

SPATIALISATION DE L'ÉROSION DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RHERAYA (HAUT-ATLAS, MAROC). COMPARAISON DE SIMULATIONS DE PLUIES ET D'EXPORTATION À L'EXUTOIRE DU BASSIN

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

* IRD, GESBIO, UMR CNES/CNRS/IRD/UPS, 18 v. Édouard Belin, 31401 Toulouse CEDEX 9, France ; simonneaux@ird.fr

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

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

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

Abstract

This study compares erosion from runoff plots of about 150 m² and sediment delivery measurements at the outlet during two years. In the main part of the watershed, the observations showed rare runoff events, producing few sediment (between 0.015 and 0.342 t/ha/year). Conversely, runoff was more frequent on clayey badlands covering less than 1% of the area, but producing about 95% of the watershed sediments (300 t/ha/year). The average erosion over the watershed was about 3 t/ha/year, which is close to, although smaller, than the mean sediment exportation at the outlet (4 t/ha/year).

Keywords : Morocco ; Erosion ; Runoff Plots ; Sediment Exportation ; Watershed.

INTRODUCTION

L'érosion hydrique est un problème environnemental majeur dans les zones arides et semi-arides. Elle est favorisée par la faible couverture des sols et l'agressivité des précipitations, associées au surpâturage quasi généralisé. L'érosion manifeste ses effets négatifs au niveau du sol lui-même en diminuant sa fertilité et son potentiel écologique et pastoral, mais elle est également préjudiciable au gestionnaire de l'eau du fait de l'envasement des barrages. Une gestion correcte des phénomènes d'érosion passe par leur évaluation spatialisée afin d'identifier les zones à risque. Si un examen visuel permet souvent d'estimer qualitativement l'érosion affectant un sol, sa quantification nécessite des observations longues et coûteuses. Pour pouvoir estimer l'érosion à l'échelle d'un bassin versant à partir de variables spatialisées plus abordables (substrat, type de sol, végétation, pluviométrie, morphologie, etc.), différentes approches de modélisation de type « SIG » sont disponibles. Nous présentons ici une première analyse de mesures

d'érosion réalisées à différentes échelles dans un bassin versant de montagne, dans la perspective d'une modélisation spatialisée de l'érosion.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'étude concerne le bassin versant du Rheraya (228 km²), situé dans le Haut-Atlas de Marrakech (Maroc), dont les altitudes varient de 925 m à 4165 m. Le climat est semi-aride, caractérisé par une grande irrégularité spatiale et temporelle des précipitations, dont une partie tombe sous forme d'orages. L'hétérogénéité spatiale est due au relief (de 300 à 900 mm/an, pour une moyenne de 360 mm.an⁻¹). Le substratum de la zone aval du bassin comprend des argiles rouges permotriasiques et des calcaires localement marneux, alors que les deux tiers amont sont constitués par des formations volcaniques (andésites, granites). La végétation naturelle est constituée de quelques boisements plus ou moins denses de thuya au nord du bassin, et de steppes à chamaephytes partout ailleurs, en général très dégradées par le surpâturage et les prélèvements anthropiques.

Sur les principales unités de paysage, des mesures d'érosion *in situ* sont réalisées sous forme de simulations de pluies et de parcelles d'érosion. Des mesures de transport de sédiments ont été effectuées à l'exutoire du bassin. Nous avons ensuite comparé ces mesures pour une première évaluation des processus d'érosion dans ce bassin.

Quatre parcelles d'érosion d'environ 150 m² ont été installées et observées pendant deux ans sur les principaux sols du bassin. 29 simulations de pluies ont également été réalisées sur ces sites en utilisant un simulateur manuel sur 1 m² (Roose, 1997). Ces simulations ont permis une première mise en évidence des contrastes importants existant entre les *badlands* sur argiles et le reste du bassin, avec des turbidités variant de 3 g/l à 325 g/l (Cheggour, 2006). La répartition des précipitations a été estimée au moyen de 9 pluviomètres disposés sur l'ensemble du bassin. Malgré des erreurs locales d'observation, ils ont permis de connaître les substrats touchés par chacun des événements ayant donné lieu à une crue significative. Enfin, l'exutoire du bassin est équipé par l'Agence de bassin hydrologique du Tensift. Les débits y sont mesurés 4 fois par jour par relevés visuels des hauteurs, et des jaugeages sont effectués chaque mois pour ajuster la calibration. La fréquence d'observation augmente lors des crues afin de bien décrire le pic. Systématiquement tous les 7 jours, et régulièrement lors des crues, l'observateur prélève des échantillons d'eau pour l'analyse de la turbidité par filtration gravitaire ou sous vide pour les faibles charges. 424 échantillons ont ainsi été analysés en 2 ans. Les données de débits et de turbidité ont été traitées grâce au logiciel *Hydraccess* (Vauchel, 2005) pour estimer les exportations journalières de sédiments.

2. RÉSULTATS

Le tableau 1 résume deux années d'observation des parcelles d'érosion. Compte tenu de l'irrégularité des précipitations, cette durée n'est pas suffisante pour estimer correctement l'érosion moyenne, mais elle nous permet d'avoir une première idée des ordres de grandeurs des phénomènes.

Tab. 1. Bilan des mesures sur parcelles d'érosion pour les principaux types de sols du bassin versant du Rheraya

| Site | Infiltration estimée en mm/h | Texture (% de sable) | Nombre d'évènements ruisselants par an (> 0,1 mm) | Matières en suspension exportées t/ha/an | Exportation de l'évènement majeur observé t/ha/an | % surface du bassin | Contribution à l'ensemble du bassin (t/ha/an) |
|--------------------------------------|------------------------------|----------------------|---|--|---|---------------------|---|
| Parcours sur sol volcanique bon état | 60 | 74 | 3 | 0,015 | 0,014 | 40 | 0,006 |
| Parcours sur sol volcanique dégradé | 30 | 78 | 3 | 0,342 | 0,661 | 30 | 0,1026 |
| Parcours sur sol argilo-calcaire | 20 | 27 | 5 | 0,161 | 0,145 | 29 | 0,04669 |
| Ravines sur argile | 3 | 7 | 10 | 297 | 100 | 1 | 2,97 |

On note une bonne liaison entre le nombre d'évènements ruisselants (lame supérieure à 0,1 mm) et la vitesse d'infiltration du sol estimée à partir des simulations de pluies (Cheggour, 2006). Le ruissellement est bien ici un processus hortonien, ce qui explique la rareté des évènements érosifs de surface qui se produisent seulement lors des orages, dont l'intensité dépasse la capacité d'infiltration du sol. Seules les ravines sur argiles, étant donné leur très faible capacité d'infiltration, ruissellent souvent, pour des évènements de plus faible intensité. Ces différences d'infiltration se combinent à de fortes variations de détachabilité des sols, liées à leur texture, et induisent un bilan d'érosion extrêmement contrasté selon les sols. Relativement aux autres sols du bassin, les argiles présentent une érosion extrême, résultante de leur imperméabilité et de leur faible cohésion, ce qui est classique pour ce genre de substrat (Oostwoud, 1998). Inversement, les sols volcaniques ruissellent peu et sont de plus de texture plus grossière avec de nombreux cailloux, donc générant moins de suspension.

À partir de la carte géologique, nous avons estimé la représentativité de chacune des parcelles d'érosion, et partant, de calculer leur contribution à l'érosion totale du bassin (tab. 1). Cette généralisation spatiale rudimentaire à partir du seul substrat est possible ici du fait de la variabilité relativement faible des états de surface sur chaque type de sol, occupés principalement par des parcours. On en déduit que malgré la faible surface représentée par ces zones de *badlands* (1 %), elles contribuent de manière écrasante (près de 95 %) à l'érosion totale du bassin, phénomène déjà souligné par divers auteurs (Marston, 1999). Un des principaux facteurs d'incertitude de ce bilan provient de la surface occupée par les zones ravinées sur argiles. Ces zones sont peu visibles sur des photographies aériennes, et malgré une signature assez bien différenciée, elles sont également peu

déTECTABLES sur des images satellites SPOT multispectrales (pixel 20 m). Il est probable que des images multispectrales très haute résolution de type *QuickBird* (pixel 2,4 m) permettraient de les identifier plus précisément. Toutefois, afin de ne pas sous-estimer l'influence de ces ravines, nous avons retenu la borne supérieure des estimations de surfaces effectuées (1 %).

L'analyse des chroniques de débits et transports solides journaliers à l'exutoire a confirmé l'irrégularité des processus érosifs. L'essentiel des transports a lieu durant les crues, et pour l'année 2004-2005, une seule crue est responsable de plus de la moitié des exportations. Le tableau 2 présente les bilans de transports solides à l'exutoire. Les valeurs annuelles mesurées pour 2003-2004 et 2004-2005 sont bien comprises dans l'intervalle, large, communiqué par l'agence de bassin (DRPE 1988), mais elles sont cependant nettement supérieures en regard des débits observés. Ce résultat partiel n'est cependant pas suffisant pour conclure à une augmentation relative significative des transports solides.

Tab. 2. Exportations de sédiments du bassin versant du Rheraya

| | | Débit moyen annuel en m ³ /s | Exportations en t/ha/an |
|--------------------------------|---------------|--|----------------------------|
| Références Agence de bassin | Année sèche | 0,65 | 0,65 |
| | Année moyenne | 1,5 | 1,85 |
| | Année humide | 2,7 | 22,35 |
| Observations 2003/2004 | | 0,76 | 5,9 |
| Observations 2004/2005 | | 0,74 | 2,9 |

La comparaison entre l'extrapolation des mesures annuelles sur parcelles (tab. 1) et les exportations à l'exutoire (tab. 2) montre des chiffres voisins, les exportations étant toutefois supérieures. Pour 2003-2004 et 2004-2005, la contribution estimée des ravines est respectivement de 3,9 et 2 t/ha/an, ce qui est bien proportionnel aux exportations totales (5,9 et 2,9 t/ha/an). Lors de l'extrapolation spatiale, nous avons veillé à ne pas sous-estimer le rôle des ravines. Mais il est possible que nous ayons sous-estimé l'érosion des autres sols, très étendus et faiblement décrits par seulement trois parcelles. Il faudrait cependant une correction très forte pour parvenir à égaler les exportations, ce qui semble peu probable. Une hypothèse plus vraisemblable est que, au moins pour les deux années étudiées, les exportations sont effectivement plus importantes que les départs sur les versants, montrant le rôle important de la reprise des sédiments du lit de l'oued et de l'érosion des berges. La spatialisation des pluies a montré qu'il n'y avait pas d'effet du lieu de chute de la pluie (argiles/autres sols) sur la turbidité du pic de crue, et cela, malgré une assez bonne relation débits turbidités ($R^2 = 0,8$). Ceci tend à confirmer le rôle de l'érosion du lit de l'oued dans le tamponnement de la charge solide. Ces sédiments repris dans le lit de l'oued seraient issus d'événements érosifs exceptionnels dont les dépôts peuvent mettre plusieurs

années à se résorber, ainsi que de l'érosion des terrasses agricoles, dont l'observation visuelle montre qu'elles sont souvent sapées lors des crues. Une autre hypothèse possible est que cette érosion « manquante » soit le fait d'érosion linéaire sur les versants. Toutefois, l'observation visuelle montre que les sols y sont peu épais et donnent rarement lieu à des ravines profondes, sauf dans les bas de versants autour de certains villages (surpâturage). En effet, les ruissellements sur les versants sont rapidement canalisés par des chenaux stabilisés (roche mère ou empierrement) jusqu'au lit majeur de l'oued. Il est ainsi peu probable que l'érosion linéaire des versants, même si elle existe bien, fournisse suffisamment de matière pour équilibrer le bilan.

CONCLUSION

Ces premiers résultats de mesure de l'érosion montrent que malgré les effets d'échelles qui interviennent au cours des processus d'érosion entre la parcelle et l'exutoire, et que nous avons négligé ici, on parvient à relier grossièrement les départs au niveau de parcelles et les sorties du bassin. Malgré la taille du bassin et son hétérogénéité apparente, quelques parcelles bien choisies permettent ainsi d'estimer l'importance de l'érosion. Celle-ci est dominée par quelques zones de *badlands* argileux qui s'avèrent produire l'essentiel des sédiments exportés par le bassin (95 %). Les aménagements, tels que banquettes et plantations, seuils en gabion, ont donc bien un effet en amont sur la stabilisation des sols, et surtout en aval sur la régularisation des débits. En revanche, ces zones ne sont pas productrices de sédiments susceptibles d'envaser les retenues. Ainsi, dans une perspective de contrôle de l'envasement, ce sont plutôt les *badlands* argileux qui doivent retenir toute l'attention des aménageurs. Des techniques adaptées doivent être recherchées, car les reboisements réalisés en 1968 se sont soldés par un fort taux d'échec.

Références bibliographiques

- CHEGGOUR A., SIMONNEAUX V., SABIR M., ROOSE E., 2006. Recherche d'indicateurs de ruissellement et d'érosion par simulations de pluie sur les principaux sols du bassin versant du Rhéraya (Haut-Atlas occidental, Maroc), International Soil Conservation Organisation Symposium, May 14-19 2006, Marrakech, Morocco.
- DRPE (DIR. DE LA RECHERCHE ET DE LA PLANIFICATION DE L'EAU), 1988. *Étude du plan directeur intégré d'aménagement des eaux des bassins Sebou, Bou, Regreg, Oum er Rbia et Tensift. Motor Columbus (Suisse), Coyne et Bellier (France), CID (Maroc), Ingema (Maroc).*
- 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: 313–23.
- 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, 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.
- VAUCHEL, 2005. *Hydraccess v 2.1.4 : logiciel de gestion et traitement de données hydro-météorologiques*. Institut de recherche pour le développement (IRD), Paris.



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.