la parcelle, très

rapidement, au-delà d'un mètre environ de la rampe d'injection, les filets d'eau s'organisent en écoulements linéaires suivant les traces de roues des tracteurs ou les sillons provoqués par les outils de travail, sans respecter strictement la pente naturelle du terrain. Ces traces de chenaux à fond tassé fonctionnent comme une série de « microcascades » qui traduisent une rugosité d'environ 30 % du fond du chenal.

La différence de vitesse de ruissellement explique, par ailleurs, que les quantités de charges solides soient presque nulles pour le semis direct (0,1 g/l), où la couverture végétale ralentit sensiblement le ruissellement, et que ces

charges varient de 1 à 15 g/l pour la parcelle nue compactée. Néanmoins, le tracé du turbidigramme (fig. 2) montre une forte décroissance de la concentration des matières en suspension en fonction du temps ; cela est dû en particulier à l'absence de détachement des particules de sol par une pluie.

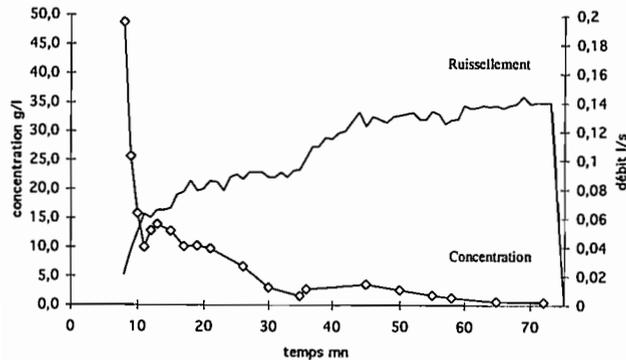


FIG. 2. — Première simulation de ruissellement sur « labour + hersage + cultipacker ».

First runoff simulation on « ploughing + harrowing + cultipacker ».

Dans le cas du labour sans passage de cultipacker (L + 1H b), aucun ruissellement superficiel n'a été observé malgré des débits et des volumes d'eau injectés importants :

- première simulation, un débit de 800 l/h durant 116 min ;
- deuxième simulation, un débit de 2 000 l/h durant 40 min ;
- troisième simulation, un débit de 1 300 l/h durant 89 min.

L'expérimentation a permis d'observer que dans ce cas la circulation de l'eau s'effectuait de manière subsuperficielle, à une profondeur se situant entre 25 et 35 cm dans la couche de sol située juste au-dessus du schiste altéré. Le front d'humectation dans le sol, observé à l'aide de petites fosses ouvertes dans le sol et disposées tous les mètres au long de la pente, avance d'une douzaine de centimètres par minute.

Après la fermeture des vannes d'injection, alors que le ruissellement superficiel était toujours nul, l'écoulement de subsurface, en bas de la parcelle, s'est poursuivi durant de nombreuses minutes (86 minutes dans le cas du troisième essai), et on a mesuré des quantités d'eau correspondant à des coefficients d'écoulement moyens dépassant 30 % et à des coefficients instantanés maximaux de 50 à 65 %. Ces valeurs représentent nécessairement une limite inférieure par rapport aux coefficients réels, sachant qu'el-

les correspondent à un front de drainage mesuré sur six mètres de longueur, alors que nous avons pu vérifier *a posteriori* que sa longueur totale atteignait environ huit mètres. Une valeur voisine de 40 à 50 % paraît vraisemblable pour le coefficient moyen d'écoulement de subsurface.

CONCLUSION

Ces premiers essais de simulation de ruissellement sur un cas de terrain permettent de déduire un certain nombre d'enseignements d'ordre technique et scientifique.

L'appareil utilisé, au même titre que le mini-simulateur de pluie, ne reproduit qu'incomplètement les phénomènes naturels ; il faudrait, dans un deuxième temps, pouvoir simuler des pluies tout au long du versant. En outre, dans sa conception actuelle, il n'est pas facile de rattacher le débit distribué linéairement à une lame ruisselée qui, au cours d'un événement pluviométrique, se répartirait sur l'ensemble de la superficie de la parcelle.

En revanche, il constitue un excellent test comparatif, non sensible au vent et bon marché, pour évaluer l'action de l'énergie du ruissellement sur différentes pratiques culturales et couvertures pédologiques. Par ailleurs, la non-reproduction de tous les phénomènes naturels intervenant n'est pas nécessairement un handicap, car la prise en compte d'un nombre limité de facteurs facilite leur analyse, soit directement (ruissellement superficiel), soit par défaut (décroissance rapide des charges solides due à l'absence du phénomène de « splash »).

Dans l'exemple de l'Aveyron, l'utilisation de cette technique a permis de mettre en évidence plusieurs résultats importants :

- le semis direct s'avère être la pratique culturale la moins érosive ; néanmoins, il ne peut être une solution durable, sans mesure d'accompagnement concernant la maîtrise de l'eau à l'échelle du versant, car il n'induit pas, sur des sols ayant été compactés par le pâturage ou les engins agricoles, une baisse sensible du ruissellement ; si la rugosité du couvert végétal entraîne une diminution de la vitesse du ruissellement, on n'observe pas pour autant une augmentation de l'infiltration ;

- la présence d'un écoulement subsuperficiel a été révélée expérimentalement ; l'importance de ce phénomène corrobore les observations de terrain qui avaient montré l'existence de nombreuses petites zones engorgées d'eau (mouillères) à l'affleurement des bancs de schiste dur. Ce type de flux interne peut être à l'origine du déclenchement de glissements de terrain et de la perte d'éléments fertilisants (naturels ou artificiels) ou de pesticides.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSELIN (J.), DE NONI (G.), NOUVELOT (J.-F.), ROOSE (E.), 1994 — « Soil erodability in mediterranean mountains of Aveyron (in southern part of France) ». In : ISCO 8, 4-5 janvier 1994, Delhi, Inde, 12 p.
- DE NONI (G.), NOUVELOT (J.-F.), ROOSE (E.), 1994 — *Projet de recherche sur l'érosion et la conservation des sols cultivés et sous pâturages en Sud-Aveyron*. Montpellier, Orstom, 6 p.
- GUILLERM (C.), 1994 — *Diagnostic de l'érosion pluviale dans les Rougiers de Camarès, propositions de pratiques culturales*. Paris, Cnam et Ina-PG, 51 p.
- JANEAU (J.-L.), 1983 — Construction d'un ruisselleur ou simulateur de ruissellement. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 20 (4) : 361-365.
- LAL (R.), 1982 — Effects of slope length and terracing on runoff and erosion on a tropical soil. *IAHS*, 137 : 23-31.
- LENVAIN (J.), 1975 — *Kritische studie van de Universele Ero sievergelijking en haar bruikbaarheid als evaluatiemiddel van de bodemkonditionerings techniek in de vochtige tropen*. PhD thesis, RU Gent, 131 p.
- MEYER (L. D.), DECOURSAY (D. G.), ROMKENS (M. J.), 1976 — « Soil erosion concepts and misconcepts ». In : Proc. III^d Intern. Agency Sed. conf. VS Geol. Survey, Denver.
- PLANCHON (O.), 1985 — *Utilisation d'un simulateur de ruissellement pour l'étude expérimentale de l'érosion*. Orstom-Côte d'Ivoire, programme Hyperbav, 16 p.
- POESEN (J. W. A.), BRYAN (R. B.), 1989-1990 — Influence de la longueur de pente sur le ruissellement : rôle de la formation de rigoles et de croûtes de sédimentation. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 25 (1-2) : 71-80.
- 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, n° 20, 125 p.
- ROOSE (E.), 1994 — Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bull. Pédol. FAO*, 70, 420 p.
- VALENTIN (C.), 1978 — *Divers aspects des dynamiques actuelles de quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire*. Abidjan, Orstom, 152 p.
- VALENTIN (C.), 1981 — *Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de régions subdésertiques (Agadez, Niger)*. Thèse 3^e cycle, pédologie, univ. Paris-VII, 229 p.

Photo G. De Noni



Ce stimulateur de ruissellement, très simple à réaliser et à transporter, permet d'injecter une lame d'eau sur le sol et d'apprécier le comportement de ce dernier sous l'effet de l'énergie du ruissellement, sur une longueur de versant d'une dizaine de mètres.