

La stabilité de l'agrégation, un indicateur de la sensibilité des sols au ruissellement et à l'érosion : validation à plusieurs échelles

Bernard Barthès, Éric Roose

L'érosion hydrique est un phénomène de dégradation des sols qui affecte de larges surfaces, en particulier dans les zones intertropicales et méditerranéennes. Ce phénomène est la combinaison d'un détachement et d'un transport de particules par les gouttes de pluie et les eaux de ruissellement [1]. Les principaux mécanismes de détachement sont la désagrégation, par éclatement, fissuration ou dispersion, et l'arrachement par les gouttes de pluie et les eaux de ruissellement [2]. L'éclatement résulte de la pression de l'air piégé dans les agrégats secs brutalement humectés [3, 4] ; la fissuration résulte de gonflements et retraits différentiels lors de cycles d'humectation-dessiccation, et la dispersion, de la diminution des forces de cohésion entre particules colloïdales humectées [5]. Les mécanismes d'arrachement ainsi que les processus de transport dépendent largement de l'énergie cinétique des gouttes de pluie et des eaux de ruissellement [2]. Sur les pentes courtes, le ruissellement reste diffus et s'accompagne d'une éro-

sion en nappe ; sur les pentes plus longues, le ruissellement se concentre et s'accompagne d'une érosion linéaire, avec creusement de rigoles pouvant évoluer en ravines [6].

Les méthodes fiables, permettant d'évaluer la sensibilité des sols en place au ruissellement et à l'érosion, sont généralement coûteuses. Les quantités d'eau ruisselée et de terre érodée durant une pluie ou une séquence de pluies peuvent être évaluées à différentes échelles : bassin versant ($> 10^4 \text{ m}^2$), parcelle (10 à 10^4 m^2) ou microparcelle ($< 10 \text{ m}^2$) [7, 8]. La topographie, les sols et la végétation sont rarement homogènes au sein d'un bassin versant ; aussi, les mesures réalisées à leur exutoire sont des bilans, ne permettant pas de distinguer les contributions de sous-unités aux comportements différents [9]. Les parcelles d'érosion peuvent être installées en conditions de milieu homogènes, et leur longueur est généralement suffisante pour permettre la concentration du ruissellement. Mais l'évaluation des quantités ruisselées et érodées, tant à l'échelle de la parcelle d'érosion que du bassin versant, nécessite des suivis réguliers, et ceux-ci sont coûteux en personnel ou en appareillages sophistiqués. Les investigations sur microparcelles ne permettent pas une estimation satisfaisante des pertes en terre, car leur faible longueur limite la vitesse et la concentration du ruissellement [9] ; de plus, elles nécessitent un appareillage relativement coûteux lorsque les mesures sont réalisées sous pluies simulées.

La sensibilité du sol à l'érosion peut également être estimée par des tests de laboratoire réalisés sur de petits échantillons de sol ($< 100 \text{ g}$), en particulier des tests de stabilité structurale ou stabilité des agrégats. Ces tests isolent un ou quelques mécanismes élémentaires caractérisant le phénomène étudié, et sont de mise en œuvre souvent aisée et relativement peu coûteuse. La représentativité de ces tests est souvent appréciée en comparant leurs résultats avec les ruissellements et pertes en terre mesurés sous pluies simulées au laboratoire [10-14]. Cette référence au comportement d'un échantillon tamisé, pour évaluer la sensibilité à l'érosion du sol en place, limite toutefois la validation des tests proposés.

L'objectif de notre travail est d'élargir la validation de la mesure de stabilité structurale de l'horizon superficiel comme méthode d'évaluation de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique. Pour cela, les résultats d'un test de stabilité des agrégats de la couche 0-10 cm sont comparés à des évaluations du ruissellement et de l'érosion de différents sols en place, à différents niveaux : en microparcelles (1 m^2) sous pluies simulées, pour un régosol de l'Aveyron, dans le sud de la France, de manière quantitative ; en parcelles d'érosion (100 à 800 m^2) sous pluies naturelles, pour différents sols du Bénin, du Cameroun et du Mexique, de manière quantitative également ; sur versants d'un vignoble de l'Aude, dans le Sud de la France, de manière semi-quantitative.

B. Barthès, É. Roose : Institut de recherche pour le développement (IRD, anciennement Orstom), 911, avenue Agropolis, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1, France.
<Bernard.Barthes@mpl.ird.fr>

Tirés à part : B. Barthès

Thèmes : Sciences du sol.

Fonds Documentaire IRD



010025742

Cahiers Agricultures 2001 ; 10 : 185-93

185

Fonds Documentaire IRD

Cote : Bx25742 Ex : 1

Matériel et méthode

Les principales caractéristiques des sites étudiés sont présentées dans le *tableau*.

Simulation de pluie sur microparcelles dans l'Aveyron [15, 16]

Des tests de simulation de pluie sont réalisés sur un dispositif agronomique installé à Montlaur (43° 53' N ; 2° 49' E), dans l'Aveyron, au sud de la France. Le climat est méditerranéen, avec des influences continentales et océaniques. La pluviosité annuelle moyenne est d'environ 800 mm.an⁻¹, la tempéra-

ture annuelle moyenne d'environ 12 °C. Le site expérimental est à 400 m d'altitude, sur une pente de 5 à 12 %. Le sol, développé sur grès, schistes et pélites, est peu profond (< 50 cm) et peu évolué (régosol), limono-argilo-sableux avec une charge variable en éléments grossiers (jusqu'à 15 %). Le dispositif agronomique comprend sept parcelles de 162 m² chacune, auparavant sous prairie artificielle, portant chacune un traitement : labour à plat, labour dressé et travail superficiel, avec apport d'engrais minéral ou de fumier, et semis direct avec fumier. Les labours sont réalisés à la charrue, à socs, l'écartement réglable des socs permettant de retourner le sol à moitié (labour dressé) ou complètement

(labour à plat). Le travail superficiel est réalisé au vibroculteur. Ces travaux sont complétés par un affinage puis, après semis, par le passage d'un rouleau lourd. Le semis direct comporte un épandage d'herbicide, mais aucun travail du sol. Les mesures et prélèvements sont réalisés dix semaines après le semis d'une avoine de printemps.

La simulation de pluie est réalisée avec un appareil mis au point par l'Orstom [17]. Les gouttes sont produites par un gicleur installé sur une tour à 4 m de hauteur ; elles arrosent une microparcelle de 1 x 1 m délimitée par un cadre enfoncé dans le sol, comportant un exutoire pour collecter les eaux de ruissellement. Une pluie de 60 mm.h⁻¹ est

Tableau

Principales caractéristiques des sites étudiés

Situation	Échelle	Climat, pluviosité et température annuelles moyennes	Altitude	Substrat géologique	Type de sol (FAO) et texture de surface	Type de cultures et modalités agronomiques
Montlaur (Aveyron) Sud France 43° 53' N, 2° 49' E	Micro-parcelles 1 m ²	Méditerranéen (influences continentale et océanique) 800 mm et 12 °C	400 m	Schiste, pélites	Dystric Regosol, env. 30 % argile et 30 % sable	Avoine fourragère, quatre types de travail du sol (mécanisé), deux types d'apports
Agonkanmey Sud Bénin 6° 24' N, 2° 20' E	Parcelles 240 m ²	Tropical subhumide à deux saisons des pluies 1 200 mm et 27 °C	20 m	Grès	Dystric Nitosol, 10-20 % argile et 70-80 % sable	Maïs avec ou sans engrais, avec ou sans légumineuse associée (culture manuelle)
Mbissiri Nord Cameroun 8° 23' N, 14° 33' E	Parcelles 100 m ²	Tropical subhumide à une saison des pluies 1 300 mm et 26 °C	370 m	Grès ferrugineux	Orthic Ferralsol, 5-10 % argile et 80-90 % sable	Savane et rotation coton-maïs, sur défriche ancienne ou récente, avec ou sans labour (mécanisé)
San Miguel Tlaixpan Centre Mexique 19° 30' N, 98° 48' O	Parcelles env. 800 m ²	Tempéré subhumide à saison sèche marquée 700 mm et 13 °C	2 600 m	Tuf	Eutric Regosol, 25-30 % argile et 30-40 % sable	Céréales pures ou associées aux légumineuses, deux types de sous-solage, d'affinage et d'apports
Hassakeh Nord-Est Syrie 36° 30' N, 40° 30' E	Parcelles env. 40 m ²	Méditerranéen semi-aride 300 mm et 16 °C	500 à 800 m	Calcaire, marne, dolomite	Calcaric Regosol, Calcic Cambisol, 40-45 % argile et 15-25 % sable	Végétation herbacée et arbustive spontanée, pâturée ou protégée, et une jachère travaillée
Limoux (Aude) Sud France 43° 04' N, 2° 12' E	Versants 1 à 20 ha	Méditerranéen (influences montagnarde et océanique) 600-800 mm et 13-14 °C	100 à 400 m	Molasses, grès, poudingues, conglomérats, calcaires, marnes	Cambisols et Regosols, textures très diverses	Vigne, garrigue, friches

Main characteristics of the experimental situations

appliquée sur chaque parcelle expérimentale, débutant sur sol sec et se poursuivant jusqu'au régime de ruissellement permanent. Avant la pluie, la végétation de la microparcelle est arrachée et le sol est travaillé à la houe jusqu'à 15 cm de profondeur, afin d'obtenir une rugosité comparable pour tous les traitements. L'intensité du ruissellement (mm.h^{-1}) et le débit solide ($\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$) sont mesurés au moyen de prélèvements réguliers de l'eau ruisselée ; le cumul des intensités de ruissellement et des débits solides permet de calculer respectivement la lame ruisselée (mm) et la perte en terre (g.m^{-2}) pour une durée déterminée. Des échantillons de sol non perturbé sont prélevés à proximité de chaque microparcelle, à 0-10 cm de profondeur.

Parcelles d'érosion sous pluies naturelles au Bénin, au Cameroun, au Mexique [18] et en Syrie [19]

Des parcelles d'érosion sont installées à Agonkanmey, au sud du Bénin ($6^{\circ} 24' \text{ N}$, $2^{\circ} 20' \text{ E}$), à Mbissiri, dans le Nord du Cameroun ($8^{\circ} 23' \text{ N}$, $14^{\circ} 33' \text{ E}$), et à San Miguel Tlaixpan, au Mexique central ($19^{\circ} 30' \text{ N}$, $98^{\circ} 48' \text{ O}$). Le climat d'Agonkanmey (Bénin) est tropical subhumide à deux saisons des pluies ; la pluviosité annuelle moyenne est d'environ 1 200 mm et la température annuelle moyenne de 27° C . Le dispositif expérimental est installé en bordure de plateau, à 20 m d'altitude et sur une pente de 4 % environ, sur un sol ferrallitique argilo-sableux à horizon superficiel sableux. Chacune des quatre parcelles étudiées couvre $30 \times 8 \text{ m}$ et porte un traitement : culture pure de maïs sans apport ou avec apport d'engrais minéral ; association maïs-légumineuse rampante chaque année ou une année sur deux, avec maïs seul la seconde année, sans apport ; dans tous les cas, le travail du sol est manuel et superficiel. Durant les trois années étudiées, la pluviosité est respectivement de 1 000, 1 126 et 1 558 mm. Un indice d'érosivité des pluies est calculé en additionnant pour chaque année les produits de l'énergie cinétique de chaque pluie par son intensité maximale en 30 min [20] ; pour permettre la comparaison avec les données de la littérature, cet indice est exprimé en unités américaines, c'est-à-dire en centaines de tonnes-pied par acre \times pouces par heure – il peut être converti

en $\text{MJ.mm}.\text{(ha.h)}^{-1}$ après multiplication par 17,35 – ; il atteint 505, 563 et 779 unités américaines en 1995, 1996 et 1997, respectivement, soit une moyenne de 616.

Le climat de Mbissiri (Cameroun) est tropical subhumide à une saison des pluies ; la pluviosité annuelle moyenne est d'environ 1 300 mm et la température annuelle moyenne de 26° C . Les parcelles expérimentales sont installées sur un long glacis, à 370 m d'altitude environ, sur un sol ferrugineux tropical sableux. Chacune des cinq parcelles étudiées couvre $20 \times 5 \text{ m}$ et porte un traitement : savane (pente 1 %) ; culture mécanisée (charrue à socs) sur vieille défriche, avec apport d'engrais minéral, avec ou sans restitution des résidus (pente 2,5 %) ; culture mécanisée (charrue à socs) ou semis direct sur défriche récente, avec apport d'engrais minéral (pente 2 %). Les parcelles cultivées sont semées en maïs la première et la troisième année, en coton la deuxième et la quatrième année, et sont billonnées dans le sens de la pente. Notre étude porte sur les deuxième, troisième et quatrième années, durant lesquelles la pluviosité atteint respectivement 1 511, 1 072 et 1 353 mm, et l'indice d'érosivité des pluies, 785, 496 et 433 unités américaines, soit une moyenne de 571.

Le climat de San Miguel Tlaixpan (Mexique) est tempéré subhumide à une saison des pluies, avec une saison sèche marquée ; la pluviosité annuelle moyenne est d'environ 700 mm et la température annuelle moyenne de 13° C . Le dispositif expérimental est installé à 2 600 m d'altitude, sur une pente naturelle d'environ 10 %. Les sols sont des régosols limoneux, résultant de l'ameublissement mécanique d'un horizon induré affleurant d'origine volcanique (tuf), appelé « tepetate ». Lors de l'installation du dispositif, la mise en valeur du tepetate comprend un sous-solage profond, la formation de terrasses, un labour à la charrue à socs puis un affinage. Chacune des cinq parcelles étudiées couvre environ $40 \times 20 \text{ m}$ et porte un traitement : pour les trois années étudiées, le témoin comporte la succession culturale orge-vesce, maïs-fève-haricot, maïs-fève, avec apport annuel d'engrais minéral (pente 4,4 %) ; chacune des autres parcelles diffère soit par un affinage plus poussé (pente 2,5 %), soit par un sous-solage initial plus profond (pente 4,7 %), soit par le remplacement de l'engrais par le

fumier (pente 3,4 %), soit par la succession orge, maïs, maïs (pente 3,2 %). Durant les trois années étudiées, qui suivent la mise en valeur, la pluviosité atteint respectivement 411, 736 et 768 mm, et l'indice d'érosivité des pluies, 55, 124 et 113 unités américaines, soit une moyenne de 97.

Chacune des parcelles des trois sites est délimitée sur trois côtés par des tôles enfoncées dans le sol, et à l'aval par un canal ; celui-ci draine les eaux de ruissellement et les sédiments vers des cuves en série. Le volume ruisselé est évalué après chaque épisode pluvieux en additionnant les volumes d'eau de chaque cuve, pondérés en fonction des partiteurs d'alimentation. Ce volume est rapporté à la surface de la parcelle pour calculer la hauteur de la lame ruisselée, elle-même rapportée à la hauteur de pluie pour calculer le taux de ruissellement ; le rapport entre les hauteurs totales de la lame ruisselée et de la pluie sur les trois années de suivi est appelé ruissellement annuel moyen (mm.mm^{-1}). Les sédiments grossiers sont recueillis au fond de la première cuve et pesés humides ; leur poids sec est déterminé après séchage de l'ensemble ou d'aliquotes, ou sur la base de courbes d'étalonnage dressées en pesant des volumes croissants de sol sec dans un seau rempli d'eau (les différentes méthodes sont supposées fournir des résultats équivalents). Le poids des sédiments en suspension est évalué après floculation éventuelle et séchage d'aliquotes prélevées dans les cuves. La perte en terre annuelle est la somme sur une année des poids secs de sédiments grossiers et en suspension ; la moyenne des pertes en terre annuelles sur les trois années de suivi est appelée érosion annuelle moyenne ($\text{Mg.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$). Par ailleurs, un échantillon composite de sol est réalisé sur chaque parcelle à 0-10 cm de profondeur, après les suivis.

Les résultats obtenus par Shinjo *et al.* [19] sur six parcelles d'érosion situées dans le nord-est montagneux de la Syrie ($36^{\circ} 30' \text{ N}$, $40^{\circ} 30' \text{ E}$) sont intégrés à notre jeu de données. Le site est caractérisé par un climat méditerranéen semi-aride, avec une pluviosité et une température annuelles moyennes d'environ 300 mm et 16° C , respectivement, et, pour les deux années étudiées, un indice moyen d'érosivité des pluies de 12,4 unités américaines. Les parcelles expérimentales sont installées entre 500 et 800 m d'altitude, sur des pentes de 3 à 19 % avec des sols argileux peu développés (régosols, sols bruns) sur

divers substrats carbonatés. Portant une végétation herbacée et arbustive spontanée (les arbustes couvrent 0 à 25 % du sol), elles sont soit pâturées extensivement, soit protégées, l'une d'entre elles étant une jachère travaillée. Elles couvrent chacune 21 x 1,8 m et sont équipées et suivies de manière comparable aux parcelles décrites ci-dessus.

Évaluation semi-quantitative de l'érosion sur versants dans l'Aude [21]

Le vignoble de Limoux (43° 04' N ; 2° 12' E) est situé dans une zone fortement vallonnée du piémont pyrénéen, dans l'Aude, au sud de la France. Le climat est méditerranéen, avec des influences localement océaniques ou montagnardes. La pluviosité annuelle moyenne varie de 600 à 800 mm.an⁻¹ et la température annuelle moyenne est de 13 à 14 °C selon les situations. Les altitudes sont comprises entre 100 et 400 m, et les pentes atteignent fréquemment 20 % sous culture. Les sols sont développés sur molasses, poudingues, conglomérats, grès, marnes et calcaires ; selon la situation topographique et le matériau d'origine, ils ont des caractéristiques variables, avec des textures variant de sableuse à argileuse.

Huit versants, couvrant chacun plusieurs hectares, sont étudiés. Chaque versant est divisé en segments fonctionnels homogènes du point de vue de la pente (forme, déclivité), du sol (couleur, texture et pierrosité de surface) et du sous-sol, caractérisés succinctement au champ. Le mode d'occupation du sol, le sens de plantation de la vigne et la présence d'aménagements éventuels (fossé, bande enherbée, etc.) sont également relevés. Sur chaque segment fonctionnel, la fréquence de signes d'érosion est évaluée semi-quantitativement sur trois transects de 10 m de longueur, perpendiculaires à la pente principale. Ces signes sont les suivants : croûte (a₁), cailloux dégagés sur le sol (a₂), micro-demoiselles coiffées (a₃), micro-falaises (a₄), qui caractérisent l'érosion en nappe ; incisions profondes de moins de 10 cm (b), de 10 à 30 cm (c), de plus de 30 cm (d), qui caractérisent l'érosion linéaire. La fréquence de ces signes d'érosion est notée fréq(x), avec des valeurs comprises entre 0 (absence) et 4 (omniprésence). On définit l'indice d'érosion comme suit :

$$\text{Indice d'érosion} = \text{fréq}(a_1) + \text{fréq}(a_2) + \text{fréq}(a_3) + \text{fréq}(a_4) + 2\text{fréq}(b) + 3\text{fréq}(c) + 4\text{fréq}(d).$$

Les indices calculés par transect sont moyennés par segment fonctionnel (trois transects par segment). Chaque versant étudié comporte un à cinq segments fonctionnels, soit 23 segments au total. Du fait de travaux du sol réalisés peu de temps avant les observations sur certaines parcelles, et ayant effacé une partie des signes d'érosion, l'indice d'érosion n'est calculé que pour 17 segments. Par ailleurs, des échantillons composites de sol sont réalisés sur chaque segment à partir de prélèvements à 0-10 cm de profondeur.

Analyses au laboratoire : stabilité de l'agrégation et carbone

Les échantillons de sol sont séchés à l'air et tamisés à 2 mm. La stabilité de l'agrégation est étudiée au moyen d'un test dérivé de celui proposé par Kemper et Rosenau [22] ; les principales étapes du test sont présentées schématiquement à la figure 1. Ce test consiste à immerger 4 g d'échantillon dans l'eau déminéralisée, puis à les tamiser à 0,2 mm dans cette eau. Ces opérations sont réalisées au moyens de tamis et d'un appareillage

adapté, réalisés d'après les plans de Kemper et Rosenau [22]. Les tamis sont des tubes cylindriques en acier inoxydable (hauteur 12,5 cm, diamètre 4,5 cm) ouverts au sommet et fermés à la base par une grille à maille carrée d'écartement 0,2 mm. L'appareil d'agitation comprend un plateau supérieur mobile percé d'orifices pour recevoir huit tamis et un plateau inférieur fixe recevant un béccher sous chaque tamis ; un moteur permet d'animer le plateau supérieur (amplitude 1,3 cm, fréquence 35 cycles.min⁻¹). L'immersion est réalisée en plaçant le plateau supérieur de l'appareil en position basse, ce qui plonge la base des tamis, donc les échantillons, dans l'eau des bécchers ; la durée de cette immersion est de 30 min (Aveyron) ou 120 min (Bénin, Cameroun, Mexique, Aude).

Le tamisage est réalisé en mettant le moteur en marche pendant 6 min, ce qui provoque émergences et immersions alternatives de la base des tamis dans l'eau des bécchers. Les tamis sont ensuite portés à l'étuve (105 °C) puis pesés, afin de déterminer la teneur de la fraction supérieure à 0,2 mm. La teneur en sables grossiers (> 0,2 mm) est déterminée avec le même appareillage, en tamisant la fraction supérieure à 0,2 mm dans une solution dispersante (NaOH 0,05 M), le poids des débris végétaux grossiers étant négligé. La teneur en macroagrégats stables (> 0,2 mm), notée Macroagr1, est définie comme suit :

$$\text{Macroagr1} = \text{fraction} > 0,2 \text{ mm} - \text{sables grossiers}$$

La teneur en particules inférieures à 0,02 mm recueillies dans les bécchers après tamisage dans l'eau, notée Microagr1 (elle comprend des microagrégats vrais, des limons fins et des argiles), est déterminée par sédimentation (méthode de la pipette Robinson [23]). La teneur en éléments de taille 0,02-0,2 mm, notée Mesoagr1 (mésagrégats vrais, limons grossiers et sables fins), est aussi calculée par différence :

$$\text{Mesoagr1} = 1000 - \text{sables grossiers} - \text{Macroagr1} - \text{Microagr1}$$

Les fractions supérieure à 0,2 mm, sables grossiers, Macroagr1, Mesoagr1 et Microagr1 sont exprimés en g.kg⁻¹ de sol dispersé inférieure à 2 mm. Les différentes fractions sont également exprimées en proportion du sol sans sables grossiers :

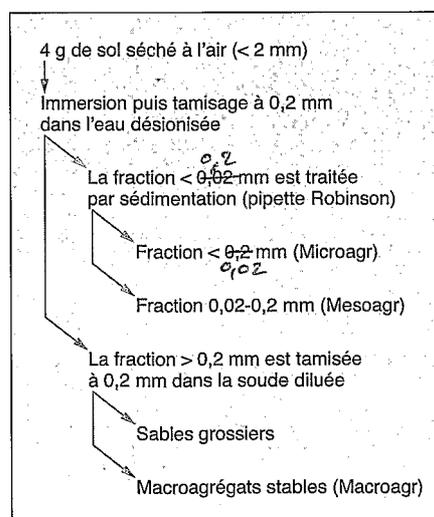


Figure 1. Description schématique du test de stabilité structurale.

Figure 1. Schematic description of the test of aggregate stability.

$$\text{Macroagr2} = \frac{1\,000 \text{ Macroagr1}}{1\,000 - \text{sables grossiers}}$$

$$\text{Mesoagr2} = \frac{1\,000 \text{ Mesoagr1}}{1\,000 - \text{sables grossiers}}$$

$$\text{Microagr2} = \frac{1\,000 \text{ Microagr1}}{1\,000 - \text{sables grossiers}}$$

avec $\text{Macroagr2} + \text{Mesoagr2} + \text{Microagr2} = 1\,000 \text{ g.kg}^{-1}$ de sol dispersé inférieur à 0,2 mm. Quatre répétitions sont réalisées pour chaque échantillon.

Dans le cas des échantillons de Syrie, les conditions expérimentales diffèrent de celles présentées ci-dessus sur les points suivants [19] : les échantillons proviennent de l'horizon superficiel, épais de 3 à 11 cm, et seule la fraction de taille comprise entre 1 et 2 mm est testée ; le tamisage suit immédiatement l'immersion, et est relativement énergique (amplitude 5 cm, fréquence 30 cycles.min⁻¹) ; seul est déterminé le taux de macroagrégats stables (> 0,25 mm, taille du tamis utilisé).

La teneur en carbone total C des échantillons d'Aveyron, du Bénin, du Cameroun et du Mexique est déterminée après broyage à 0,2 mm, avec un microanalyseur CHN Leco 600 (extraction par combustion sous courant d'oxygène et dosage par cellule infrarouge).

Résultats

Simulation de pluie sur microparcelles dans l'Aveyron (figure 2)

Sur l'ensemble des sept parcelles étudiées, des corrélations linéaires simples sont relevées entre paramètres de simulation de pluie et paramètres d'agrégation ou teneur en carbone C de la couche de sol 0-10 cm. Ainsi, après 30 min de pluie, la hauteur de la lame ruisselée et la perte en terre sont corrélées significativement à Macroagr2 ($-0,96 < r < -0,90$; $p < 0,01$) et dans une moindre mesure à Macroagr1 ($-0,93 < r < -0,81$; $p < 0,05$). Durant le régime permanent, atteint après 50 à 90 min de pluie, l'intensité du ruissellement est corrélée

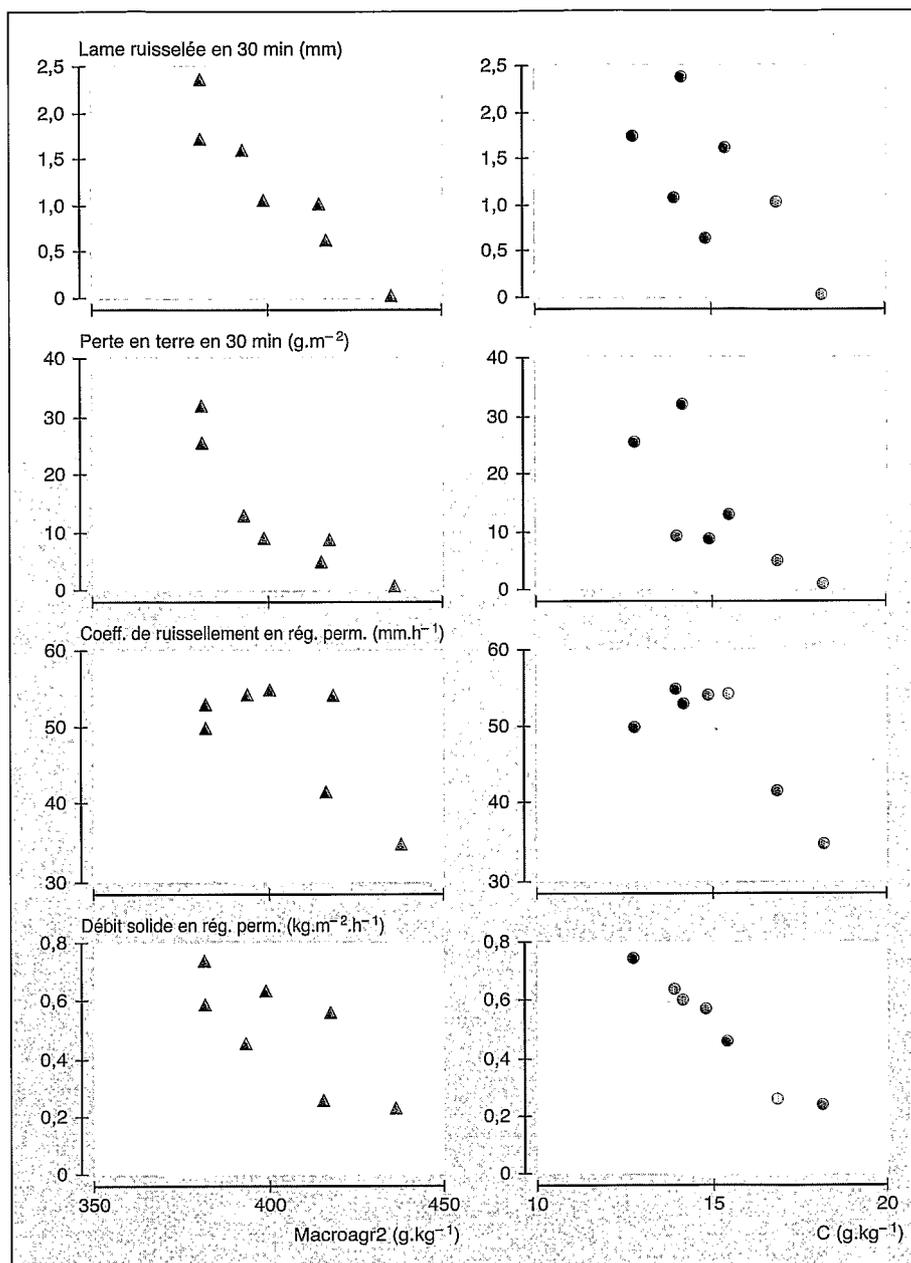


Figure 2. Relations entre ruissellement ou érosion sous pluies simulées et teneur en macroagrégats stables ou en carbone C de la couche de sol 0-10 cm, pour des microparcelles d'Aveyron sous pluies simulées ($\text{Macroagr2} > 0,2 \text{ mm}$, en g.kg^{-1} sol dispersé $< 0,2 \text{ mm}$).

Figure 2. Relationships between runoff depth (mm) or soil loss (g.m^{-2}) in 30 min, steady state runoff intensity (mm.h^{-1}) or sediment loss rate ($\text{kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$), on one hand, and topsoil (0-10 cm) stable macroaggregate content or carbon content C, on the other hand, in microplots under simulated rainfalls in Aveyron ($\text{Macroagr2} > 0.2 \text{ mm}$, in g.kg^{-1} dispersed soil $< 0.2 \text{ mm}$).

significativement au taux de carbone C ($r = -0,795$; $p < 0,05$), et le débit solide est corrélé à C ($r = -0,982$; $p < 0,01$) et à Macroagr2 ($r = -0,775$; $p < 0,05$). Les relations entre le ruissellement ou l'érosion et les autres paramètres d'agrégation sont moins étroites.

Ruissellement et érosion en début de pluie (30 min) sont donc liés étroitement à la stabilité des macroagrégats à 0-10 cm de profondeur. En revanche, ruissellement et érosion en fin de pluie (régime permanent) sont liés principalement au taux de carbone de la couche de sol

0-10 cm et, dans une moindre mesure, à la stabilité des macroagrégats.

Parcelles d'érosion sous pluies naturelles au Bénin, Cameroun, Mexique et Syrie (figure 3)

Les six parcelles de Syrie sont prises en compte uniquement dans les corrélations impliquant Macroagr1 ou Macroagr2, qui sont calculées sur 20 parcelles. Dans les corrélations impliquant d'autres paramètres d'agrégation ou le taux de carbone, non déterminés pour les parcelles de Syrie, le calcul est réalisé sur la population des 14 autres parcelles. Sur l'ensemble des parcelles d'érosion, des corrélations linéaires simples sont relevées entre ruissellement ou perte en terre annuels moyens, d'une part, et paramètres d'agrégation ou taux de carbone C de la couche de sol superficiel, d'autre part. Ruissellement et érosion annuels moyens sont ainsi corrélés signi-

ficativement avec Macroagr1 et Macroagr2 ($-0,73 < r < -0,62$; $p < 0,01$), avec leurs fonctions inverses $1/\text{Macroagr1}$ et $1/\text{Macroagr2}$ ($0,73 < r < 0,84$; $p < 0,01$), avec Mesoagr2 ($0,68 < r < 0,73$; $p < 0,01$), mais non avec les autres paramètres d'agrégation ou C ($|r| < 0,5$; $p > 0,05$).

Les corrélations linéaires multiples entre, d'une part, ruissellement ou érosion annuels moyens et, d'autre part, pente, indice d'érosivité moyen et paramètres d'agrégation sont plus étroites que celles prenant uniquement en compte les paramètres d'agrégation. Ainsi, le ruissellement annuel moyen est corrélé significativement avec la pente, l'indice d'érosivité et Macroagr2, $1/\text{Macroagr1}$, $1/\text{Macroagr2}$, Mesoagr1, Mesoagr2, Microagr1 ou Microagr2 ($0,84 < |R| < 0,92$; $p < 0,01$). De la même manière, l'érosion annuelle moyenne est corrélée significativement avec la pente, l'indice d'érosivité et Macroagr2, $1/\text{Macroagr1}$, $1/\text{Macroagr2}$, Mesoagr1 ou Mesoagr2 ($0,82 < |R| < 0,94$; $p < 0,01$).

On relève également des corrélations significatives entre, d'une part, le ruissellement ou l'érosion annuels moyens et, d'autre part, le produit entre un des paramètres d'agrégation (ou C) et un facteur noté PentePluie, avec $\text{PentePluie} = \text{pente} (\%) \times \text{indice d'érosivité moyen des pluies (unités américaines)}$. Ainsi, le ruissellement et l'érosion annuels moyens sont corrélés significativement au produit de PentePluie par $1/\text{Macroagr2}$, Mesoagr1, Microagr1, Microagr2 ou $1/C$ ($0,81 < r < 0,93$; $p < 0,01$).

Le ruissellement et la perte en terre annuels moyens sont donc liés étroitement aux paramètres d'agrégation de la couche de sol superficiel, en particulier au taux de macroagrégats stables. Les relations sont améliorées en considérant la pente de la parcelle et l'agressivité climatique en plus de la stabilité de l'agrégation.

Évaluation semi-quantitative de l'érosion sur versants dans l'Aude (figure 4)

Sur la population des 17 segments fonctionnels sur lesquels l'intensité des signes d'érosion est caractérisée semi-quantitativement, des corrélations linéaires simples sont relevées entre l'indice d'érosion et Macroagr1 ($r = -0,634$; $p < 0,01$) ou Macroagr2 ($r = -0,584$; $p < 0,05$) de la couche de sol 0-10 cm (les autres paramètres d'agrégation ne sont pas déterminés).

Des pratiques et des aménagements conservatoires, susceptibles de limiter le ruissellement et l'érosion, sont relevés sur six de ces 17 segments; il s'agit notamment de fossés et de chemins enherbés ou en contre-pente, et de plantation perpendiculaire à la pente. La relation entre intensité des signes d'érosion et stabilité de l'agrégation est plus étroite sur la population des 11 autres segments fonctionnels, où aucun aménagement ou pratique conservatoire n'est relevé, que sur la population totale des 17 segments; sur ces 11 segments, en effet, l'indice d'érosion est très étroitement corrélé à Macroagr1 et Macroagr2 ($r = -0,837$ et $r = -0,925$, respectivement; $p < 0,01$).

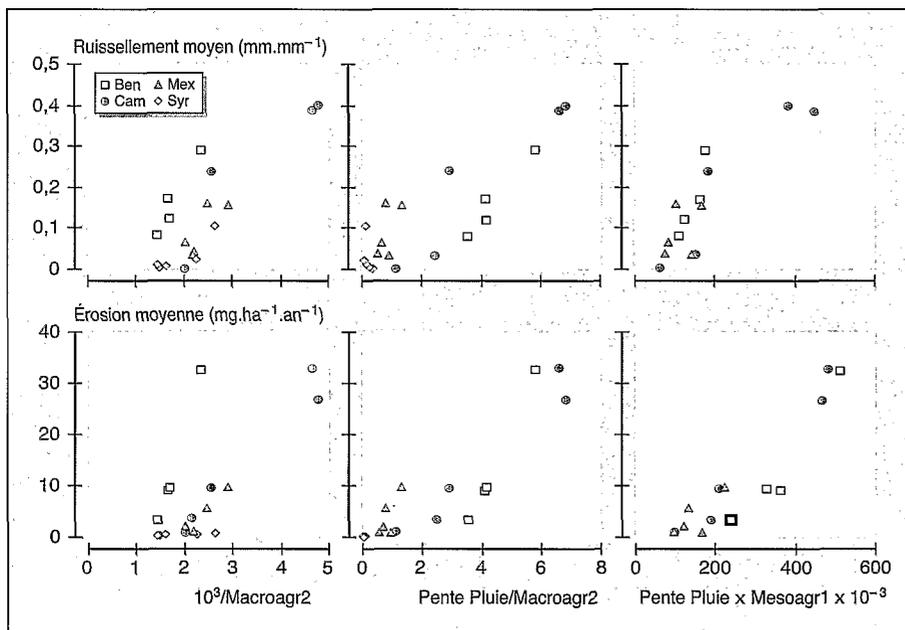


Figure 3. Relations entre ruissellement ou perte en terre annuels moyens, d'une part, et stabilité de l'agrégation (0-10 cm) et facteur PentePluie (produit de la pente, en %, par l'indice d'érosivité moyen des pluies, en unités américaines), pour des parcelles d'érosion du Bénin, du Cameroun, du Mexique et de Syrie (Macroagr2 > 0,2 mm, en g.kg⁻¹ sol dispersé < 0,2 mm, sauf Syrie : Macroagr2 > 0,25 mm, en g.kg⁻¹ sol 1-2 mm; 0,02 < Mesoagr1 < 0,2 mm et Microagr1 < 0,02 mm, en g.kg⁻¹ sol dispersé < 2 mm, non déterminés pour la Syrie).

Figure 3. Relationships between mean annual runoff rate (mm.mm⁻¹) or soil losses (Mg.ha⁻¹.yr⁻¹), and water-stable aggregation in the 0-10 cm soil layer and PentePluie factor (product of the slope angle, in %, and the mean rainfall erosion index, in American units), in runoff plots located in Benin, Cameroon, Mexico and Syria (Macroagr2 > 0.2 mm, in g.kg⁻¹ dispersed soil < 0.2 mm, except for Syria : Macroagr2 > 0.25 mm, in g.kg⁻¹ soil 1-2 mm; 0.02 < Mesoagr1 < 0.2 mm and Microagr1 < 0.02 mm, in g.kg⁻¹ dispersed soil < 2 mm, not determined in Syria).

Discussion

De nombreux travaux rapportent des corrélations entre ruissellement ou perte

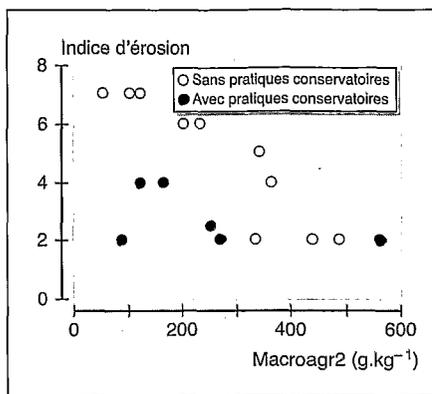


Figure 4. Relation entre indice semi-quantitatif d'érosion sous vigne dans l'Aude (Limoux) et taux de macroagrégats stables de la couche de sol 0-10 cm, avec ou sans pratiques conservatoires (Macroagr2 > 0,2 mm, en g.kg⁻¹ sol dispersé < 0,2 mm).

Figure 4. Relationship between semi-quantitative erosion index in Aude vineyards (south of France) and topsoil (0-10 cm) stable macroaggregate content, with or without land conservation practices (Macroagr2 > 0.2 mm, in g.kg⁻¹ dispersed soil < 0.2 mm).

en terre lors de pluies simulées au laboratoire sur sol tamisé sec, d'une part, et stabilité des agrégats d'échantillons de surface immergés dans l'eau, d'autre part [10-14]. Mais ces résultats ne permettent pas de conclure de manière définitive sur la pertinence de la mesure de la stabilité de l'agrégation pour évaluer la sensibilité des sols à l'érosion. En effet, le comportement d'échantillons tamisés sous pluie simulée au laboratoire, considéré comme référence dans ces travaux, n'est pas toujours représentatif du comportement des sols en place.

Les relations entre stabilité de l'agrégation et ruissellement ou érosion mesurés au champ sont moins fréquemment étudiées. Plusieurs résultats de ce type sont rapportés pour des expérimentations sous pluies simulées et sur microparcelles : une liaison entre hauteur de la lame ruisselée en 60 min et stabilité de l'agrégation de l'horizon de surface est mise en évidence sur microparcelles de 0,25 m², sur Oxisols nus au Brésil [24] ; une corrélation entre hauteur de la pluie d'imbibition (nécessaire au déclenchement du ruissellement) et stabilité de l'agrégation de l'horizon de surface est établie sur

microparcelles de 1 m², sur sols ferrallitiques et ferrugineux nus en Côte d'Ivoire [25]. Mais la faible longueur de telles microparcelles limite la vitesse et la concentration du ruissellement et conduit à une sous-estimation des pertes en terre [9]. Par ailleurs, ces résultats concernent un petit nombre de types de sol.

Les travaux signalant des relations entre stabilité de l'agrégation et ruissellement ou érosion mesurés sur des parcelles de plus grande taille sont rares. Une relation entre perte en terre annuelle et stabilité des agrégats est notamment établie en parcelles d'érosion de 260 m², sur sols ferrallitiques en Centrafrique [26].

Les résultats que nous présentons comportent une évaluation de la sensibilité au ruissellement et à l'érosion pour différents types de sols en place (divers régosols, sol ferrallitique, sol ferrugineux tropical, divers sols méditerranéens calcaires ou non), à différents niveaux d'investigation (évaluations quantitatives sur 1 m² ou sur 40 à 800 m², évaluation semi-quantitative sur versants de plusieurs hectares). Tous ces résultats mettent en évidence des corrélations entre stabilité des agrégats de l'horizon de surface (0-10 cm) et sensibilité au ruissellement et à l'érosion. Le taux de macroagrégats (> 0,2 mm) stables à l'immersion dans l'eau, en particulier, est corrélé négativement : à la hauteur de la lame ruisselée et à la perte en terre en 30 min sur un régosol de l'Aveyron (France) lors de simulations de pluies sur 1 m² ; au ruissellement et à la perte en terre annuels moyens en parcelles d'érosion sous pluies naturelles, pour un ensemble de sols du Bénin, du Cameroun, du Mexique (et de Syrie) ; à l'intensité des manifestations de l'érosion hydrique sur des versants du vignoble de l'Aude (France). Ces résultats confirment ainsi largement la validité de la mesure de stabilité structurale de l'horizon de surface pour évaluer la sensibilité des sols au ruissellement et à l'érosion. Ils s'expliquent notamment par le fait que la stabilité des macroagrégats s'oppose au détachement de particules facilement transportables, donc au colmatage de la porosité de surface et au ruissellement [5].

Les mécanismes de désagrégation, lors de l'humectation brutale puis du tamisage dans l'eau d'un échantillon de surface sec tamisé à 2 mm, rendent donc compte de manière satisfaisante du ruissellement et de l'érosion au champ, pour la gamme des situations étudiées. L'éclatement est

le principal mécanisme de désagrégation lors de l'humectation brutale de sol sec dans l'eau [2, 5]. D'autres processus que l'éclatement sont en jeu dans la désagrégation, sous l'effet notamment de l'impact des gouttes de pluie ou d'éventuels phénomènes de gonflement-retrait lors de cycles d'humectation-dessiccation ; à cet égard, certains tests de stabilité structurale plus complexes que celui que nous avons utilisé comportent des modalités permettant d'évaluer l'importance de ces différents processus dans la désagrégation, en particulier le test développé par Le Bissonnais [5]. Par ailleurs, d'autres processus que la désagrégation sont en jeu dans l'érosion, notamment l'arrachement et le transport de particules par les gouttes de pluie et le ruissellement. Néanmoins, nos résultats montrent que la sensibilité de l'horizon superficiel à l'éclatement est un indicateur pertinent de la sensibilité du sol au ruissellement et à l'érosion évalués au champ.

La mesure de la stabilité des agrégats est réalisée ici au moyen d'un test simple. Celui-ci porte sur le sol séché à l'air et tamisé à 2 mm, qui est une fraction standard du sol total, dite terre fine ; d'autres tests de stabilité de l'agrégation portent sur des fractions souvent moins usuelles en science du sol, quoique parfois plus représentatives de la structure de l'horizon superficiel [5]. L'immersion dans l'eau déminéralisée est ici le principal traitement désagrégant, simple à mettre en œuvre et pertinent en termes de particules produites [27], même s'il ne permet pas de caractériser la totalité des processus de désagrégation [5]. Le tamisage dans l'eau est réalisé avec une taille de tamis unique (0,2 mm), ce qui simplifie la procédure, et l'agitation est motorisée, ce qui assure une bonne répétabilité de la mesure (coefficients de variation < 10 % en général, ce qui est correct pour une prise de sol de 4 g par répétition). Par ailleurs, la teneur en sables grossiers est déterminée à chaque répétition du test (quatre répétitions par échantillon), et non en moyenne sur l'ensemble de l'échantillon ; ceci permet d'associer une teneur en sables grossiers à chaque détermination de la teneur en fraction supérieure à 0,2 mm, d'où une caractérisation plus précise de la teneur en macroagrégats stables. Enfin, la mise en œuvre d'un tel test de stabilité structurale est peu coûteuse, en comparaison notamment d'autres méthodes de détermination de la sensibilité des sols à l'éro-

sion (simulation de pluie, parcelles d'érosion).

Conclusion

Nos résultats montrent qu'un test simple de stabilité structurale permet une évaluation satisfaisante de la sensibilité des sols au ruissellement et à l'érosion. Le test est réalisé sur des échantillons de sol superficiel (0-10 cm) séchés à l'air et

tamisés à 2 mm, qui constituent un objet d'étude standard en science du sol. Ce test est simple, dans la mesure où il est réalisé sur la terre fine (< 2 mm), comporte un seul type de tamis (0,2 mm) et une immersion unique dans l'eau (laquelle ne permet toutefois pas d'appréhender la totalité des processus de désagrégation, à la différence de certains tests plus complexes) ; par ailleurs, comme pour la plupart des tests de stabilité structurale, sa mise en œuvre ne

nécessite pas de moyens matériels et humains importants.

Les résultats de ce test s'avèrent bien corrélés avec des mesures ou évaluations au champ de la sensibilité du sol au ruissellement et à l'érosion, de mise en œuvre plus complexe ou plus coûteuse, réalisés dans des conditions géographiques et agronomiques variées : mesures des ruissellements et pertes en terre en microparcelles sous pluies simulées ou en parcelles d'érosion sous pluies naturelles ; évaluation semi-quantitative de l'intensité des

Summary

Topsoil aggregate stability, an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion: validation at several scales

B. Barthès, É. Roose

The evaluation of soil susceptibility to runoff and water erosion in the field is often expensive and time-consuming. Several authors have reported relationships between soil erosion susceptibility and aggregate stability, which is easier to assess. Their estimation of this susceptibility is, however, generally based on the behavior of 2 mm-sieved samples, which is not always representative of field-scale phenomena. Our aim was to extend the validity of these relationships between soil aggregation and erosion through comparisons of topsoil aggregate stability and field-assessed susceptibility to runoff and erosion.

This susceptibility was determined at several levels (Table). It was first determined through measurements of runoff and soil loss under simulated rainfalls ($60 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$) on seven microplots (1 m^2), in a southern France Regosol mechanically cropped with spring-oat (treatments involved different kinds of tillage and input). Soil susceptibility to erosion was also determined through three-year measurements of annual runoff and soil loss on runoff plots (100 to 800 m^2) in Benin, Cameroon and Mexico (with additional literature data from Syria). The four Benin plots were located on a sandy clay loam Nitosol, subjected to $1,200 \text{ mm}$ mean annual rainfall and manually cropped with maize (treatments involved different kinds of legume intercropping and input). The five Cameroon plots were located on a loamy sand Ferralsol, subjected to $1,300 \text{ mm}$ mean annual rainfall, and were under savanna or mechanized and fertilized maize-cotton rotation (treatments involved different cultivation durations, kinds of tillage and residue management). The five Mexico plots were located on a mechanically cropped loamy Regosol, subjected to 700 mm mean annual rainfall (treatments involved different kinds of tillage, input and cropping). The six additional Syria plots were located on Regosols and Cambisols, subjected to 300 mm mean annual rainfall, and were mainly under-grazed or protected natural rangeland. Finally, soil erosion susceptibility was determined on hillside vineyards growing on various materials in southern France through the semi-quantitative assessment of the frequency of erosion features under 600 to 800 mm mean annual rainfall. An erosion index was defined as the sum of weighted (from 1 to 4) frequencies (from 0 to 4) of erosion features observed in the field: sedimentation crusts (weight 1), stones resting on the soil surface (id.), small pedestals (id.), microcliffs (id.), relating to sheet erosion, and grooves (weight 2), rills (weight 3) and gullies (weight 4), relating to linear erosion.

Aggregate stability was determined on 0-10 cm soil samples collected within (runoff plots, hillsides) or close to (microplots) areas where soil susceptibility to erosion had been determined (Figure 1). After air-drying and 2 mm-sieving, 4 g-subsamples were rapidly immersed into deionized water, then wet-sieved through a 0.2 mm sieve with an adapted device. The stable macroaggregate fraction ($> 0.2 \text{ mm}$) was calculated as the difference between the fraction $> 0.2 \text{ mm}$ and the coarse material ($> 0.2 \text{ mm}$) content, determined through sieving of the fraction $> 0.2 \text{ mm}$ into dispersive solution. The fraction $< 0.02 \text{ mm}$ was determined by sedimentation of the fraction $< 0.2 \text{ mm}$ (pipette method). The fraction 0.02 - 0.2 mm was calculated by difference. Four replicates were carried out for each sample.

On the southern France Regosol under simulated rainfalls, the runoff depth and soil loss after a 30-min rainfall were significantly correlated with the topsoil content in stable macroaggregates (Figure 2). All runoff plots considered (Benin, Cameroon, Mexico, Syria), the mean annual runoff rate and soil loss were significantly correlated with topsoil aggregate stability, especially stable macroaggregate content. Considering slope gradient and climate aggressivity (rainfall erosivity) in addition to aggregation led to better relationships (Figure 3). On southern France hillsides, the semi-quantitative erosion index was significantly correlated with the topsoil content in stable macroaggregates, especially in the absence of conservation practices (Figure 4).

These results confirm that topsoil water-stable macroaggregation, which is known to prevent detachment of easily transportable particles and thereby soil surface clogging and runoff, is a relevant indicator of field-assessed runoff and erosion. A relatively simple and cheap test of aggregate stability therefore allows a precise assessment of soil susceptibility to runoff and erosion.

Cahiers Agricultures 2001 ; 10 : 185-93.

manifestations de l'érosion sur versants. Ces résultats montrent ainsi que, pour une large gamme de situations, la sensibilité à l'éclatement d'échantillons de sol superficiel sec, éprouvée lors de leur immersion dans l'eau, est un indicateur pertinent de la sensibilité au ruissellement et à l'érosion du sol en place ■

Remerciements

A. Albrecht, J. Asseline, A. Azontonde, B.Z. Boli, G. De Noni, A. Galibert, C. Guichou, C. Guillerm, J.Y. Laurent, J.C. Marcourel, C. Prat et M. Viennot sont remerciés pour leur aide sur le terrain ou au laboratoire ; les deux lecteurs anonymes de l'article sont également remerciés pour les amendements qu'ils ont proposés.

Références

1. Ellison WD. Soil erosion studies – part I. *Agriculture Engineering* 1947 ; 28 : 145-6.
2. Casenave A, Valentin C. *Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration*. Collection Didactiques, Orstom, Paris : 1989 ; 229 p.
3. Yoder RE. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J Am Soc Agron* 1936 ; 28 : 337-51.
4. Hénin S, Monnier G, Combeau A. Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Ann Agron* 1958 ; 9 : 73-92.
5. Le Bissonnais Y, Le Souder C. Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Étude et Gestion des Sols* 1995 ; 2 : 43-56.
6. Roose E. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. *FAO Soils Bull* 1996 ; 70 ; 420 p.
7. Mutchler CK, Murphree CE, McGregor KC. Laboratory and field plots for soil erosion studies. In : Lal R, ed. *Soil erosion research methods*. Ankeny (Iowa, USA) : Soil Water Conserv Soc, 1988 : 9-36.
8. Hudson NW. Field measurement of soil erosion and runoff. *FAO Soils Bull* 1993 ; 68 ; 139 p.
9. Le Bissonnais Y, Benkhadra H, Chaplot V, Fox D, King D, Daroussin J. Crusting, runoff and sheet erosion on silty loamy soils at various scales and upscaling from m² to small catchments. *Soil Till Res* 1998 ; 46 : 69-80.
10. Bryan RB. The development, use and efficiency of indices of soil erodibility. *Geoderma* 1968 ; 2 : 5-26.
11. Luk S. Rainfall erosion of some Alberta soils; a laboratory simulation study. *Catena* 1977 ; 3 : 295-309.
12. Reichert JM, Norton LD. Aggregate stability and rain-impacted sheet erosion of air-dried and prewetted clayey surface soils under intense rain. *Soil Sci* 1994 ; 158 : 159-69.
13. Amézketa E, Singer MJ, Le Bissonnais Y. Testing a new procedure for measuring water-stable aggregation. *Soil Sci Soc Am J* 1996 ; 60 : 888-94.
14. Le Bissonnais Y, Arrouays D. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility. II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *Eur J Soil Sci* 1997 ; 48 : 39-48.
15. Barthès B, Albrecht A, Asseline J, De Noni G, Roose E, Viennot M. Pratiques culturales et érodibilité du sol dans les Rougiers de Camarès (Aveyron, France). *Étude et Gestion des Sols* 1998 ; 5 : 157-70.
16. Barthès B, Albrecht A, Asseline J, De Noni G, Roose E. Relationships between soil erodibility and topsoil aggregate stability or carbon content in a cultivated Mediterranean highland (Aveyron, France). *Commun Soil Sci Plant Anal* 1999 ; 30 : 1929-38.
17. Asseline J, Valentin C. Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cahiers Orstom, sér Hydrol* 1978 ; 15 : 321-49.
18. Barthès B, Azontonde A, Boli BZ, Prat C, Roose E. Field-scale run-off and erosion in relation to topsoil aggregate stability in three tropical regions (Benin, Cameroon, Mexico). *Eur J Soil Sci* 2000 ; 51 : 485-96.
19. Shinjo H, Fujita H, Gintzbuger G, Kosaki T. Impact of grazing and tillage on water erosion in northeastern Syria. *Soil Sci Plant Nutr* 2000 ; 46 : 151-62.
20. Wischmeier WH, Smith DD. Predicting rainfall erosion losses. A guide to erosion planning. *USDA Agriculture Handbook* 1978 ; 537 ; 58 p.
21. Guichou C. *Lutte contre l'érosion dans le vignoble limouxin (Aude)*. Mémoire École nationale supérieure agronomique, Toulouse, France, 1998.
22. Kemper WD, Rosenau RC. Aggregate stability and size distribution. In : Klute A, ed. *Methods of soil analysis, Part 1, Agronomy Monograph*. Madison (Wisconsin, USA) : Am Soc Agron-Soil Sci Soc Am, 1986 ; 9 : 425-42.
23. Rouiller J, Souchier B, Bruckert S, Feller C, Toutain F, Védry JC. Méthodes d'analyses des sols. In : Bonneau M, Souchier B, eds. *Pédologie 2. Constituants et propriétés du sol*. Paris : Masson, 1994 : 619-52.
24. Roth CH, Vieira MJ, Derpsch R, Meyer B, Frede HG. Infiltrability of an Oxisol in Parana,

Résumé

Caractériser la sensibilité à l'érosion hydrique des sols en place est souvent coûteux. Plusieurs travaux rapportent une liaison entre la stabilité structurale, plus simple à mesurer, et la sensibilité du sol à l'érosion ; mais cette sensibilité y est souvent évaluée sur sol tamisé (< 2 mm), dont la représentativité est incertaine. L'objectif de notre travail est de valider plus largement la relation agrégation-érosion, en comparant stabilité des agrégats de l'horizon superficiel et sensibilité au ruissellement et à l'érosion, évaluée au champ, à différents niveaux d'investigation. Nos résultats montrent que le taux de macroagrégats (> 0,2 mm) stables à l'immersion dans l'eau d'échantillons secs tamisés à 2 mm est corrélé négativement : au ruissellement et à la perte en terre sous pluies simulées en microparcelles sur régosol du sud de la France ; aux ruissellement et pertes en terre annuels moyens en parcelles d'érosion au Bénin, Cameroun et Mexique ; à l'intensité des manifestations de l'érosion sur des versants du Sud de la France. Un test simple et peu coûteux de stabilité structurale permet ainsi d'évaluer de manière fiable la sensibilité au ruissellement et à l'érosion, pour différents types de sols en place et à différents niveaux d'investigation.

Brazil, as influenced by different crop rotations. *J Agron Crop Sci* 1987 ; 159 : 186-91.

25. Valentin C, Janeau JL. Les risques de dégradation de la surface des sols en savane humide (Côte d'Ivoire). *Cahiers Orstom, sér Pédol* 1989 ; 25 : 41-52.

26. Quantin P, Combeau A. Relation entre érosion et stabilité structurale du sol. *CR Acad Sci Paris* 1962 ; 254 : 1855-7.

27. Elliott ET. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci Soc Am J* 1986 ; 50 : 627-33.

Instructions aux auteurs

Les *Cahiers d'études et de recherches francophones/Agricultures*, revue bimestrielle, publient des articles originaux et des synthèses sur tous les aspects scientifiques, techniques, économiques, sociaux et organisationnels des activités agricoles au sens large, dans l'ensemble des pays de la francophonie.

La revue publiera régulièrement dans les rubriques suivantes :

- Synthèses réalisés par des spécialistes d'un sujet, faisant le point de manière précise et pédagogique sur la recherche fondamentale ou appliquée en agronomie, élevage, économie, foresterie, filières agro-alimentaires, environnement, vie rurale...

- Études originales : résultats de recherches, comptes rendus d'expériences dans les sciences et leurs applications (biologie, génétique, sol, eau, écologie, sciences de l'ingénieur, socioéconomie...), fondés sur le développement des agricultures au sens large.

- Notes de recherches : observations ponctuelles d'intérêt général ou résultats trop limités pour être publiés comme Étude originale. Les notes situent l'étude dans son contexte, exposent les faits et tirent des conclusions.

- Méthodes et Techniques sur un aspect particulier de la recherche-développement (équipements et produits, évaluation des matériels, organisation et gestion, coopérations...).

- Options : articles d'opinion sur l'environnement (forêts, déchets, eaux...); sur le développement (grands programmes nationaux, régionaux, internationaux de développement et politiques mises en œuvre, notamment dans le cadre des relations Nord-Sud); sur les ressources humaines (témoignages de terrain privilégiant le vécu)...

Les *Cahiers d'études et de recherches francophones/Agricultures* publient également des éditoriaux, des analyses d'ouvrages, des informations et des nouvelles brèves, des annonces et des comptes rendus de colloques, réunions et congrès.

Conditions de publication

Les *Cahiers d'études et de recherches francophones/Agricultures* publient préférentiellement des documents n'ayant pas fait l'objet d'une publication antérieure. Toutefois, un article dont la qualité a une valeur d'exemple peut être accepté, avec l'accord des auteurs et du directeur de la publication d'origine.

Tous les articles sont soumis à l'appréciation de deux lecteurs anonymes. En cas de litige, l'avis d'un troisième lecteur peut être demandé. Les corrections ou modifications sont proposées par le Comité de rédaction aux auteurs. Tous les articles acceptés pour publication bénéficient d'une assistance rédactionnelle en accord avec les auteurs. Les opinions émises sont celles des auteurs : elles n'engagent pas la responsabilité de la Rédaction.

Présentation des manuscrits

Les articles ne devront pas excéder 15 pages dactylographiées à l'exception des synthèses qui peuvent aller jusqu'à 25 pages, double interligne, 25 lignes par page, 60 signes par ligne, au recto seulement.

Les *Cahiers d'études et de recherches francophones/Agricultures* doivent pouvoir être consultés par des lecteurs anglophones et donc présenter des synthèses en anglais ainsi qu'une traduction systématique des légendes des illustrations.

Les manuscrits seront présentés de la manière suivante :

- une page de garde : titre de l'article, rubrique, titre court, titre anglais et références complètes des auteurs (fonction, raison sociale et adresse) ;

- un résumé en français de l'article (15 lignes maximum) ;

- trois à cinq mots-clés réservés à l'indexation ;

- une mini-synthèse en anglais. "Abridged version" de 2 pages dactylographiées faisant référence aux tableaux, figures et photos ;

- le texte, sans illustrations ;

- les illustrations (schémas, tableaux et photographies) accompagnées de légendes détaillées et appelées dans le cours du texte ;

- des références bibliographiques (30 au maximum, 60 pour les synthèses) selon les normes définies ci-dessous ;

- des intertitres courts doivent être proposés ;

- il est souhaitable que les disquettes de traitement de texte (3 pouces 1/2) indiquent le logiciel et le système utilisé (IBM, Macintosh).

Les notes de recherches n'excéderont pas 5 pages, 6 références bibliographiques, 2 illustrations (figure, tableau ou photo) ; un résumé anglais de 10 lignes est indispensable.

Références bibliographiques

Les références bibliographiques seront classées selon leur ordre d'apparition dans le texte où elles seront appelées par leur numéro placé entre crochets. Nommer tous les auteurs lorsqu'il y en a 6 ou moins ; au-delà, indiquer les trois premiers suivis de *et al.*

Les références doivent présenter dans l'ordre :

- *Pour les articles de revues* : Noms des auteurs suivis des initiales de leurs prénoms. Titre de l'article (dans la langue d'origine). Nom de la revue abrégé et en italiques (pas de ponctuation après les abréviations) année ; volume : première-dernière page de l'article.

Exemples : 1. Casse-Delbart F, Tepfer M. Essais en champs : savoir ce que l'on transfère. *Biofutur* 1990 ; 91 : 56-9.

2. Ebert KM, Slegath JP, DiTullio P, et al. Transgenic production of a variant of human tissue-type plasmonogen activator in goat milk : generation of transgenic goats and analysis of expression. *Bio/Technology* 1991 ; 9 : 835-8.

- *Pour les articles de livres* : Même présentation des auteurs. Titre de l'article (dans la langue d'origine). In : noms et initiales des « editors ». Titre du livre en italiques. Ville : nom de l'éditeur, année de publication : première et dernière page de l'article.

Exemple : 3. Lepoivre P, Kummert J. Le diagnostic des maladies parasitaires. In : Semal J, ed. *Traité de Pathologie végétale*. Gembloux : Presses Agronomiques, 1989 : 361-79.

- *Pour les livres* : Même présentation des auteurs. Titre du livre en italiques. Ville : nom de l'éditeur, année de publication ; nombre de pages.

Exemple : 4. Demarly Y, Sibi M. *Amélioration des plantes et biotechnologies*. Paris : John Libbey Eurotext, 1987 ; 35 p.

Illustrations

Les illustrations seront impérativement fournies sur feuilles séparées et légendées de façon détaillée en français et en anglais. Un exemplaire suffit mais le double doit être conservé par les auteurs.

Pour les documents reproduits sans modification, indiquer les références exactes (auteurs de l'ouvrage, éditeur...) afin d'en permettre la demande de reproduction.

Toutes les illustrations placées dans le texte seront numérotées en chiffres arabes (*tableau 1*) (*figure 2*) (*photo 3*) et leur place d'insertion dans le texte doit être indiquée sur le manuscrit. Veuillez indiquer au dos de chaque document : le nom de l'auteur, le numéro de l'illustration.

Manuscrits

Les manuscrits doivent être adressés en trois exemplaires accompagnés d'une disquette à Jean Semal et Didier Spire, Rédacteurs en chef des *Cahiers Agricultures*, Éditions John Libbey Eurotext, 127, avenue de la République, 92120 Montrouge, France.

Tél. : 01 46 73 06 60, Fax : 01 40 84 09 99.

La rédaction remercie les auteurs de leur contribution à la revue.