

Enregistrement scientifique n° : 1239

Symposium n° : 20

Présentation : poster

Determining factors of the erodibility of a cultivated mediterranean highland soil (Aveyron, France)

Déterminants de l'érodibilité d'un sol cultivé de moyenne montagne méditerranéenne (Aveyron, France)

BARTHÈS Bernard, DE NONI Georges, ASSELINE Jean, VIENNOT Marc, ROOSE Éric.

ORSTOM-LCSC. BP 5045. 34032 Montpellier cedex 1, France. barthes@mpl.orstom.fr

In the Rougiers de Camarès area (south of France), hillslopes are very susceptible to hydric erosion. This is the result from weak conditions (steep slopes, soft bedrocks, thin soils), climatic aggressivity (frost, storms), as well as farming systems (intensification of tillage, short crop successions, land consolidation).

The objective of this work was to study the relationships between erodibility, macroaggregate stability and carbon content of surface samples (0-10 cm), in a Rougiers entisol (Udorthent) under various cultural practices (flat or raised moldboard plowing, superficial tillage, direct drilling, with mineral fertilizers or sheep manure). The soil erodibility was assessed by field rainfall simulation (60 mm.h^{-1}) on manually retilled bare dry soil; water-stable macroaggregation ($> 0.2 \text{ mm}$) was assessed by wet-sieving, after immersion in water.

Runoff, turbidity and soil losses (product of runoff into turbidity) were linked to water-stable macroaggregation and carbon content in the 0-10 cm layer. At the beginning of the rain (30 min), runoff and soil losses were closely correlated with water-stable macroaggregation, but not with carbon content (although there was a correlation between water-stable macroaggregation and soil carbon content). At the end of the rain (runoff steady state), turbidity and soil losses were closely correlated with soil carbon content, and to a lesser extent, with water-stable macroaggregation.

Water-stable macroaggregation (which prevents crusting) and carbon content (which has an effect upon liquidity limit, among others) were thus important determining factors of erodibility for the soil studied. The influence of cultural practices on erodibility was therefore depending upon their effects on these factors.

Key words : erodibility, rainfall simulation, water-stable macroaggregation, carbon, cultural practices

Mots clés : érodibilité, simulation de pluie, stabilité des macroagrégats, carbone, pratiques culturales

Enregistrement scientifique n° : 1239

Symposium n° : 20

Présentation : poster

Determining factors of the erodibility of a cultivated mediterranean highland soil (Aveyron, France) Déterminants de l'érodibilité d'un sol cultivé de moyenne montagne méditerranéenne (Aveyron, France)

BARTHÈS Bernard, DE NONI Georges, ASSELINE Jean, VIENNOT Marc, ROOSE Éric.

**ORSTOM-LCSC. BP 5045. 34032 Montpellier cedex 1, France.
barthes@mpl.orstom.fr**

Introduction

L'érosion hydrique des sols résulte d'un détachement, principalement par la pluie, et d'un transport, principalement par le ruissellement. La sensibilité du sol à l'érosion, ou érodibilité, est liée à sa stabilité structurale, qui caractérise sa résistance à la désagrégation ; cette désagrégation s'accompagne en effet du détachement de particules et de petits agrégats, qui favorise la formation de croûtes superficielles, donc le ruissellement et le transport (De Ploey & Poesen, 1985 ; Le Bissonnais, 1996). La stabilité structurale dépend elle-même de différents paramètres, parmi lesquels la teneur en matière organique joue souvent un rôle important (Tisdall & Oades, 1982 ; Oades, 1984).

Dans la petite région des Rougiers de Camarès (Aveyron, sud du Massif Central), l'érosion hydrique provoque une dégradation des sols, en particulier sur les versants cultivés des collines, et une dégradation des infrastructures (Guillerm, 1994). Cette érosion résulte de la fragilité du milieu, souvent caractérisé par des pentes prononcées, une roche-mère friable et des sols peu épais, soumis à un climat relativement agressif (gel, orages) ; elle est également favorisée par les conditions d'exploitation de ce milieu, intensification du travail du sol, développement de cultures à cycle court et raréfaction des haies notamment.

L'objectif des travaux présentés est d'étudier les relations entre l'érodibilité d'un sol des Rougiers cultivé selon diverses modalités, la stabilité des macroagrégats (> 0,2 mm) et la teneur en carbone de la couche de sol 0-10 cm.

Site, matériel et méthodes

Environnement physique et dispositif agronomique

Les Rougiers de Camarès occupent un piémont sédimentaire d'environ 1700 km², constitué de grès, schistes et pélites alternant en bancs peu épais. Le paysage est très

vallonné, avec des altitudes comprises entre 300 et 600 m. La pluviosité moyenne annuelle est d'environ 800 mm et la température mensuelle moyenne varie de 4 à 20°C. L'expérimentation agronomique qui sert de cadre à l'étude est implantée à l'amont d'une colline, sur une pente de 5 à 12%. Le sol est un régosol rouge peu épais (environ 40 cm) constitué surtout de minéraux primaires (quartz, albite, muscovite, hématite), limono-argilo-sableux avec un taux variable d'éléments grossiers (10 à 150 g.kg⁻¹). Le dispositif étudié comprend 7 parcelles (18 m x 9 m) : labour à plat avec engrais ou fumier, labour dressé avec engrais ou fumier, travail superficiel avec engrais ou fumier, semis direct avec fumier. Les prélèvements et mesures sont effectués 2,5 mois après l'installation de la culture, une avoine de printemps.

Evaluation de l'érodibilité par simulation de pluie au champ

La simulation de pluie est réalisée avec un appareil mis au point par l'ORSTOM (Asseline & Valentin, 1978). La pluie est produite par un gicleur monté sur un bâti haut de 4 m, ce qui permet aux gouttes d'atteindre le sol avec des caractéristiques proches de celles des gouttes des pluies naturelles ; elle arrose une microparcelle de 1 m² délimitée par un cadre enfoncé dans le sol, percé d'une gouttière pour la collecte des eaux de ruissellement. Chaque parcelle expérimentale reçoit une averse d'intensité égale à 60 mm.h⁻¹, commencée sur sol sec (humidité comprise entre 34 et 88 g.kg⁻¹ à 0-5 cm de profondeur) et poursuivie jusqu'au régime de ruissellement permanent. Avant l'averse, la végétation de la microparcelle est arrachée et le sol travaillé manuellement sur environ 15 cm de profondeur.

Des prélèvements réguliers permettent de mesurer l'intensité du ruissellement (mm.h⁻¹) et la charge solide de l'eau ruisselée (g.L⁻¹), puis de calculer le débit solide (g.m⁻².h⁻¹), produit du volume ruisselé par sa charge ; la lame ruisselée (mm) et la perte en terre (g.m⁻²) sont calculées en intégrant respectivement l'intensité du ruissellement et le débit solide sur une durée déterminée.

Tests et analyses de laboratoire (stabilité des agrégats, teneur en carbone, texture)

Des échantillons de sol non perturbé sont prélevés à 0-10 cm de profondeur sur chaque parcelle, près de la microparcelle de simulation de pluie ; ces échantillons sont séchés à l'air puis tamisés à 2 mm.

La stabilité à l'eau des macroagrégats (> 0,2 mm) est caractérisée par un test (Barthès *et al.*, 1996) inspiré de celui proposé par Kemper & Rosenau (1986). Le test consiste à immerger 4 g d'échantillon dans l'eau permutée pendant 30 mn, puis à les tamiser à 0,2 mm dans l'eau pendant 6 mn avec un appareillage adapté ; après séchage à 105°C et pesée, la fraction > 0,2 mm (F>0,2) est tamisée à 0,2 mm dans la soude diluée (0,05 M) pendant 30 mn, afin de déterminer le poids des sables grossiers (SG). L'indice de macroagrégation stable I_{ma} est défini comme le rapport entre le poids de macroagrégats stables (F>0,2 - SG) et le poids initial de l'échantillon sans sables grossiers (4 g - SG), multiplié par 1000. Les résultats présentés sont des moyennes sur 4 répétitions au moins. La granulométrie des échantillons est analysée par la méthode de la pipette Robinson, après destruction de la matière organique et dispersion totale. Leur teneur en carbone total est analysée avec un analyseur élémentaire CHN Leco 600 sur des échantillons broyés à 0,2 mm.

Coefficients de corrélation linéaire simple

Les corrélations significatives au seuil de 1% sont dites « hautement significatives », elles sont dites « significatives » au seuil de 5% et « non significatives » dans les autres cas.

Résultats (tableau I)

Simulation de pluie au champ

Le ruissellement s'installe après 20 à 30 mn de pluie environ et atteint un régime permanent après 60 à 100 mn (résultats non présentés). La lame ruisselée pendant les 30 mn initiales de pluie est comprise entre 0 et 2,37 mm, avec des valeurs plus élevées sur les parcelles labourées ($\geq 1,06$ mm). L'intensité du ruissellement en régime permanent est comprise entre 34,8 et 54,6 mm.h⁻¹, soit 58 à 91% de la pluie incidente. La charge solide de l'eau ruisselée est comprise entre 5,5 et 15,7 g.L⁻¹ après 30 mn de pluie (elle est considérée comme nulle sur la parcelle en travail superficiel avec engrais, où il n'y a pas de ruissellement après 30 mn), et entre 6,1 et 14,9 g.L⁻¹ en régime permanent. La perte en terre pendant les 30 mn initiales de pluie est comprise entre 0 et 31,8 g.m⁻², avec des valeurs plus élevées sur les parcelles labourées ($\geq 8,9$ g.m⁻²) ; le débit solide en régime permanent est compris entre 230 et 739 g.m⁻².h⁻¹, avec des valeurs souvent plus élevées en labour.

Tests et analyses de laboratoire

La teneur en carbone total des échantillons (0-10 cm) est comprise entre 12,8 et 18,2 g.kg⁻¹, leur taux d'argile entre 226 et 356 g.kg⁻¹. Leur indice moyen de macroagrégation stable Ima est compris entre 381 et 436, avec des valeurs plus faibles sur les parcelles labourées (≤ 400). La corrélation entre teneur en carbone et Ima est significative ($r = 0,844$) ; ces variables ne sont pas corrélées au taux d'argile ($|r| < 0,2$).

Relations entre érodibilité sous pluie simulée, indice de macroagrégation stable Ima et teneur en carbone C de la couche de sol 0-10 cm (figure 1)

La lame ruisselée et la perte en terre après 30 mn de pluie sont corrélées de manière hautement significative avec Ima ($r = -0,950$ et $r = -0,900$ respectivement) mais de manière non significative avec C. Ruissellement et perte en terre en « début » de pluie sont donc étroitement liés à la macroagrégation stable dans la couche de sol superficiel. La charge solide de l'eau ruisselée après 30 mn de pluie est corrélée de manière significative avec Ima ($r = -0,759$) et hautement significative avec C ($r = -0,904$).

Lors du régime permanent, l'intensité du ruissellement et sa charge solide sont corrélées avec C de manière respectivement significative ($r = -0,788$) et hautement significative ($r = -0,949$), mais avec Ima de manière non significative. Lors du régime permanent, le débit solide est corrélé de manière significative avec Ima ($r = -0,773$) et hautement significative avec C ($r = -0,982$). Les caractéristiques du régime permanent sont donc étroitement liées à la teneur en carbone de la couche de sol superficiel.

Discussion et conclusion

Des corrélations négatives entre (i) ruissellement ou perte en terre lors de pluies simulées au laboratoire sur sol initialement sec et (ii) stabilité de l'agrégation (après immersion dans l'eau) ou teneur en carbone de l'horizon de surface sont souvent rapportées (Bryan, 1968 ; Luk, 1977 ; Reichert & Norton, 1994 ; Amezketa *et al.*, 1996 ; Le Bissonnais & Arrouays, 1997). Les résultats de ce type obtenus par simulation de pluie au champ sont moins nombreux (Meyer & Harmon, 1984 ; Valentin & Janeau, 1989). Par ailleurs, ces différents travaux ne distinguent pas toujours début et fin de pluie.

Nos résultats confirment la relation entre érodibilité, mesurée au champ, et stabilité de l'agrégation dans la couche de sol superficiel. La liaison est forte en début de pluie (30 mn), où la stabilité de la macroagrégation conditionne étroitement le ruissellement ; certains travaux montrent en effet que cette stabilité s'oppose au détachement de

particules facilement transportables, donc au colmatage de la surface du sol et au ruissellement (Le Bissonnais, 1996). La stabilité de l'organisation initiale conditionne aussi la perte en terre en début de pluie, bien que son influence sur la charge solide de l'eau ruisselée soit moins marquée.

Nos résultats confirment également la relation entre érodibilité et teneur en carbone de la couche de sol superficiel. En début comme en fin de pluie, il existe une liaison étroite entre cette teneur et la charge solide de l'eau ruisselée, déjà signalée par certains auteurs (Feller *et al.*, 1996). Mais c'est surtout en fin de pluie (régime de ruissellement permanent) que la teneur en carbone apparaît déterminante, avec une influence sensible sur le ruissellement et très marquée sur le débit solide ; cette influence pourrait s'expliquer par les caractéristiques de consistance, comme la limite de liquidité, qui dépendent de la teneur en carbone (Combeau, 1964 ; Rémy, 1971) et conditionnent les ruissellement et pertes en terre en conditions humides (Bryan & De Ploey, 1983 ; Valentin & Janeau, 1989). En revanche, la stabilité de la macroagrégation devient moins discriminante en fin d'averse, l'organisation initiale étant probablement détruite en grande partie après plus d'une heure de forte pluie sur sol nu.

Références bibliographiques

- Amezketta E., Singer M.J. & Le Bissonnais Y., 1996. Testing a new procedure for measuring water-stable aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60 : 888-894.
- Asseline J. & Valentin C., 1978. Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, 15 (4) : 321-349.
- Barthès B., Kouakoua E., Sala G.H., Hartmann C. & Nyeté B., 1996. Effet à court terme de la mise en culture sur le statut organique et l'agrégation d'un sol ferrallitique argileux du Congo. *Can. J. Soil Sci.*, 76 : 493-499.
- Bryan R.B., 1968. The development, use and efficiency of indices of soil erodibility. *Geoderma*, 2 : 5-26.
- Bryan R.B. & De Ploey J., 1983. Comparability of soil erosion measurements with different laboratory rainfall simulators. *In De Ploey J. (ed.), « Rainfall simulation, runoff and soil erosion », Catena supplement 4*, pp. 33-56.
- Combeau A., 1964. Remarques sur les facteurs de variation des limites d'Atterberg. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 2 (4) : 29-39.
- De Ploey J. & Poesen J., 1985. Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion. *In Richards K.S., Arnett R.R. & Ellis S. (ed.), « Geomorphology and soils », Allen and Unwin, Londres*, pp. 99-120.
- Feller C., Albrecht A. & Tessier D., 1996. Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. *In Carter M.R. & Stewart B.A. (ed.), « Structure and organic matter storage in agricultural soils », Advances in Soil Science*, Lewis, New-York, pp. 309-359.
- Guillerm C., 1994. Diagnostic de l'érosion pluviale dans les Rougiers de Camarès ; propositions de pratiques anti-érosives. *Mém. Institut des Techniques de l'Ingénieur pour l'Agriculture, CNAM-INAPG, Paris*, 51 p.
- Kemper W.D. & Rosenau R.C., 1986. Aggregate stability and size distribution. *In Klute A. (ed.), « Methods of soil analysis », Part 1, Agron. Monogr. 9, ASA and SSSA, Madison, WI*, pp. 425-442.
- Le Bissonnais Y., 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility : I. Theory and methodology. *European J. Soil Sci.*, 47 : 425-437.

- Le Bissonnais Y. & Arrouays D., 1997. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility : II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *European J. Soil Sci.*, 48 : 39-48.
- Luk S., 1977. Rainfall erosion of some Alberta soils ; a laboratory simulation study. *Catena*, 3 : 295-309.
- Meyer L.D. & Harmon W.C., 1984. Susceptibility of agricultural soils to interrill erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48 : 1152-1157.
- Oades J.M., 1984. Soil organic matter and structural stability : mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, 76 : 319-337.
- Reichert J.M. & Norton L.D., 1994. Aggregate stability and rain-impacted sheet erosion of air-dried and prewetted clayey surface soils under intense rain. *Soil Sci.*, 158 (3) : 159-169.
- Rémy J.C., 1971. Influence de la constitution physique des sols sur leur comportement mécanique ; signification des limites d'Atterberg en matière de travail du sol. *Ann. Agron.*, 22 (3) : 267-290.
- Tisdall J.M. & Oades J.M., 1982. Organic matter and water-stable aggregation in soils. *J. Soil Sci.*, 33 : 141-163.
- Valentin C. & Janeau J.L., 1989. Les risques de dégradation structurale de la surface du sol en savane humide (Côte d'Ivoire). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 25 (1-2) : 41-52.

Key words : erodibility, rainfall simulation, water-stable macroaggregation, carbon, cultural practices

Mots clés : érodibilité, simulation de pluie, stabilité des macroagrégats, carbone, pratiques culturelles

Tab. I . Résultats des tests de simulation de pluie au champ, indice de macroagrégation stable et teneurs en carbone et en argile dans la couche de sol 0-10 cm ; corrélations entre données.

Tab. I . Results of field rainfall simulation tests (runoff depth in 30 min, steady state runoff intensity, runoff water turbidity after 30 min and during steady state, soil loss in 30 min, steady state sediment loss rate), water-stable macroaggregation index Ima and carbon C and clay contents in the 0-10 cm layer ; correlations between data.

	Type d'apport	<u>Fumier</u>				<u>Engrais</u>			Coeff. de corrélation avec Ima avec C		
		Travail du sol	Travail superficiel	Labour dressé	Labour à plat	Semis direct	Travail superficiel	Labour dressé			Labour à plat
Lame ruisselée en 30 mn	mm		0,62	1,71	1,06	1,01	0,00	1,60	2,37	-0,950**	-0,676
Intensité du ruissellement en rég. perm.	mm.h ⁻¹		54,0	49,6	54,6	41,4	34,8	54,0	52,8	-0,702	-0,788*
Charge solide après 30 mn	g.L ⁻¹		13,8	15,7	9,0	5,5	0,0	8,0	13,7	-0,759*	-0,904**
Charge solide en régime permanent	g.L ⁻¹		10,4	14,9	11,5	6,1	6,6	8,4	11,2	-0,729	-0,949**
Perte en terre en 30 mn	g.m ⁻²		8,6	25,4	8,9	4,7	0,0	12,6	31,8	-0,900**	-0,753
Débit solide en régime permanent	g.m ⁻² .h ⁻¹		561	739	630	253	230	452	591	-0,773*	-0,982**
Ima = indice de macroagrégation stable			416	381	400	415	436	393	381	1	0,844*
C = teneur en carbone	g.kg ⁻¹		14,9	12,8	14,0	16,9	18,2	15,5	14,2	0,844*	1
Teneur en argile	g.kg ⁻¹		343	349	282	226	356	317	281	0,133	-0,086

* corrélation significative au seuil de 5%

** corrélation significative au seuil de 1%

Fig. 1. Relations entre résultats des simulations de pluie au champ, indice de macroagrégation stable et teneur en carbone (0-10 cm).

Fig. 1. Relationships between results of field rainfall simulations (runoff depth in 30 min, steady state runoff intensity, turbidity after 30 min and during steady state, soil loss in 30 min, steady state sediment loss rate), water-stable macroaggregation index I_{ma} and carbon content C .

