

**Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité
et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain
des risques de ruissellement et d'érosion,
en particulier sur les versants cultivés des montagnes**

par Eric Roose

**ORSTOM - Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés -
BP 5045 - Montpellier**

Résumé

Pour interpréter les observations de la dynamique de l'infiltration, et tenter de l'extrapoler du m² à la parcelle agricole, il est nécessaire d'évaluer les paramètres les plus significatifs des états de surface du sol. Des méthodes sont décrites et discutées pour définir l'état d'humidité préalable du sol, les surfaces fermées, les surfaces ouvertes, les surfaces couvertes, la rugosité (méthode de la chaînette), la pente moyenne, la capacité d'infiltration de la surface du sol soumis à différentes techniques culturales.

Ces techniques ont été mises au point progressivement sur terrains cultivés, où les états de surface évoluent beaucoup plus vite que dans le milieu naturel.

Mots clés : Méthodes, états de surface du sol, pente, rugosité, surfaces fermées, surfaces ouvertes, surfaces couvertes.

Abstract

To explain observations of infiltration on runoff plots under natural or simulated rainfalls and to extrapolate from 1 m² to farmers fields, it is usefull to measure rapidly significant parameters of the soil surface status. This paper describes and discusses simple techniques to measure the soil moisture and porosity, closed, open and covered surfaces, the roughness (small chain method), the slope gradient, the infiltration capacity for different soils and various cultural practices.

These techniques were progressively selected on cultivated plots, where the soil surface characteristics are evolving much more rapidly than in the natural environment.

Keywords : Methodology, soil surface characteristics, slope gradient, rugosity, opened surface, closed surface, covered surface.

1 - Introduction

Les problèmes posés par le ruissellement et l'érosion sont nombreux et variés. Aussi, avant de proposer des méthodes de lutte antiérosive, est-il nécessaire de mettre au point des outils simples et performants pour aider, dans chaque paysage, au diagnostic de l'origine du ruissellement, de l'érosion et des risques de dégradation en fonction des systèmes de culture développés par les exploitants agricoles tout au long des versants.

Trois hypothèses doivent être testées (Roose, 1994) :

- * le ruissellement se développe lorsque l'intensité de la pluie dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol, c'est-à-dire lorsque l'état de la surface du sol se dégrade (Horton, 1940) ;
- * le ruissellement ne se déclenche que par saturation de l'horizon superficiel (Trévisan, 1986) ;
- * le ruissellement dépend de la contribution d'une partie du bassin (Cosandey, 1983).

Pour apprécier la dynamique de l'infiltration à la surface des sols, de nombreuses études ont été réalisées à l'ORSTOM à l'aide d'un " simulateur de pluie " (Asseline et Valentin, 1979).

- * en Afrique de l'Ouest (Asseline, Collinet, Lafforgue, Roose, Valentin...) ;
- * en Tunisie (Asseline, Escadafal, Mtimet, Pontanier,...) ;
- * en Amérique latine (Asseline, De Noni, Viennot en Equateur, Albrecht en Martinique, Asseline et Collinet au Costa Rica, Asseline, Delhoume, Prat au Mexique) ;
- * en France, l'Université d'Orléans (Lelong), l'ORSTOM (Roose) et l'INRA (Darthout) ont encadré 5 thèses sur le thème " influence de la texture du sol et des techniques culturales sur les risques de ruissellement (Lelong, Roose, Darthout, Trévisan, 1995).

Le dispositif développé par Asseline a servi de base pour des modèles simplifiés mis au point par Masson (SRAE du Pas de Calais), Gril (Cemagref Lyon), Le Bissonnais (INRA Orléans), Fournier (BRGM de Marseille) et les travaux des Chambres d'Agriculture de la région Centre (thèses Rafiringa, 1983 ; Trévisan, 1986 ; Raheliarisoa, 1986 ; Boudjemline, 1987 ; Bouregda, 1989), du Lauragais (Roose et Cavalie, 1988) et de l'Aveyron (Asseline, De Noni, Nouvelot, Roose, 1995).

Pour interpréter les résultats des mesures de l'infiltration et des transports solides à l'échelle du m² et tenter d'extrapoler à l'échelle de la parcelle agricole, il est nécessaire de rechercher les paramètres les plus significatifs pour caractériser les états de la surface du sol en vue de calculer (modéliser) la pluie d'imbibition (P_i = la hauteur de pluie nécessaire pour que le ruissellement débute), le taux d'infiltration stabilisé ($FN = \text{Pluie} - \text{Ruiss. max.}$) et le coefficient de ruissellement d'un orage de fréquence 1/10, généralement à l'origine des principaux dégâts d'érosion en milieu rural.

Partis des états de surface décrits par Casenave et Valentin (1989) en milieu naturel sahélien, nous avons été amenés à les adapter aux milieux cultivés tempérés et tropicaux, évoluant beaucoup plus rapidement sous l'impact de l'énergie des pluies et du ruissellement.

Ce sont ces techniques simples de terrain, améliorées progressivement au cours des travaux de thèses (en particulier Boudjemline, 1987, Raheliarisoa, 1986 et Smolikowski, 1997) que nous décrivons et discuterons dans les chapitres suivants.

2 - Description des méthodes

Les paramètres explicatifs les plus significatifs sont : l'humidité préalable des dix premiers centimètres du sol, les surfaces fermées (%), ouvertes (%) et couvertes (%), la rugosité, la pente et la capacité d'infiltration de chaque horizon.

2.1 - L'humidité préalable de l'horizon de surface du sol

Sous pluies naturelles, il est difficile de mesurer l'humidité du sol juste avant chaque pluie : aussi a-t-on recours à des indices \pm sophistiqués tenant compte du temps en heures écoulé entre deux averses (t_a) ou de l'indice de Köhler (1951) ($I_{kn} = I_{kn-1} + P_{n-1} \cdot e^{-at}$) qui tient compte à la fois de la hauteur des pluies précédentes et d'une loi exponentielle de décroissance de l'humidité du sol en fonction du temps (Chevalier, 1983).

Lorsqu'on procède à la simulation des pluies, on peut se permettre de prélever un profil hydrique avant et après les averses simulées. Boudjemline (1987) a montré que c'est l'humidité de la couche superficielle qui influence le plus la réaction du sol à la pluie : au-delà de 10 cm, le complément d'information est négligeable, sauf dans le cas où le ruissellement naît de la saturation d'un massif poreux situé au-dessus d'un horizon très peu perméable. Trévisan (1986) a montré par ailleurs que c'est le déficit de saturation de cet horizon poreux (Porosité totale - porosité pleine d'eau avant l'averse) qui conditionne le démarrage du ruissellement (pluie d'imbibition) plus que l'humidité en elle-même des échantillons. D'où la nécessité d'évaluer pour l'horizon travaillé la densité apparente, l'humidité à capacité au champ et la densité réelle.

Procédure

a) Prélever à la tarière avant l'averse (à côté de la parcelle) un "profil sec" (3 à 5 répétitions 0-10/20/40/60/80 cm).

b) Prélever après chaque averse - dès que le ruissellement a disparu (dès que la surface du sol a perdu sa luisance) - 3 échantillons de "sol saturé" (H_v max. % correspondant à la porosité fonctionnelle) à la cuillère (pour éviter toute succion lorsqu'on retire l'échantillon).

c) Prélever 24 heures (sol sableux) à 48 heures (sol argilo-limoneux) après la fin de l'averse, dans la parcelle protégée de l'évaporation un profil d'humidité à capacité au champ après le ressuyage de l'eau libre des macropores (3-5 répétitions). On en déduira la capacité de stockage en eau des micropores.

Chaque prélèvement doit comporter au moins 200 g de terre disposés dans des boîtes à tare (ou sacs plastiques résistants à 105°C) stockées bien fermées dans une glacière (à l'abri du soleil).

d) Il est souhaitable de prélever à capacité au champ 5 gros échantillons de densité apparente en enfonçant dans le sol mou des cylindres de 0,5 à 1 litre (ou des boîtes à conserves soigneusement décerclées) de façon à déterminer sur des gros volumes la densité apparente, l'humidité contenue dans les micropores, la densité réelle, la porosité totale, l'humidité à pF 4,2 et l'eau utile = H_v (Cap. au champ) - H_v (pF 4,2 ou point de flétrissement).

2.2 - Les surfaces fermées

Casenave et Valentin (1989) ont décrit en détail les états de surface en milieu naturel sahélien. Cependant en milieu cultivé, les états de surface significatifs évoluent très rapidement. Après bien des tentatives de régressions, les paramètres les plus significatifs dans une large gamme de sols cultivés sont les surfaces fermées par une **croûte de sédimentation** (épaisseur > 3 à 30 mm, litée, FN = 1 à 12 mm/h), une **pellicule de battance** (FN = 10 à 30 mm/h), une **semelle de compaction** (épaisseur > 5 à 10 mm mais pas de structure pelliculaire) ou de **cailloux pris dans la masse** (infiltration nulle).

Sur des sols limono-argileux, Boiffin (1984) a décrit 3 stades de dégradation des états de surface en relation avec le diamètre maximum des mottes non intégrées dans la croûte. Valentin a montré que cette approche était difficilement applicable aux sols sablo-argileux des savanes/cultures africaines. Il nous est apparu qu'elle évolue trop rapidement sur un lit de semence soumis aux pluies simulées.

Procédure

P1 - Sur les parcelles de 1 m², définir 5 transversales stables à partir de marques sur le cadre de mesure. Poser un mètre rigide à 5 cm du sol, et laisser descendre (systématiquement, sans viser) une aiguille à tricoter ou un crayon tous les 2 cm en laissant de côté 10 cm de bordure (10-30-50-70-90 cm). Donc $80 \text{ cm} \div 2 = 40$ mesures $\times 5 = 200$ points de mesure.

Au point d'impact avec le sol, compter les points suivants :

- * **pellicule de battance (ou d'érosion)** : épaisseur ≈ 1 mm, une couche fine, généralement en position haute/motte/billon ;
- * **croûte de sédimentation** : épaisseur 3 à 30 mm, litée, en position basse (= résidus de flaques) ;
- * **semelle de tassement, croûte d'érosion** : épaisseur 5 à 30 mm non litée, très tassée, témoin du passage des pneus, des travailleurs, d'un animal, ou d'un dépôt d'érosion (coulée boueuse) ;
- * la surface des **cailloux apparents (et les grosses mottes tassées)** pris dans la masse (à distinguer de ceux qui protègent la surface du sol agrégé à classer en "surface couverte").

Le % total donne la surface fermée susceptible de donner rapidement du ruissellement.

P2 - Sur les parcelles d'érosion (100 m²) ou les champs paysans, choisir des diagonales qui croisent toutes les hétérogénéités. Tendre par terre un décimètre : fixer la zone de mesure à l'aide de piquets indéracinables (fers à béton torsadés de 12 mm enfoncés 90 cm dépassant de 10 cm) et faire les observations tous les 5 cm (= 10 mètres $\times 20 = 200$ observations.). Exprimer les résultats en %.

2.3 - Les surfaces ouvertes

Les surfaces fermées vont produire rapidement de l'eau libre à la surface du sol. Pour que celle-ci ruisselle, il faut encore qu'elle évite les pièges des surfaces ouvertes c'est-à-dire zones motteuses très perméables, fissures profondes, galeries des termites et des vers de terre.

L'expérience a montré que sur les sols cultivés peu stables (pulvérulents) les mottes de moins de 1 cm de diamètre évoluent très vite en surface fermée (= battance). Les mottes de plus 5-8 cm sont le signe d'une compaction : elles se comportent souvent comme des

pierres (peu perméables) et sont à l'origine d'une redistribution de matériaux qui contribuent à colmater la surface du sol (Boli, 1996).

Procédure

Sur les transects définis au § 2.2 -, on comptabilise :

- les fissures profondes,
- les galeries de la mésofaune,
- les mottes < 1 cm,
- les mottes > 1 cm,
- les mottes > 5 à 8 cm.

La surface ouverte est la somme des surfaces définies ci-dessus, mais dans les sols très sableux, **les coulées de sables grossiers perméables** ne recouvrant pas de structure litée sont aussi comptabilisées avec les surfaces ouvertes.

La somme des surfaces couvertes et nues égale 100%. De même, la somme des surfaces fermées et ouvertes égale 100 %. L'évolution des surfaces fermées est un excellent indice de la stabilité de l'horizon superficiel d'un sol et de son état de dégradation physique.

2.4 - Les surfaces couvertes

La couverture du sol, en interceptant l'énergie des gouttes de pluies (canopée et litières) et l'énergie des eaux ruisselantes (litières, adventices et végétations basses) peut avoir une influence considérable sur l'érosion et dans une moindre mesure, sur le ruissellement. Un paillis couvrant 80 % du sol peut réduire l'érosion de 90 %, mais laisser passer 30 % du ruissellement d'un sol nu. L'efficacité des végétaux morts ou vifs traînant à la surface du sol est nettement meilleure que la canopée des végétaux dressés dont les feuilles rassemblent les fines gouttes : la hauteur de chute suffit pour restituer plus de 90 % de l'énergie originale au bout de 5 à 10 mètres de chute (voir le graphe Wischmeier et Smith, 1978).

Procédure

P1- Partant des transects définis au § 2.2 -, comptabiliser les impacts où le sol est couvert :

- * d'une **litière** (résidus de culture, racines nues, mousses),
- * de **cailloux non intégrés** dans la masse du sol,
- * d'**adventices + plante de couverture rampantes**,
- * d'une **canopée** à définir par strates de différentes hauteurs moyennes.

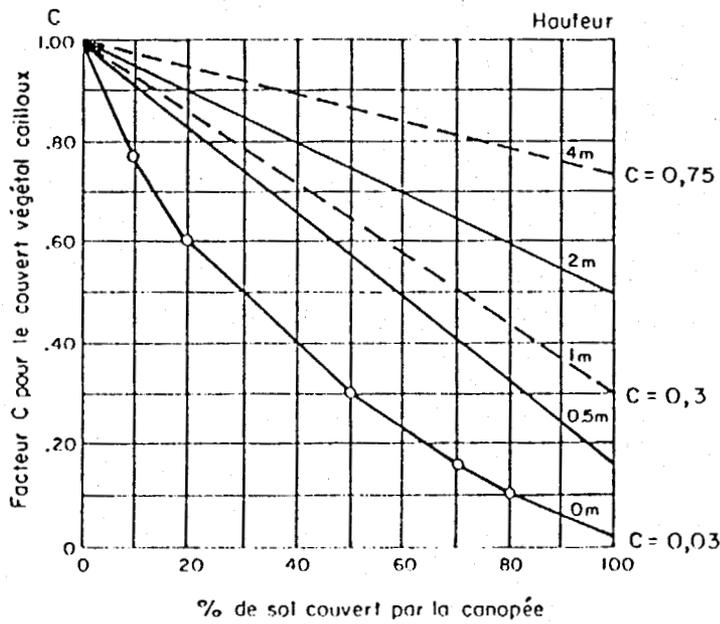
La somme constitue la surface couverte à mettre en relation avec les risques d'érosion et de ruissellement.

P2- Si les strates de canopée sont situées à des altitudes très différentes, on peut utiliser l'appareil développé par Elwell et Stocking (1976) qui est formé d'une rangée de tubes de 1 cm de diamètre, longueur = 10 cm tous les 10 cm soudés à un cadre que l'on fixe au sol au-dessus d'un miroir : on vise à travers les tubes vers le miroir qui renvoie la visée vers le ciel (c'est-à-dire vers la canopée aérienne).

On déplace rapidement ce cadre sur une diagonale pour faire 100 à 200 points de lecture dans un champ. En faisant pivoter le miroir, on peut viser la litière et les cailloux couvrant le sol d'une part, la canopée aérienne dans l'autre position.

FIGURE 1

L'érosion est fonction de la hauteur du couvert végétal au-dessus du sol



Plus le couvert est élevé, moins il est efficace car les gouttes reprennent de l'énergie.

si sol couvert à 100 % par la canopée à 4 m de hauteur

si sol couvert à 100 % par une canopée à 1 m de hauteur

avec paillis (mulch) au contact du sol

(d'après Wischmeier et Smith, 1978)

2.5 - La rugosité : méthode de la chaînette

La logique et l'expérience laissent à penser que la rugosité du sol encourage le stockage de l'eau refusant d'infiltrer dans les dépressions et ralentit le ruissellement. L'expérience montre également que l'influence de la rugosité du sol (et du labour en courbe de niveau) diminue lorsque la pente devient raide pour disparaître au-delà de 30 % (Roose, Cavalier, 1988 ; Roose, 1994).

Il existe des moyens sophistiqués au laser ou des mesures \pm laborieuses aux aiguilles fixées sur un cadre (rugosimètre) pour évaluer cette rugosité, mais en pratique, on trouve rarement de bonnes corrélations entre la rugosité mesurée (les hauts et les bas) et le ruissellement ou la pluie d'imbibition, car la lame d'eau ne s'intéresse qu'à la rugosité des vallées où elle va trouver son chemin. Tout le monde a noté par exemple que dans les champs, les écoulements passent d'habitude sur les traces des pneus ou des rigoles laissées par les outils, plutôt que sur l'ensemble du sol.

Je propose une méthode rapide et peu coûteuse dont la répétition permet une bonne estimation de l'évolution de la rugosité au cours d'une série d'averses.

Procédure de la méthode à la chaînette

Sur les transversales définies au § 2.2 -, laisser glisser lentement une chaînette souple (par exemple une chaînette d'évier composées de petites billes coulissant sur une tige souple) de 1,5 m de long, tenue à bout de bras aux extrémités, de telle sorte qu'elle se dépose sur la tranche de sol située à l'aplomb de la règle rigide. Comme elle épouse la rugosité du sol (en hauteur ou en largeur), la longueur de chaînette nécessaire pour couvrir cette tranche de sol sera supérieure à la largeur du cadre (1 mètre). Elle peut atteindre 135 cm sur un labour grossier, 115 cm sur un terrain finement motteux à 101 cm sur une surface glacée et battue par les pluies. La rugosité varie dans ces cas de 35%, à 15% et 1 %.

Sur un champ, utiliser une règle rigide ou un chevron de 1 à 2 mètres de long, à poser perpendiculairement au sens du travail du sol (pour expliquer l'érosion) ou dans le sens de la pente (pour expliquer le ruissellement).

2.6 - La pente

A l'échelle du m², la pente du sol (%) influence peu le ruissellement sauf à travers le stockage dans les rugosités du sol (Pi).

A l'échelle des parcelles d'érosion (10-20 mètres de longueur), la pente augmente l'érosion de façon exponentielle (Roose , 1994). Par contre, on a montré sur sol peu couvert que le ruissellement peut diminuer lorsque la pente augmente (ex : sol ferrallitique désaturé sableux Abidjan, Roose 1973, 1994) car ce ruissellement sur forte pente acquiert une énergie cinétique qui lui permet de décaper les pellicules de battance à mesure qu'elles se forment.

En plus du pourcentage de pente de la parcelle étudiée, il convient de la situer sur la toposéquence en fonction de sa forme générale (pente droite, concave, convexe, multiple) et de la succession des horizons (toposéquence).

Procédure

*Sur le cadre de 1 m², poser le niveau à bulle sur chaque côté. Les côtés amont et aval doivent être horizontaux. Dans ce cas, si le cadre est correctement enfoncé, la pente de la parcelle est parallèle à celle des 2 côtés du cadre.

Poser le niveau sur l'un des côtés, relever la partie basse du niveau jusqu'à ce que la bulle indique l'horizontalité du niveau.

Mesurer la différence de hauteur (cm) entre le niveau et le côté : diviser par la longueur du niveau = pourcentage de pente. Faire la moyenne de trois lectures de chaque côté.

*Sur le champ, il est difficile d'estimer la pente à cause de la rugosité de la surface (surtout s'il y a des billons). Pour des segments de 4 à 10 mètres, on peut utiliser un niveau à eau ou un clinomètre, mais la précision ne dépasse pas 1%.

2.7 - La capacité d'infiltration du sol

Celle-ci est extrêmement variable (1 à 1000 mm/heure) en fonction de l'humidité préalable, de la texture et surtout du sol et de la stabilité de sa surface.

Sur des surfaces planes, il existe quantité de méthodes pour évaluer la capacité d'infiltration d'un massif poreux : aucune n'est parfaite (cf. Roose, Blancaneaux, Freitas, 1993).

La méthode de la tâche (Boiffin, 1984) est bien adaptée aux surfaces encroûtées subhorizontales.

La méthode des doubles anneaux (Müntz) , la plus connue, consomme énormément d'eau et de temps. Elle est mieux adaptée aux problèmes d'irrigation par submersion qu'aux problèmes de ruissellement sur les versants (Lafforgue, 1977).

La méthode Pioger au double anneau consomme déjà moins d'eau (mesure à la fin de l'infiltration d'une lame de 50 à 100 mm d'eau) mais elle est mal adaptée aux pentes fortes.

La méthode du monocylindre (Roose et al., 1993) où l'on corrige la vitesse d'infiltration du centième millimètre après interprétation de la tâche humide du front d'humectation, permet d'accéder au fonctionnement des différents horizons ; cependant elle est mal adaptée aux surfaces fissurées ou récemment labourées.

Le mini-simulateur de pluie de Asseline (1977) donne une bonne évaluation de la dynamique de l'infiltration sous l'effet de la battance des pluies. Au delà de 35 % de pente, sa précision diminue car on ne connaît plus bien la hauteur de chute des gouttes de pluie, ni la répartition de l'énergie au sol.

Nous avons tenté récemment de comparer les mesures d'infiltration au simulateur ORSTOM (sur un derrick de 4 mètres) à celles d'un arroseur à rampe épandeuse d'herbicide produisant des gouttes fines quasi dépourvues d'énergie. Les résultats de mesure de la pluie d'imbibition et de l'infiltration finale sont voisins de ceux observés au simulateur ORSTOM, si la simulation a lieu sur une surface stable, mais peuvent être assez différents sur un sol fraîchement travaillé. En effet, l'état de la surface du sol évolue plus vite sous pluie simulée

avec toute son énergie que sous le simulateur manuel dont les gouttes de pluies sont dépourvues de la majeure partie de leur énergie. Notons qu'aucun des deux simulateur n'est capable de donner une figure correcte de l'érodibilité du sol car le ruissellement ne peut acquérir assez d'énergie après un mètre de longueur de pente pour creuser des rigoles : en effet les observations de terrain montrent qu'il faut au moins 5 à 20 mètres pour que naissent des rigoles selon les types de sols et les techniques culturales utilisées (Meyer, Decoursay, Romkens, 1976 ; Roose 1994 ; Chaplot et al., 1996).

Procédure

Sur le même cadre de 1 m² que celui du mini-simulateur de pluies de l'ORSTOM, décrire les états de surface, puis arroser soigneusement en effectuant des déplacements en 8 pour étaler au mieux les gouttes. Dès que le ruissellement se forme, relever l'arrosoir, arrêter temporairement l'irrigation, puis la reprendre jusqu'à l'épuisement d'un arrosoir. Mesurer le volume ruisselé hors de la parcelle et le stocker dans une cuve annexe. Rajouter un même volume d'eau claire dans l'arrosoir et chronométrer le temps pris pour infiltrer chaque arrosoir (10 litres sur 1m²= 10 mm). Déterminer la charge en suspension dans les eaux ruisselées : la charge moyenne pourrait servir de test de l'érodabilité d'une terre (fonction de la pente , de la détachabilité du sol, de l'état de surface du sol et du couvert végétal).

Continuer d'arroser de façon intermittente jusqu'à atteindre la hauteur de pluie désirée (fréquence 1/1 à 1/10 ans) et si possible jusqu'à humecter les 50 premiers centimètres (par exemple 6 à 10 arrosoirs).

Pour observer la saturation éventuelle d'un horizon, creuser une petite fosse au bas de la parcelle irriguée. En Aveyron, sur des sols superficiels sur schiste, on a pu observer la naissance du ruissellement hypodermique (Asseline et al., 1995).

On peut de cette façon estimer la pluie d'imbibition, la capacité d'infiltration finale ou stabilisée. En prélevant rapidement des profils hydriques après l'irrigation, puis 24 à 48 heures plus tard et les densités apparentes et réelles, on peut évaluer la porosité utile (HV " saturé " - HV pF 4,2), la microporosité, la capacité de stockage en eau (HV cap champ - HV point de flétrissement).

3 - Conclusions

Jusque récemment, la lutte antiérosive s'est effectuée de façon très empirique.

Wischmeier et Smith (1958-78) ont réussi, dans certains cas, à hiérarchiser l'importance des facteurs de l'érosion en nappe sur des pentes de 3 à 20 % (Roose, Asseline, 1978 et Roose, 1994).

On s'aperçoit maintenant que la dynamique de l'eau sur des pentes > 20 % ne suit pas forcément les lois sur lesquelles s'étaient basé Bennett (1939) et à sa suite l'école des "conservationnistes".

Depuis 1987, l'approche "GCES" ou "land husbandry" a fait irruption et a modifié le comportement des spécialistes de la lutte antiérosive en remettant le paysan, ses stratégies et ses contraintes à l'avant plan des nouveaux programmes de développement intégré...

Il reste de grands progrès à réaliser sur les plans techniques et scientifiques pour comprendre la complexité des phénomènes d'érosion et de ruissellement sur les fortes pentes des zones montagneuses qui, en Afrique, abritent et nourrissent des millions d'hommes qui y cherchent refuge contre diverses maladies tropicales.

Les méthodes simples, rapides et peu coûteuses décrites dans cet article, peuvent aider à poser un diagnostic sur l'origine du ruissellement... donc de l'érosion en rigoles et ravines, si communes sur les versants cultivés densément peuplés des montagnes d'Afrique.

Bibliographie

- Asseline J., Valentin C., 1978 - Construction et mise au point d'un simulateur de pluies à aspersion. Cah. ORSTOM Pédol., 15, 4 : 321-350.
- Asseline J., De Noni G., Nouvelot J.F., Roose E., 1995 - Caractérisation de l'érodabilité d'une terre de moyenne montagne méditerranéenne : sud Aveyron, France. Bull. Réseau Erosion. n° 15 : 471 - 488.
- Bennet H.H., 1939 - Elements of soil conservation : 2d Edition. Mc Graw Hill, New York.
- Boiffin J., 1984 - La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse Doct. Ing. INAPG, 297 p.
- Boli Baboule Z., 1996 - Fonctionnement des sols sableux et optimisation des pratiques culturales en zone soudanienne humide du Nord-Cameroun. Thèse en Sciences de la Terre, Université de Dijon- ORSTOM Montpellier-IRA Garoua, 384 P.
- Boudjemline D., Roose E., 1986 - Influence des litières du Mont Lozère (France) sur la naissance du ruissellement et de sa charge solides. Etude au simulateur de pluies. Bull. Réseau Erosion n° 6 : 18-19.
- Boudjemline D., 1987 - Susceptibilité au ruissellement et aux transports solides de sols à texture contrastée. Etude expérimentale au champ sous pluies simulées. Thèse Univ. Orléans, Géologie Appliquée, 266 p.
- Casenave A., Valentin C., 1989 - Les états de surface du sol dans la zone sahéenne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM Paris, 229 p.
- Chevallier P., 1983 - L'indice des précipitations antérieures. Cah. ORSTOM Hydrol., 20, 3 : 179-189.
- Collinet J., Valentin C., 1979 - Analyse des facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives : applications agronomiques. Cah. ORSTOM Pédol., 17, 4 : 285-328.

- Cosandey Cl., 1983 - Recherches sur le bilan de l'eau dans l'ouest du Massif Armoricain. Thèse Doct. Etat. Paris, Inst. Géogr., 515 p.
- Cosandey Cl, Boudjemline D., Roose E., Lelong F., 1990 - Etude expérimentale du ruissellement sur des sols à végétation contrastée du Mont Lozère (France). Z. Geomorphology, NF, 39, 1 : 61-73.
- Elwell H.A., Stocking M.A., 1976 - Vegetal cover to estimate soil erosion hazard in Rhodesia. Geoderma, 15 : 61-70.
- Escadafal R., Mtimet A., Asseline J., 1986 - Etude expérimentale de la dynamique superficielle d'un sol aride (Bir Lahmar, Tunisie). Rapport ORSTOM Tunis, 31 p.
- Horton R., 1940 - An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 5 : 399-417.
- Kohler M.A., Linsley R.K., 1951 - Predicting the runoff from storm rainfall. U.S. Weather Bureau, Res. Paper n° 34.
- Lafforgue A., 1977 - Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodologique des données obtenues sous pluies simulées. Cah. ORSTOM Hydrol., 14, 4 : 299-343.
- Lelong F., Roose E., Darthout E., Trévisan D., 1993 - Susceptibilité au ruissellement et à l'érosion en nappe de divers types texturaux de sols cultivés du territoire français. Science du Sol, 31, 4 : 251-280.
- Rafiringa A., 1983 - Recherche des causes des différences d'écoulement entre deux bassins versants contigus et semblables : aspects hydrogéologiques (B.V. Puisseaux à St Hilaire et du Vernisson à Nogent). Thèse Doct. Univ. Orléans, 176 p.
- Raheliarisoa M.A., 1986 - Influence des techniques culturales sur le comportement hydrodynamique et la susceptibilité à l'érosion de sols limoneux et sableux. Thèse Doct. Univ. Orléans, 186 p.
- 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 docteur-ingénieur Abidjan, 125 p.
- Roose E., Asseline J., 1978 - Mesure des phénomènes d'érosion sous pluies simulées aux parcelles d'érosion d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire). Cah. ORSTOM Pédol., 16, 1 : 43-72.
- Roose E., Cavalié J., 1988 - New strategy of water management and soil conservation. Application in France and Burkina Faso. ISCO 5, Bangkok : 913-924. Edit. Rimwanich.
- Roose E., Blancaneaux P., Freitas P., 1993 - Un test simple pour observer l'infiltration et la dynamique de l'eau dans les horizons du sol. Cah. ORSTOM Pédol., 28, 2 : sous presse.
- Roose E., 1994 - Introduction à la GCES. Cah. Pédologique FAO n° 70, 420 p. Rome.
- Trévisan D., 1986 - Comportement hydrique et susceptibilité à l'érosion de sols limoneux cultivés sous pluies simulées. Thèse Doct. Univ. Orléans, 171 p.
- Wischmeier W.H., Smith D.D., 1978 - Predicting rainfall erosion. A guide to conservation planning. USDA-ARS, Agriculture Handbook n° 537, 58 p.