

RECHERCHE D'INDICATEURS DE RUISSELLEMENT ET D'ÉROSION PAR SIMULATIONS DE PLUIES SUR LES PRINCIPAUX SOLS DU BASSIN VERSANT DU RHERAYA (HAUT-ATLAS OCCIDENTAL, MAROC)

A. CHEGGOUR*, V. SIMONNEAUX**,
M. SABIR*** et E. ROOSE****

* Faculté des sciences Semlalia, programme SudMed, Centre Geber, salle 26, Université Cadi Ayyad, B.P. 2390, Marrakech, Maroc ; a.cheggour@ucam.ac.ma

** IRD-CESBIO, 18 av. Edouard Belin, 31401 Toulouse CEDEX 9, France ; simonneaux@ird.fr

*** École nationale forestière des ingénieurs, B.P. 511, Salé, Maroc ; sabireni@wanadoo.net.ma

**** IRD, Laboratoire Most, B.P. 64501, 34394 Montpellier CEDEX 5, France ; Eric.Roose@ird.fr

Abstract

The objective of this study is to investigate the risks of runoff and erosion on the various soils of the Rheraya catchment (High Atlas, Morocco) using rainfall simulation experiments on 1 m². We are looking for easy to access indicators obtained from field observations and/or by laboratory tests, well correlated with infiltration and turbidity measurements issued from simulations experiments. For the various soils present in the study area, the results show a large variability of infiltration (from 1 to 70 mm h⁻¹) and turbidity (from 3 to 325 g.l⁻¹). The turbidity was correctly measured thanks to the development of a new runoff collector which does not disturb the soil. The measurements show that infiltration is correlated mainly with texture and soil surface opening, and that turbidity is related to the surface of bare soil exposed to runoff.

Keywords : Rainfall Simulations ; Erosion Indicators ; Infiltration ; Turbidity ; Morocco ; Atlas.

INTRODUCTION

Ce travail concerne le bassin montagneux du Rhéraya, situé dans le Haut-Atlas occidental du Maroc, dont la dégradation de la végétation et des sols sur les versants, causée par le surpâturage et le défrichement, a provoqué une augmentation du ruissellement et de l'érosion. Une étude est actuellement en cours pour estimer le taux d'érosion et les risques de ruissellement dans ce bassin. Six parcelles d'érosion de 100 m² dont une ravine ont été mises en place sur les différents substratums représentatifs du bassin (granite, colluvion de bas de pente, argile). Deux années après leur installation, un seul orage de 25 mm de pluie et de 60 mm.h⁻¹ d'intensité a provoqué un ruissellement significatif sur les parcelles, et dix pluies ont provoqué du ruissellement dans la ravine sur argile. Il apparaît ainsi

que dans notre contexte, les méthodes de mesure *in situ* des risques de ruissellement et d'érosion sous pluies naturelles (parcelles d'érosion) sont longues et coûteuses du fait de la rareté des évènements ruisselants. Pour obtenir rapidement des indicateurs d'érodabilité des sols, une alternative aux parcelles d'érosion est constituée par les simulations de pluies. L'objectif de ce travail est ainsi de mettre en œuvre ces méthodes pour rechercher des indicateurs de risque d'érosion, faciles à déterminer directement sur le terrain (exemple : caractérisation des états de surface du sol) ou à partir des tests en laboratoires (exemple : stabilité des agrégats, texture et matière organique), en se basant sur des corrélations significatives entre les résultats des simulations et les différents paramètres du sol.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le bassin versant du Rhéraya, d'une superficie de 228 km², est localisé dans le Haut-Atlas occidental du Maroc, à une quarantaine de kilomètres au sud de Marrakech. Les altitudes varient de 925 m à 4 165 m. Le climat est semi-aride, caractérisé par une très grande irrégularité des précipitations dans le temps et dans l'espace, avec une moyenne de 360 mm.an⁻¹. L'hétérogénéité spatiale des précipitations est liée à l'altitude et au relief. La variabilité temporelle est typique des régions arides, avec une forte proportion d'orages. Du point de vue géologique, les substratums affleurant dans le bassin sont très variés. La zone aval du bassin comprend des argiles rouges permotriasiques extrêmement érodables lorsqu'elles sont nues, alors que les deux tiers amont sont constitués par des formations volcaniques nettement plus stables. La végétation naturelle, constituée essentiellement de thuya en basse altitude et de chamaephytes en haute altitude, est très dégradée, suite à la déforestation et au surpâturage.

Le simulateur de pluie choisi pour ce travail est un irrigateur manuel à rampe (Roose, 1997), simulant des averses sur des parcelles de 1 m² (largeur 60 cm, longueur 163 cm). Dans le dispositif habituel du simulateur à main, le collecteur des eaux de ruissellement à l'aval de la parcelle était constitué par une tôle, fixée au sol dans sa partie amont, par une cornière métallique enfoncée dans le sol barrant le bas de la parcelle. La perturbation du sol induite par la fixation du collecteur perturbait le sol et faussait les mesures de sédiments, et créait de plus une zone potentielle d'infiltration préférentielle. Nous avons mis au point un nouveau dispositif de collecte constitué par un film plastique souple collé au sol. Le sol est préalablement nettoyé des éléments posés (cailloux, litières...) sans le perturber, puis une couche de peinture cellulosique est répandue sur environ 4 cm de large. Cette peinture pénètre dans le sol et les fissures et permet d'obtenir une étanchéité et une bonne adhérence à la surface du sol. Après 5 minutes de séchage, la peinture est recouverte par une couche de joint silicone, sur laquelle le film plastique est collé en épousant la surface du sol. Ce film plastique est alors roulé pour diriger l'eau de ruissellement vers un bocal de collecte du ruissellement. On obtient ainsi une interception sans fuite du ruissellement et également sans infiltration parasite, due à la fissuration de l'horizon de surface consécutive à l'enfoncement de la cornière dans la configuration initiale du simulateur. On arrose le plus régulièrement possible une parcelle de 1 m², avec des pluies d'environ 80 mm.h⁻¹ d'intensité durant 30 minutes. Les eaux de ruissellement mesurées toutes les deux minutes en bas de la parcelle permettent de calculer la pluie

d'imbibition, de suivre l'évolution du ruissellement et d'infiltration et de mesurer la charge solide totale des eaux de ruissellement. La valeur de l'infiltration est calculée toutes les 2 minutes par soustraction du ruissellement de la pluie reçue. On observe en général en fin d'expérience une stabilisation de cette valeur que l'on nomme infiltration finale. Cette courbe d'infiltration en fonction du temps permet aussi d'estimer la pluie d'imbibition, qui exprime la capacité du sol à absorber des averses brèves et à retarder l'apparition de ruissellement.

Nous avons effectué 29 simulations réparties sur 9 sites représentant les principaux types de sols (argiles rouges, sol colluvial volcano-sédimentaire, sol colluvial sur granite altéré, sol marno-calcaire et sol brun vertique sur basalte) et des utilisations de terres (forêts, parcours, sol nu et cultures) affleurant dans le bassin, sur des pentes de 40 % à 60 %. Avant chaque simulation, les états de surface de la parcelle sont caractérisés par la méthode des points quadrats. On observe en chaque point le type de surface rencontré : sol nu, cailloux (posés ou inclus), litière, végétation, ainsi que la nature ouverte ou fermée de la surface (du point de vue hydrodynamique), selon la méthode proposée par Roose (1996). Sur chaque site des échantillons de sols sont prélevés dans les 5 premiers centimètres pour analyses et tests physiques (stabilité des agrégats, texture et matière organique).

2. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

La variation moyenne de la pluie d'imbibition est comprise entre 2 mm et 4 mm pour tous les sols étudiés. Ces valeurs sont comparables à celles trouvées par Al Karkouri (2000) dans le Rif central sur des sols naturels, avec des moyennes de 3 mm pour des sols limoneux et 2,25 mm pour des sols limoneux sableux. Elles sont également comparables aux résultats de Sabir (2004) dans le Rif occidental pour des sols peu évolués, avec des valeurs qui varient de 2,4 mm à 4,3 mm.

Les valeurs d'infiltration finale observées sont très variables selon les sols. Les sols les plus infiltrants sont les sols bruns vertiques (de 30 mm.h⁻¹ à 70 mm.h⁻¹), tandis que les ravines sur argiles rouges sont les moins infiltrants (3 mm.h⁻¹ à 5 mm.h⁻¹). Pour les autres types de sols, l'infiltration varie de 20 mm.h⁻¹ à 40 mm.h⁻¹. Globalement, ces valeurs sont très faibles à moyennes, mais sont en accord avec les mesures effectuées par Al Karkouri (2000), qui annonce des maxima de 99 mm.h⁻¹ sur terrain à couvert végétal continu. Les turbidités moyennes pour chaque type de sol, obtenues sur les 30 minutes de simulation, varient de 3 g.l⁻¹ à 325 g.l⁻¹, très supérieures aux valeurs de 12 g.l⁻¹ trouvées par Mathys (2005) sur des *badlands* marneux, pour des pluies pourtant supérieures (150 mm.h⁻¹), mais du même ordre de grandeur que les maximum de 400 g.l⁻¹ à 800 g.l⁻¹ observés par Oostwoud (1998) sur des marnes.

Dans un objectif de recherche d'indicateurs d'érosion facilement déterminables, les corrélations entre ces derniers et l'infiltration et la turbidité ont été étudiées. Nos résultats montrent que la capacité d'infiltration du sol est assez bien corrélée avec l'ouverture du sol ($r^2 = 0,77$). Cette relation indique que l'ouverture telle qu'on l'a estimée visuellement est un paramètre hydrodynamique pertinent. Les analyses granulométriques montrent qu'il existe trois classes principales de texture parmi les sites étudiés : une classe sableuse qui regroupe les sols volcaniques, granitiques

ainsi que les sols marno-calcaires, une classe limono-sableuse correspondant aux sols colluviaux sur argiles sous forêt et sur parcours, et une classe limono-argileuse associée aux ravines sur argiles. De bonnes corrélations sont obtenues entre infiltration et des fonctions exponentielles des fractions granulométriques. L'infiltration est corrélée positivement avec la proportion de sable ($r^2 = 0,64$) et négativement avec celle d'argile ($r^2 = 0,71$) et de limon ($r^2 = 0,61$), ce qui concorde avec les résultats de Marston (1999). Par contre, Sabir n'a trouvé aucune relation entre infiltration et texture pour des sols peu évolués du Rif occidental (Sabir 2004), ce qui peut provenir du fait que les textures y étaient peu variables et leur effet potentiellement masqué par d'autres facteurs. Pour les autres facteurs, couverture, matière organique et macro agrégats, aucune corrélation nette avec l'infiltration n'a été observée, ce qui montre que même si ces facteurs ont un rôle dans les processus d'érosion, ils sont ici masqués par d'autres.

La meilleure relation concernant la turbidité est observée avec le pourcentage de sols nus ($r^2 = 0,7$) pour une relation de type exponentiel, comme l'a déjà montré Morgan (1999). Mais elle est faiblement liée à l'intensité du ruissellement ($r^2 = 0,41$), ce qui concorde avec les résultats de Boardman (2003) sur des parcours en zone semi-aride. Par contre, aucune relation significative avec les autres facteurs (fermeture, MO, macro agrégats et texture) n'est observée.

CONCLUSION

Il s'avère que les simulations de pluie sont d'une grande utilité pour l'étude du ruissellement et de l'érosion dans les zones de montagnes semi-arides, qui se caractérisent par une énorme variabilité de pluies et par la rareté des phénomènes érosifs. Les résultats obtenus ont permis d'obtenir une première approximation de la capacité d'infiltration du sol et de sa fragilité à l'érosion et de comprendre les processus dominants en jeu. Ces résultats sont d'autant plus intéressants que l'on a pu recueillir de manière significative les matières en suspension exportées grâce à une amélioration du récepteur de ruissellement du simulateur initial. Dans ce milieu très contrasté sur sols peu épais et dégradés, ce sont finalement l'ouverture de la surface du sol et la texture qui commandent en priorité la capacité d'infiltration. La turbidité est contrôlée, quant à elle, par la surface de sol nu. Ces indicateurs cartographiables permettent d'envisager une spatialisation du risque d'érosion au niveau de tout le bassin versant.

Références bibliographiques

- AL KARKOURI J., LAOUNA A., ROOSE E., SABIR M., 2000. Capacité d'infiltration et risques d'érosion des sols dans la vallée des Beni Boufrah, Rif central (Maroc). *Bull. Réseau Érosion*; 20 : 342-356.
- BOARDMAN J., PARSONS A.J., HOLLAND R., HOLMES P.J., WASHINGTON R., 2003. Development of badlands and gullies Sneeuweg, Great Karoo, South Africa. *Catena* 50: 165-384.
- MARSTON RICHARD A., DOLAN LAWRENCE S., 1999. Effectiveness of sediment control structures relative to spatial patterns of upland soil loss in an arid watershed, Wyoming. *Geomorphology*, 31: 313-323.
- MATHYS N., KLOTZ S., ESTEVES M., DESCROIX L., LAPETITE J.-M., 2005. Runoff and erosion in the Black Marls of the French Alps: Observations and measurements at the plot scale. *Catena* 63 , 2-3 : 261-281.

MORGAN R. P. C., MCINTYRE K., VICKERS A. W., QUINTON J.N., RICKSON R.J., 1997. A rainfall simulation study of soil erosion on rangeland in Swaziland. *Soil Technology* 11: 291-299.

OOSTWOUW WIJDENES D. J., ERGENZINGER P., 1998. Erosion and sediment transport on steep marly hillslopes, Draix, Haute-Provence, France: an experimental field study. *Catena* 33: 179-200.

ROOSE E., 1996. 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 de montagnes. *Bull. Réseau Erosion* 16 : 87-97.

ROOSE E, SMOLIKOWSKI B., 1997. Comparaison de trois techniques de mesure de l'infiltration sur fortes pentes : monocylindre et 2 simulateurs de pluies. Application à un versant de la vallée de Godim au Cap Vert. *Bull. Réseau Érosion* 17 : 282-296

SABIR M., BARTHES B., ROOSE E., 2004. Recherche d'indicateurs des risques de ruissellement et d'érosions sur les principaux sols des montagnes méditerranéennes du rif occidental (Maroc). *Sécheresse* 15, 1 :105-110.



EFFICACITÉ DE LA GESTION DE L'EAU ET DE LA FERTILITÉ DES SOLS EN MILIEUX SEMI-ARIDES

Sous la direction de :

Eric ROOSE

Jean ALBERGEL

Georges DE NONI

Abdellah LAOUINA

Mohamed SABIR

EFFICACITÉ DE LA GESTION DE L'EAU ET DE LA FERTILITÉ DES SOLS EN MILIEUX SEMI-ARIDES

Actes de la session VII
organisée par le Réseau E-GCES de l'AUF
au sein de la conférence ISCO de Marrakech (Maroc),
du 14 au 19 mai 2006

Sous la direction de

**Eric ROOSE, Jean ALBERGEL, Georges DE NONI
Abdellah LAOUINA et Mohamed SABIR**



Copyright © 2008 Éditions des archives contemporaines et en partenariat avec l'Agence universitaire de la Francophonie (AUF).

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays. Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit (électronique, mécanique, photocopie, enregistrement, quelque système de stockage et de récupération d'information) des pages publiées dans le présent ouvrage faite sans autorisation écrite de l'éditeur, est interdite.

Éditions des archives contemporaines
41, rue Barrault
75013 Paris (France)
Tél.-Fax : +33 (0)1 45 81 56 33
Courriel : info@eacgb.com
Catalogue : www.eacgb.com

ISBN : 978-2-914610-76-6

Référence bibliographique :

Roose E., Albergel J., De Noni G., Sabir M., Laouina A., 2008., *Efficacité de la GCES en milieu semi-aride*, AUF, EAC et IRD éditeurs, Paris : 425 pages

Crédit iconographique de la couverture :

Oued Rhéraya, *Haut-Atlas : terrasses permettant de reconstituer des sols dans le lit majeur, d'irriguer des pentes fortes grâce aux seguias et fertiliser le sol en place autour d'un village.*

Avertissement

Les textes publiés dans ce volume n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs. Pour faciliter la lecture, la mise en pages a été harmonisée, mais la spécificité de chacun, dans le système des titres, le choix de transcriptions et des abréviations, l'emploi de majuscules, la présentation des références bibliographiques, etc. a été le plus souvent conservée.