

Etude du ruissellement et du transport solide dans les Monts de Beni-Chougrane, Algérie: utilisation de la simulation de pluie

MOHAMED MEDDI¹, YAHIA BOUKHARI² & BOUDDKHIL MORSLI³

¹ LRERP, Université de Khemis Miliana, Algérie
mmeddi@yahoo.fr

² Centre Universitaire de Mascara, Algérie

³ INRF, Mascara, Algérie

Résumé En Algérie, la généralisation et l'accélération de l'érosion révèlent des aspects de plus en plus inquiétants, voire catastrophiques. Les zones des montagnes restent les plus touchées par ce phénomène. Les monts de Beni-Chougrane représentent un bon exemple du Tell occidental pour l'analyse des problèmes d'érosion. L'étude du ruissellement et du transport solide par la technique de simulation de pluie nous a permis à volonté de fixer les caractéristiques des averses et l'état d'humidité du sol tout en prenant en compte les variables *in situ*. L'établissement d'un protocole expérimental de simulation de pluie consiste à définir la chronologie des différentes averses avec leurs caractéristiques, de façon à se rapprocher d'une situation naturelle moyenne, en apportant le maximum de renseignements dans un temps relativement court. Les résultats trouvés montrent l'intérêt de la technique dans la compréhension du phénomène.

Mots clefs Algérie; érosion; Monts de Beni-Chougrane; ruissellements; simulation de pluie

Use of rainfall simulation to investigate runoff and sediment transport in the Beni-Chougrane Mountains, Algeria

Abstract In Algeria, both the increasing incidence and the acceleration of erosion must be seen as a cause for serious concern. The mountain zones are most affected by such problems. The Beni-Chougrane Mountains provide a good example of an area of the Western Tell for the study of erosion problems. Use of a rainfall simulator to study runoff and sediment transport affords a means of controlling both rainfall characteristics and soil moisture levels, so that the influence of other local variables can be explored. Establishment of an experimental protocol for rainfall simulation investigations requires consideration of both the timing and the magnitude of the rainfall inputs, in order to both replicate natural conditions and to obtain the maximum amount of information in a relatively short time. The results obtained confirm the value of the approach in understanding erosion processes.

Key words Algeria; Beni-Chougrane mountains; erosion; rainfall simulation; runoff

INTRODUCTION

En Algérie, l'érosion sans cesse croissante dans les milieux montagneux entraîne la dégradation des conditions de vie des riverains et des conséquences désastreuses. L'approche dans la préservation et la valorisation des terres de montagne doit nécessairement tenir compte des facteurs du milieu, des processus et des causes. Une étude en la matière peut aider à une meilleure compréhension et par conséquent à une meilleure

protection et valorisation des sols. Pour étudier de façon fiable en zone de montagne, où la variabilité des états est très importante, les risques du ruissellement et de l'érosion, et d'intégrer les variations saisonnières, nous avons opté pour une approche d'évaluation du risque du ruissellement et de l'érosion qui est entreprise par la méthode de la simulation des pluies: conduite d'études en mode synchrone instantané. La simulation de pluie intègre la variabilité des caractéristiques des averses et celles des caractéristiques physiques du sol. Cette technique permet une quantification des éléments solides au niveau de la parcelle pour chaque type de sol. Cette approche est très utile dans l'évaluation du budget de sédiments du bassin en question. Dans notre cas, cette technique va nous permettre d'évaluer le transport solide pour les différents cas étudiés (type de sol et pente) pour pouvoir évaluer dans le futur l'envasement du barrage de Fergoug et de protéger les sols agricoles. L'envasement de la retenue du barrage de Fergoug I (ancien barrage: 1885–1926) a réduit la capacité utile de 27×10^6 à 14×10^6 m³ durant les 31 ans d'exploitation, soit un volume de vase égal à 13×10^6 m³. Concernant la retenue du barrage actuel, la capacité utile se trouve ainsi réduite à 17×10^6 m³ en 1970 à 12×10^6 m³ en 1973 et à 4×10^6 m³ en 1985, ce qui représente respectivement un volume de vase de 5 et 13×10^6 m³ équivalent en définitif à un taux de comblement de 80% ce qui a amené les services concernés à dévaser le barrage à partir de l'année 1986, par le procédé de dragage.

SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

Les monts de Béni-Chougrane se trouvent dans le nord-ouest algérien. Ils sont l'un des principaux monts chaînantes du tell occidental d'Oranie, avec une superficie de 2860 km² (BNEDER, 1982). Le bassin versant de l'Oued Fergoug, l'objet d'étude fait partie intégrante des monts de Béni-Chougrane (Fig. 1). Ces monts sont sujets aux activités intenses du phénomène d'érosion (Morsli *et al.*, 1988; Morsli, 1996).

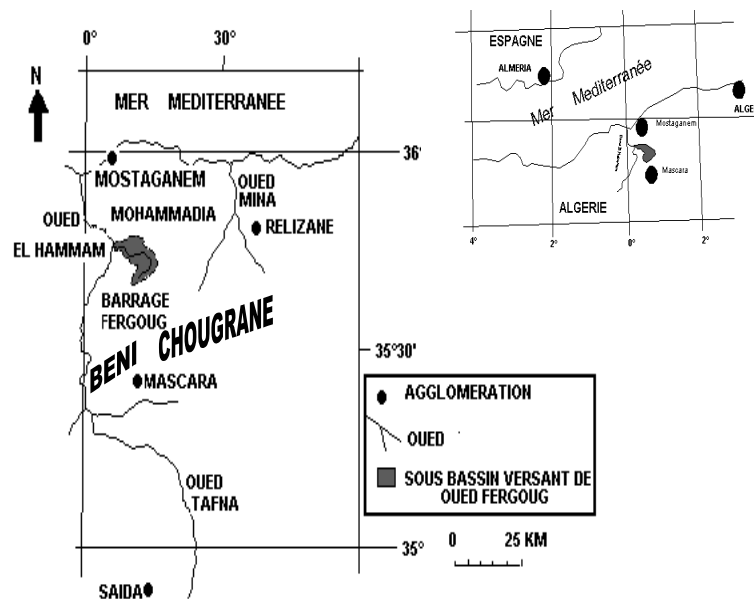


Fig. 1 Situation géographique.

ETUDE DU RUISSÈLEMENT ET DU TRANSPORT SOLIDE

La plupart des méthodes de mesures du ruissellement et d'infiltration des sols ont mis en évidence le besoin de trouver de nouvelles techniques plus proches des conditions naturelles, tout en s'affranchissant du hasard et des caprices de ces dernières. Il est évident pour étudier de manière adéquate les phénomènes induit par la pluie, l'idéal serait de pouvoir les modifier ou les faire varier pour mettre en évidence le rôle de chacun, tout en s'affranchissant du hasard et des caprices de la nature (Roose, 1997). La simulation de pluie est une méthode qui tente de répondre à cet objectif, elle permet d'obtenir sur le terrain, de façon expérimentale dans un temps relativement court, de nombreuses données mesurées sur le comportement de l'eau en surface et dans le sol sous des averses artificielles effectuées et contrôlées à l'aide d'appareillage que nous appelons simulateur de pluie (Morsli *et al.*, 2002). Le simulateur de pluie que nous avons utilisé est de type Orstom.

Protocole expérimental

Les techniques de simulation de pluie permettent de répéter à volonté des événements pluvieux. Avec les pluies simulées presque tous les paramètres peuvent être contrôlés en agissant sur les intensités, les hauteurs et les énergies, l'état d'humidité du sol et le temps en choisissant la date, l'heure, la durée et le nombre de répétitions. Notre travail portera sur l'évaluation du risque de ruissellement et de l'érosion, en fonction de certains facteurs causals: l'état d'humidité, la pente du sol et l'intensité de la pluie. La campagne de simulation de pluie a été effectuée durant une période de quatre mois. Le sol brun calcaire vertique argileux, très représentatif, a fait l'objet de cette étude.

Les intensités des pluies

Pour déterminer les intensités et les durées, nous avons étudié la nature des pluies naturelles, leurs hauteurs, leurs intensités et leurs durées. La pluviométrie est extrêmement variable d'une année à l'autre et d'une saison à une autre. Cette évolution ne se fait pas à une vitesse uniformément accélérée, mais très irrégulièrement d'année en année, avec des pointes de très grande amplitude lors de certaines années de pluviométrie exceptionnellement concentrée (Benchetrite, 1972). Pour la station de Aïn-Fares, la variation des précipitations inter annuelles est très importante; pour l'année de 1969 la pluviométrie est de 771.4 mm, alors que pour l'année de 1983 elle est de 129 mm seulement. Les chutes torrentielles surviennent pendant les mois de forte pluviosité de la fin du novembre à février, mais elles peuvent intervenir également pendant d'autres mois, notamment en octobre voir septembre, et surtout en avril et mai. D'une manière générale, la durée des pluies de forte intensité ($40\text{--}60\text{ mm h}^{-1}$) est de 5 à 10 minutes. Les plus fortes qui dépassent les 100 mm h^{-1} , leur durée ne dépasse pas les 5 minutes. L'analyse des pluies et le type de simulateur de pluie, nous ont conduit à choisir des intensités de 30, 50 et 80 mm h^{-1} qui sont proche de la réalité.

Les états d'humidité du sol

Les évènements pluvieux ont été appliqués sur trois états d'humidité du sol:

- Etat sec: nous considérons sec, les sols n'ayant pas reçu de pluie depuis 25 jours ou d'avantage; les campagnes de simulation de pluie ont été effectuées lorsque le sol est très sec.
- Etat humide: il s'agit d'un sol ayant reçu peu de pluies et 24 h doivent être écoulées après la dernière pluie.
- Etat très humide: il s'agit d'un sol ayant reçu récemment plusieurs pluies, la dernière s'étant produite au plus une heure auparavant. Dans notre cas la pluie simulée est appliquée après 15 min de la pluie précédente.

La pente

Les monts de Béni-Chougrane se caractérisent par une topographie extrêmement confuse où se mêlent les sommets des massifs en dômes, les hautes surfaces en plateaux et les vallées profondément encaissées. Leur altitude s'élève en générale du sud-ouest au sud-est passe de 300 à 800 m. Les pentes supérieures à 12.5% représentent 61.53% de la surface du bassin versant (Tableau 1; Bouchetata, 2000).

Sensibilité du sol à l'érosion hydrique

Le Tableau 2 montre que 30% des sols des monts de Beni-Chougrane présentent une forte sensibilité à l'érosion hydrique. Ces zones nécessitent des stratégies adéquates de lutte anti-érosive afin de diminuer ce pourcentage alarmant.

Tableau 1 Superficies et classes de pente (Bouchetata, 2000).

No. de classe	Classe de pente (%)	Caractéristique de la pente	Superficie (ha)	Pourcentage (%)
1	>50	Très forte	2 474 168	20.30
2	25–50	Forte	1 829 429	15.01
3	12.5–25	Moyenne	3 195 694	26.22
4	0–12.5	Faible	4 688 724	38.47

Tableau 2 Degré de sensibilité et superficies des sols.

Sensibilité	Superficie (ha)	Pourcentage (%)
Forte	3616.18	29.67
Moyenne	7719.88	63.34
Faible	851.94	6.99

Les paramètres mesurés

La procédure habituelle consiste à placer sur la parcelle un bac en tôle de 1 m², sur lequel on procède au réglage des intensités de pluie choisies dans notre protocole, à condition

de conserver à chaque manipulation et chaque répétition la même hauteur du gicleur et le même centrage de l'appareil sur la parcelle. Les mesures se divisent en deux étapes: l'eau à la surface du sol (luis et ruissellement), les charges solides (les concentrations). Des prélèvements d'eau ruisselée sont effectués à l'exutoire de la parcelle permettant ainsi de mesurer les volumes ruisselés et de quantifier la charge solide (concentrations).

ANALYSE DES DIFFERENTS PARAMETRES MESURES

La pluie d'imbibition

La pluie d'imbibition (P_i) correspond à la phase d'humectation du sol, durant laquelle le volume d'infiltration est supérieur à la pluie tombée et où aucun ruissellement n'est observé. Pour les différentes expériences que nous avons réalisées, le temps de la phase d'imbibition varie entre 6 à 70 min (8–35 mm de pluie) pour les sols secs; 1 à 3 min (1.6–2.6 mm de pluie) pour les sols humides et d'une minute (0.5–1.3 mm de pluie) pour les sols très humides. L'humidité préalable du sol et l'intensité de la pluie sont inversement proportionnelles à la durée de la phase d'imbibition. L'intensité de la pluie joue un rôle important sur la phase d'imbibition. Lorsque l'intensité de la pluie augmente, le déclenchement du ruissellement est plus rapide. Lorsqu'on passe de 30 à 80 mm h⁻¹ d'intensité de pluie, la valeur de la durée de la phase d'imbibition diminue de 88% pour les sols secs, de 34 à 50% pour les sols humides et de 25 à 50% pour les sols très humides.

Ruissellement

Le déclenchement du ruissellement est influencé par l'intensité des pluies et la pente mais surtout par l'humidité préalable du sol et de l'état de surface. L'évolution du ruissellement trouvée a presque la même allure que celle enregistrée par Lafforgue (1977). Le ruissellement de surface, lorsqu'il prend assez d'importance, peut finir par se concentrer et acquérir une certaine énergie érosive capable de creuser la terre et de former des ravines. Cette énergie érosive augmente en principe avec la pente. Ce qui a été observé dans le cas de forte intensité et un sol très humide.

La phase de transition

La phase de transition (T_m) représente la durée entre le déclenchement du ruissellement et sa stabilité proprement dite. La durée de la phase de transition varie en fonction de l'humidité préalable du sol et de l'intensité de la pluie. L'évolution importante et rapide des états de surface consiste à une dégradation des agrégats et une redistribution des particules détachées sous l'effet des pluies (Casenave & Valentin, 1989). Cette évolution suit un cycle bien connu, à savoir: désagrégation et fonte des agrégats fins et formation d'une croûte structurale; puis accroissement du ruissellement atteignant son régime permanent. Comme l'humidité, l'intensité de la pluie a une influence sur la durée de la

phase de transition. Lorsqu'on passe de 30 à 80 mm h⁻¹ d'intensité de pluie, la durée de la phase de transition (T_m) diminue de la moitié pour les trois états d'humidité des sols. Donc la durée de la phase de transition est inversement proportionnelle à l'intensité de la pluie et à l'humidité préalable du sol.

Coefficient du ruissellement

Le coefficient de ruissellement (K_r) qui est le rapport du volume d'eau ruisselé (litres) au produit de la pluie (mm) par la surface de la parcelle (1 m²). Le coefficient de ruissellement maximum est le rapport du volume d'eau ruisselé maximum (litres) au produit de la pluie (mm) par la surface de la parcelle (1 m²). D'une façon générale, les coefficients de ruissellement sont plus élevés sur un sol humide et très humide (61–87%) que sur un sol sec (14–50%). Le coefficient de ruissellement est plus élevé pour les sols humides et très humides et peut atteindre jusqu'à 87.5%. Pour les sols secs, on enregistre des valeurs de l'ordre de 14 à 50%, cela est due principalement à l'importance de la pluie d'imbibition qui peut atteindre jusqu'à 35 mm cela a une relation directe avec la structure du sol. D'autre part, une fois l'intensité de la pluie augmente la valeur du coefficient de ruissellement augmente de % en passant 10 à 100 d'une intensité de pluie de 30 à 50 mm h⁻¹ et de 10 à 60% en passant d'une intensité de 50 à 80 mm h⁻¹, et augmente de 300% en passant de 30 à 80 mm h⁻¹. L'effet de la pente d'une façon général favorise l'augmentation du coefficient de ruissellement, Le passage d'une pente de 12.5 à 25% entraîne une augmentation de K_r . Cela est due principalement à la réduction de l'effet de freinage du au frottement de l'écoulement de l'eau sur une pente forte par rapport à une pente plus faible. Le coefficient de ruissellement est proportionnel à l'humidité préalable du sol, à la pente et à l'intensité de la pluie.

L'infiltration finale

Elle correspond à la différence entre le volume de ruissellement et le volume d'eau de la pluie tombée en un temps donné et elle correspond au coefficient de ruissellement maximal. Cette infiltration varie en fonction des trois paramètres: la pente, l'humidité du sol et l'intensité de la pluie. Elle varie de 17.4 à 5.2 mm h⁻¹ pour les sols secs et de 10 à 1.20 mm h⁻¹ pour les sols très humides. Si on passe d'un sol sec à un sol humide, la valeur de l'infiltration finale diminue de 35 à 50% et de 23 à 45% d'un sol humide à un sol très humide. Le passage d'une intensité de pluie de 30 à 50 mm h⁻¹ engendre une diminution de la valeur de l'infiltration finale de 35 à 46% et lorsqu'on passe de 50 à 80 mm h⁻¹, elle diminue de 44 à 63%. L'influence de la pente n'est pas négligeable sur l'infiltration finale, lorsqu'on passe d'une pente de 12.5 à 25%, elle diminue de 20 à 26%. Donc, l'infiltration finale est inversement proportionnelle à l'intensité de la pluie, à la pente et à l'humidité préalable du sol.

Concentrations

La collecte des particules solides à l'exutoire de la parcelle permet de quantifier l'érosion, bien qu'on ne puisse pas parler d'érosion à l'échelle d'une parcelle d'un mètre carré.

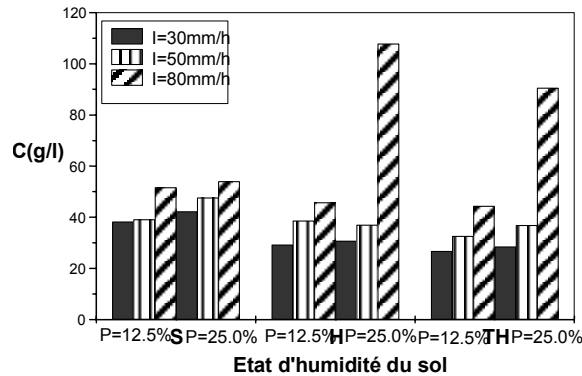


Fig. 2 Variation des concentrations pour les différents cas de sols étudiés.

Valentin (1981) propose le terme de détectabilité et la définit comme l'aptitude d'un sol à être fractionné en particules susceptibles d'être transportées. Les filets d'eau n'ont pas encore assez de vitesse et d'énergie au bout d'un mètre pour entailler la surface du sol et cisailer les mottes comme sur les champs (Roose, 1989). Le transport solide nécessite une source d'énergie. L'énergie des gouttes précipitées désagrège les fines particules du sol et qui peuvent ensuite être entraînées par le ruissellement en fonction de sa capacité de transport. Ce mécanisme commence avec le ruissellement en nappe, mais très rapidement surtout dans le cas des pentes relativement fortes, se créent des rigoles puis des ravines où le rôle érosif du ruissellement peut devenir très important. D'une façon générale, les concentrations sont de l'ordre de 38 à 54 g l⁻¹ pour les sols secs où les particules sont susceptibles au transport par les lames d'eau ruisselées et de 26 à 107 g l⁻¹ pour les sols humides et très humides. Les petites particules désagrégées qui se détachent facilement sont immédiatement emportées par les eaux de ruissellement. Par contre à l'état humide les pluies précédentes ont déjà attaqué les agrégats terreux, provoquant une diminution de la rugosité, un colmatage des pores et une formation d'une croûte superficielle qui réduit relativement l'ablation du sol tout en engendrant le ruissellement. Nous avons remarqué lors des fortes pluies (80 mm h⁻¹), les concentrations sont très élevées sur sol humide que sur sol sec. Lors de ces fortes pluies, lorsque le ruissellement s'est intensifié, certains filets de ruissellement se sont développés en griffes et en rigoles ce qui a engendré un développement d'une érosion en rigoles, donc un cisaillement par les eaux de ruissellement et par conséquent une augmentation de sédiments. Cette augmentation de sédiments peut être dû aussi à l'énergie des gouttes des premières pluies. La structure des sols évolue rapidement sous l'action des pluies, la nature et l'intensité de cette évolution dépendent de nombreux facteurs et conditions (Boiffin, 1984; Le Bissonais *et al.*, 1988). L'effet de la pente est observé en passant de 12.5 à 25%, les valeurs de la concentration sont deux à trois fois plus grandes. Une pente faible peut favoriser l'accumulation des particules du sol contraignant la force du ruissellement, par contre une pente plus accentuée engendre une abondante lame ruisselée chargée du maximum de particules de sol. Le détachement des particules par la pluie décroît aux intensités de la pente les plus douces, en raison d'un épaissement de la lame d'eau ruisselante, celle agit en protégeant le sol de l'impact des gouttes de pluie. Donc la concentration est proportionnelle à l'intensité de la pluie et la pente.

CONCLUSION

Au terme de ce travail, nous pouvons dire que les facteurs d'érosion étudiés au niveau de ces monts font bien apparaître la sensibilité des sols à l'égard de l'érosion hydrique. L'établissement d'un protocole expérimental de simulation de pluie consiste à définir la chronologie des différentes averses avec leurs caractéristiques, de façon à se rapprocher d'une situation naturelle moyenne, en apportant le maximum de renseignements dans un temps relativement court. L'aboutissement aux différents résultats par l'application de cette technique nous a amené à déduire les conclusions suivantes:

- Le volume ruisselé augmente proportionnellement en fonction de l'état d'humidité du sol, de la pente et de l'intensité de la pluie, où on a constaté qu'une fois le sol se sature progressivement, il laisse la place à un ruissellement favorisé par le tassement de la surface du sol.
- L'infiltration est maximale dans les sols secs et diminue progressivement pour les sols humides et très humides, une fois le sol est sec il commence à se saturer d'eau au niveau des horizons superficiels.
- Le transport solide est important pour les sols secs et commence à diminuer au fur et à mesure que le sol devient de plus en plus humide.

Par ce travail nous comptons développer un moyen efficace d'estimation des éléments solides (établissement d'un budget au niveau du bassin versant alimentant le barrage de Fergoug).

REFERENCES

- Benchetrit, M. (1972) *L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie*, 126–129. Presse, Universitaire de France.
- BNEDER (1982) Etude et développement intégré des Monts de Béni-Chougrane, rapport Tome no. 1, Algérie.
- Boiffin, R. (1984) La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse Doc-Ing., INA, Paris, France.
- Bouchetata, A. (2000) Cartographie des risques d'érosion hydrique des sols par l'utilisation du SIG: cas du sous bassin de l'Oued Fergoug (Mascara). Thèse de Magister, Centre Universitaire de Mascara, Algérie.
- Caseneva, A. & Valentin, C. (1989) *Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration*. Orstom, Paris, France.
- Lafforgue, A. (1977) *Inventaire et examen des processus élémentaires du ruissellement et d'infiltration sur parcelles*, 299–344. Orstom, Paris, France.
- Le Bissonnais, Y., Benkhadra, H., Chaplot, V., Fox, D., King, D. & Daroussin, J. (1998) Crusting, runoff and sheet erosion on silty loamy soils at various scales and upscaling from two small catchments. *Soil Tillage Res.* **46**, 69–80.
- Morsli, B. (1996) Caractérisation, distribution et susceptibilité à l'érosion des sols de montagne: cas des monts de Béni-Chougrane Mascara. Thèse de Magister, INA El-Harrach, Alger, Algérie.
- Morsli, B. & Meddi, M. (2002) Etude du ruissellement et du transport solide sur parcelles expérimentales. In: *Utilisation de la simulation de pluies* (Actes du séminaire sur la gestion de l'eau 2002), 80–88. Université de Mascara, Algérie.
- Morsli, B., Benelouati, A. & Roose, E. (1988) Erosion et aménagement conservatoire de trois micro-bassins versants dans les monts de Béni-Chougrane. Rapport, INRF-Orstom, Paris, France.
- Roose, E. (1994) Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols: stratégie nouvelle de lutte anti-érosive. Rapport de l'Orstom, Montpellier, France.
- Roose, E. (1998) 40 ans de recherches multidisciplinaires sur l'érosion à l'Orstom. *Réseau Erosion* **18**, 54–66.