

Erosion et ruissellement en montagnes méditerranéennes d'Algérie du Nord: analyse des facteurs conditionnels sous pluies naturelles et artificielles

B. MORSLI¹, M. HABI², M. MAZOUR³, A. HAMOUDI⁴ & A. HALITIM⁵

(Reçu le 15/01/2012; Accepté le 15/03/2012)

Résumé

En Algérie, environ 6 millions d'hectares sont exposés à une érosion active. L'érosion spécifique varie entre 2000 et 4000 t/km²/an. Vu les enjeux prioritaires, il s'est manifesté un besoin de recherche de quantification des processus et de l'impact des facteurs conditionnels et en particulier des systèmes de gestion. Ce travail rentre dans ce cadre et a permis de contribuer à l'étude des facteurs conditionnels de l'érosion en nappe sous pluies naturelles et artificielles.

L'érosion en nappe sur les diverses situations est de 2,5 à 9 t/ha/an sur sols nus, de 0,06 à 2,7 sur sols cultivés et de 0,06 à 2,7 sur sols en jachère. Les grandes exportations sont liées aux ruissellements exceptionnels (30 à 60 %).

Les indicateurs pertinents du ruissellement et de l'érosion, sont liés au sol, aux états de surface du sol, à la couverture du sol et aux événements pluvieux. Nous avons constaté qu'une variation d'un de ces facteurs entraîne une variation du déclenchement du ruissellement et de l'érosion. Le ruissellement peut apparaître pour des valeurs seuils très faibles (2 à 10 mm de pluie) sur les situations dégradées et sur sols nus battus par les pluies.

Mots-clés: Erosion - Ruissellement – Sol – Parcelle d'érosion - Pluie - Systèmes de gestion – Etat de surface – Nord ouest algérien.

INTRODUCTION

La zone méditerranéenne a la réputation d'être sujet à des risques érosifs très élevés (Hudson, 1991). Au Maghreb, les potentialités en eau et en sol sont sérieusement menacées (Heush et al., 1970; Demmak, 1982; Meddi, 1992; Morsli, 1996; Touaibia et al., 2000; Mazour et al., 2002; Laouina et al., 2000; Roose et al., 1993). En Algérie, 45 % des terres fertiles ont été endommagées par l'érosion (Gay, 1995). L'érosion spécifique annuelle moyenne varie entre 2 000 et 4 000 t/km² (Demmak, 1982). Environ 6 millions d'hectares sont exposés aujourd'hui à une érosion active (Heddadj, 1997). Le ministère de l'Agriculture (1984) chiffre la perte de terres entre 20.000 et 40.000 hectares par an. Les pertes annuelles des eaux dans les barrages sont estimées à environ 20 millions de m³ dues à l'envasement (Remini, 2000). Les conséquences ne cessent de s'amplifier et la subsistance des populations est de plus en plus menacée, principalement dans les montagnes où se répartissent plus de 8 millions d'habitants. De grands moyens ont été déployés, mais ces efforts n'ont pas toujours atteint

leurs objectifs. La maîtrise de l'érosion est devenue donc un enjeu prioritaire. Vu le manque de données chiffrées sur l'ampleur des processus et l'insuffisance sur la connaissance et la hiérarchisation de l'influence des facteurs en cause, il s'est manifesté un besoin de recherche sur les facteurs conditionnels de l'érosion et en particulier des systèmes de gestion au niveau des versants : c'est l'objet de ce travail.

MÉTHODOLOGIE

L'approche est basée sur l'utilisation de parcelles expérimentales de 100 m² (fig.1) sur lesquelles les dynamiques érosives et les différentes situations culturales ont été analysées pendant 12 années dans le nord ouest algérien. Les principales utilisations du sol, préalablement identifiées, ont été analysées.

Cette approche est complétée par l'utilisation de la simulation de pluies pour analyser certaines situations et états de surface qu'il n'a pas été possible d'analyser sur des parcelles expérimentales de 100 m². Le simulateur de

¹ Institut National de la Recherche Forestière (INRF), Unité d'Érosion et de Désertification, Tlemcen, Algérie, morsli_boutkhal@yahoo.fr

² Université de Tlemcen, Faculté de l'Ingénieur, Tlemcen, Algérie, moha.habi@gmx.de

³ Centre Universitaire d'Ain Témouchent Algérie, mohamed_mazour@yahoo.fr

⁴ Unité d'érosion, INRF BP 37 Chéraga Alger, Algérie, hamoudinrf@yahoo.fr

⁵ Université de Batna, Dpt. Agronomie, Batna, Algérie; amor.halitim@gmail.com

pluie utilisé est de type ORSTOM (fig.1). Avant chaque simulation, l'état de surface des parcelles est caractérisé. Nous avons relevé le taux de surfaces fermées (pellicule, croûte, zones tassées et cailloux inclus dans la masse du sol) et de surfaces couvertes (adventices, litière et cailloux) à travers l'observation régulière par la méthode des points quadrats (Roose, 1996) ainsi que l'humidité initiale (des échantillons prélevés avant et après la simulation dans l'horizon de surface sont pesés et placés à l'étuve à 105°C pendant 24 heures). Ces mesures sont complétées par un suivi photographique (photos numériques) pour caractériser l'évolution de l'état de surface du sol.

La zone d'étude est située dans les monts de Beni Chougrane-Mascara et de Tlemcen (fig.2). La zone du nord ouest algérien, où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres, est la région la plus érodée du pays. De nombreux facteurs, tant physiques qu'humains (climat, relief, lithologie, modes d'utilisation des terres), font des chaînons du nord ouest des régions de forte érosion. Les problèmes de ruissellement et d'érosion se sont aggravés et étendus à des zones jusqu'ici épargnées. L'érosion hydrique est devenue un phénomène très répandu et tellement grave qu'on peut le médiatiser de catastrophe.

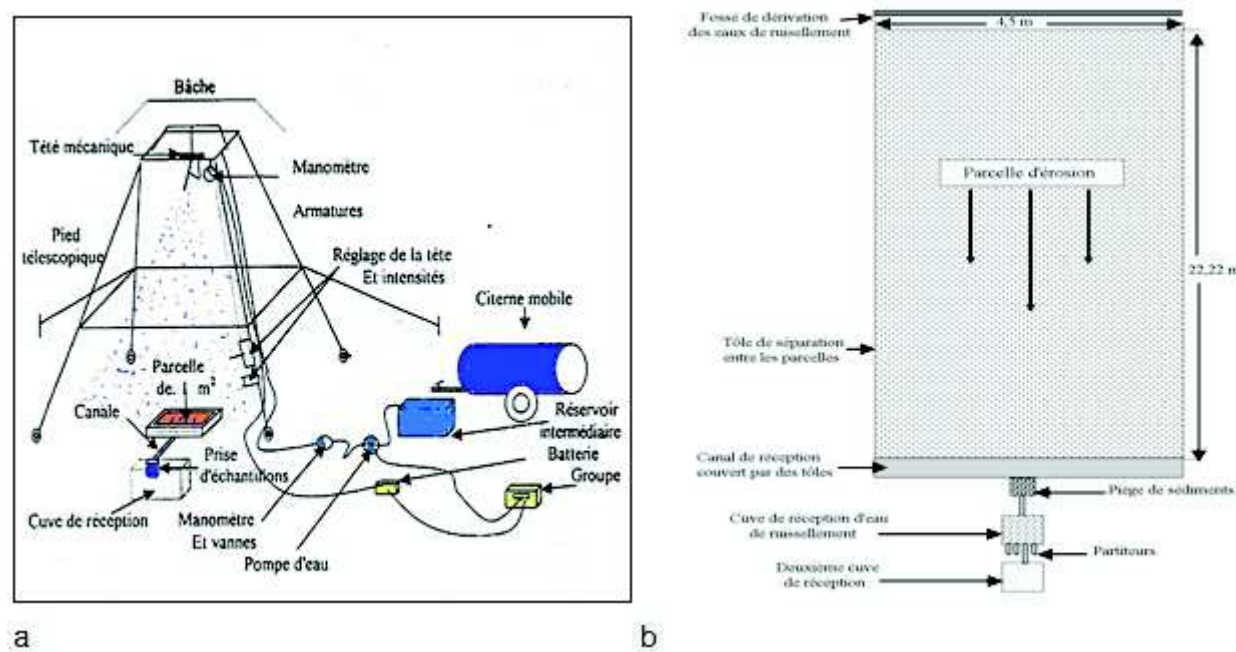


Fig. 1. (a) le simulateur de pluie utilisé et ses accessoires (modèle ORSTOM), (b) parcelle d'érosion de 100 m²

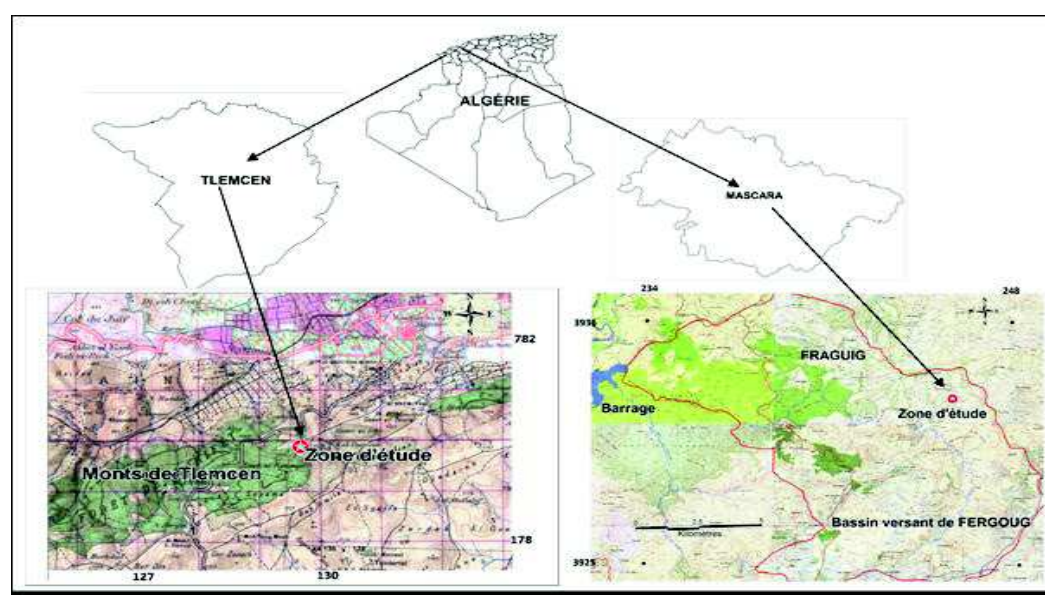


Fig. 2. Situation des zones d'étude

RESULTATS

Les pluies enregistrées dans ces zones de montagne du Nord ouest algérien, pendant la période d'étude (1993 à 2004), varient de 240 à 540 mm (coefficient de variance = 0,30). La campagne 1992/1993 présente la période la plus sèche (242 mm) et celle de 1995/1996, la campagne la plus pluvieuse (540mm). Dans le Tell algérien, la fréquence des années de grande sécheresse est de 20 % dans le Tell. La répartition des pluies, à l'échelle annuelle est très irrégulière. Durant la saison des pluies, ils se présentent plusieurs épisodes secs. Les précipitations durant ces années de mesures sont en général faibles, les pluies tombées dont la hauteur est inférieure à 10 mm représentent 60 %.

Les cumuls de quatre ou cinq pluies en 24 heures, les plus fortes de l'année, peuvent dépasser les 30 % des précipitations annuelles. Les pluies les plus fortes ont la même probabilité d'apparition dans les années de sécheresse que dans celles d'excédent pluviométrique. Parmi les averses les plus graves, les pluies du 10 et 11 novembre 2001, avec plus de 100 mm en deux jours.

Les épisodes pluvieux sont caractérisés par l'abondance et la violence des averses de courte durée observées le plus souvent lors des orages de fin d'été et d'automne : les intensités peuvent dépasser les 100 mm/h pour des durées de moins de 10 mn (120 mm/h en 5mn pendant la campagne 1995/1996). Pour des durées plus longues, les intensités ont atteint 75 mm/h pendant 30 mn.

L'indice Rusa d'agressivité des pluies de l'équation de Wischmeier et Smith (1960) calculé sur la base de dépouillement des pluies enregistrées sur les pluviographes

oscille entre 12,1 et 23,8 unités en moyenne. Ces résultats sont en concordance avec ceux obtenus par Gomer (1992), Roose et al (1993) et Touaibia et al (2000). Cela semble indiquer que les pluies saturantes, les systèmes de gestion, les sols et leur interaction sont à l'origine des phénomènes catastrophiques plus que l'agressivité des pluies orageuses. La conjugaison des caractéristiques morpho-pédo-climatiques engendre des ruissellements et des érosions considérables aux exutoires des bassins versants (Lacosta, 1993).

L'effet sol

D'après l'équation USLE, le facteur d'érodibilité varie entre 0,002 et 0,04, classant ainsi les sols de cette zone comme étant des sols résistants. Les valeurs obtenues par le nomographe de Wischmeier et al (1971) montrent par contre que les sols limoneux en particulier sont moyennement fragiles à fragiles (tabl.1). L'étude TESCULT (2004) a montré que la majorité du bassin de Fergoug-Mascara possède un facteur K variant de 0,032 à 0,065 t MJ-1mm-1 (le K a été calculé en fonction des classes des unités pédo-géologiques).

L'indice d'instabilité structurale (Is) qui permet de prévoir la sensibilité du sol à l'érosion varie entre 0,6 et 4,1 pour les sols étudiés (tabl.2). Les sols riches en limon et en sable fin (SB, SR) et pauvres en matière organique apparaissent comme les plus sensibles à la battance ($1,8 < Is < 4,1$). Les taux les plus élevés d'agrégats stables sont enregistrés sur sol brun vertique à texture argileuse. Par contre les taux les plus faibles sont ceux du sol brun sur grès de texture limoneuse, ces valeurs montrent la faible résistance des sols limoneux au phénomène d'éclatement.

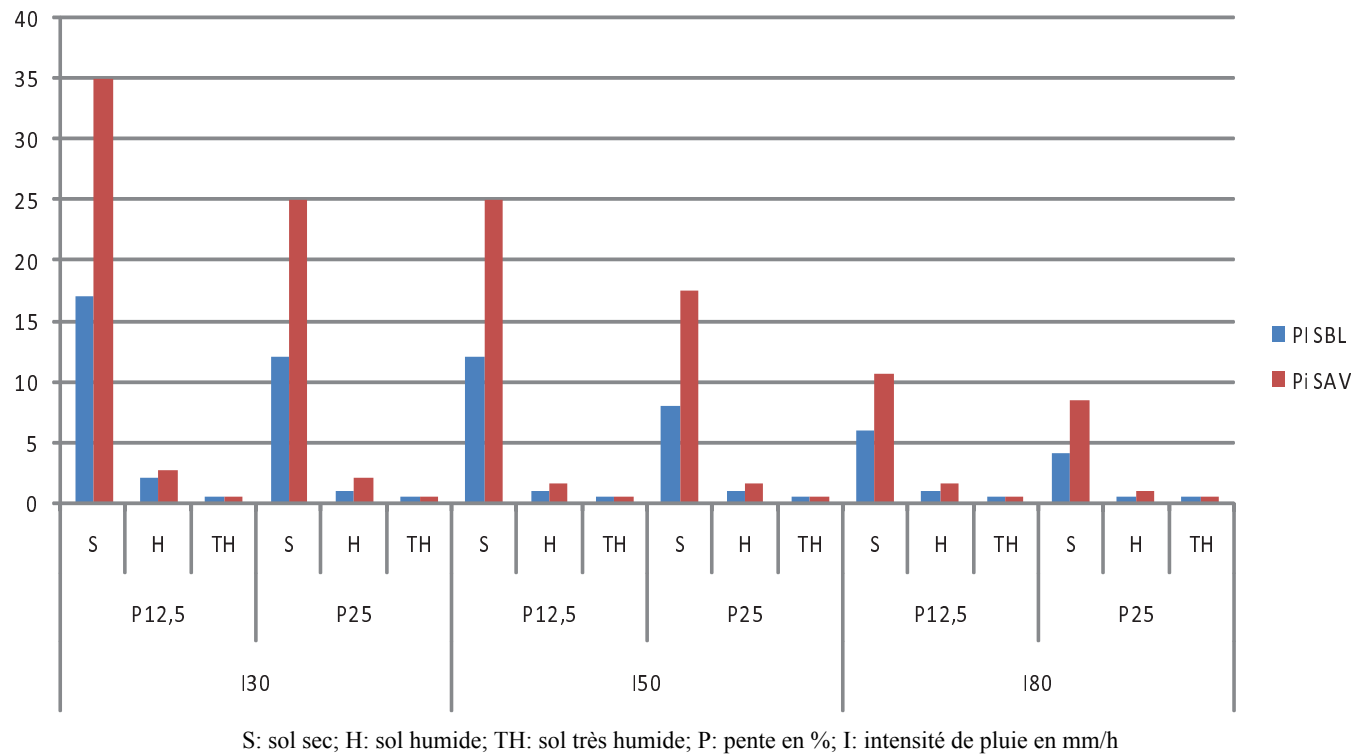
Tableau 1. L'érodibilité des principaux types de sols du nord ouest algérien

| Types de sols | Ruissellement % | | Erosion (t/ha/an) | Erodibilité Kusle | Erodibilité nomogramme |
|------------------------------|-----------------|-------|-------------------|-------------------|------------------------|
| | Kram | Krmax | | | |
| Brun calcaire vertique | 2,7- 9,3 | 32 | 1,5 - 6,8 | 0,002 - 0,008 | 0,11 - 0,15 |
| Brun calcaire (limoneux) | 4,1-12,2 | 32 | 2,6 - 8,5 | 0,018 - 0,040 | 0,26 - 0,40 |
| Rouge fersiallitique | 2,2 -13,6 | 27 | 2,4 - 5,2 | 0,014 - 0,020 | 0,21 - 0,34 |
| Vertisol | 3,05 - 6,8 | 25 | 1,4 - 6,5 | | 0,04 - 0,15 |
| Brun calcaire colluvial | 10,2 | 36 | 4,1 | 0,004 - 0,015 | 0,15 - 0,20 |
| Peu évolué sur grès | | | | | 0,32 - 0,39 |
| Peu évolué sur marne | | | | | 0,14 - 0,23 |
| Peu évolué d'apport alluvial | | | | | 0,17 - 0,25 |
| Isohumique | | | | | 0,13 |

Tableau 2. L'érodibilité des principaux types de sols du nord ouest algérien

| Caractéristiques | SB | CV | SBV | CV | SR | CV |
|-------------------------------------|------|------|------|------|-------|------|
| Matière organique % | 1,8 | 0,32 | 2,5 | 0,26 | 2,0 | 0,31 |
| Agrégats stables à l'alcool (AGA) % | 12,8 | 0,34 | 58 | 0,07 | 23,28 | 0,34 |
| Agrégats stables au benzène (AGB) % | 5,8 | 0,42 | 32,1 | 0,05 | 11,88 | 0,18 |
| Agrégats stables à l'eau (AGE) % | 8,1 | 0,31 | 35,8 | 0,1 | 14,16 | 0,24 |
| Indice d'instabilité | 4,1 | 0,41 | 0,61 | 0,22 | 1,88 | 0,41 |
| Densité apparente | 1,6 | 0,12 | 1,3 | 1,39 | 1,6 | 0,12 |

SBV: sol brun calcaire vertique (argileux); SB: sol brun calcaire (limoneux); SR: sol rouge.



S: sol sec; H: sol humide; TH: sol très humide; P: pente en %; I: intensité de pluie en mm/h

Fig. 3. Effet des états de surface et de l'intensité de pluie sur la pluie d'imbibition

L'indice d'instabilité structurale (Is) montre que les sols bruns vertiques (SBV), de texture argileuse sur marnes, très fréquents dans ces zones, sont les plus résistants ($Is < 1$) et les moins érodibles ($Kusle \leq 0.002$). Ils présentent une bonne stabilité structurale et l'infiltration est très élevée sur sol sec à cause de leur comportement hydrodynamique très particulier (phénomène de retrait-gonflement des argiles). Les sols argileux étudiés possèdent plus de 50 % d'argile de type illite et montmorillonite.

En réalité, si les sols vertiques sont résistants à la battance, une fois réhydratés le ruissellement est si fort qu'il provoque du ravinement. Malgré leur bonne stabilité structurale, les sols vertiques restent très sensibles à l'érosion du fait de leur comportement hydrodynamique particulier. Lorsqu'ils sont fissurés, l'infiltration est très élevée et une érosion interne peut être engendrée. Ces infiltrations peuvent même favoriser des mouvements de masse antérieurs.

À l'état plus ou moins saturé, la pluie d'imbibition devient très faible (1 à 2 mm) (fig.3), ce qui déclenche facilement le ruissellement.

Les sols argileux sont sensibles aux forces de cisaillement qui arrachent le sol au fond et sur les flancs des rigoles. Si ces sols sont résistants à l'érosion en nappe, ils restent sensibles au ravinement. La résistance d'un profil de sol au ruissellement est différente de « l'érodibilité » d'un

sol à la battance des gouttes de pluie.

La résistance des sols limoneux (sols limoneux) est variable d'une situation à une autre, mais en général, elle reste faible. Ils sont instables et l'infiltration est relativement faible. Ils sont caractérisés par la présence des croûtes de battance qui ne font que diminuer le délai d'apparition du ruissellement. Ces sols, surtout ceux qui sont continuellement exploités d'une façon minière, sont pauvres en matières organiques et très instables. L'impact des gouttes de pluie attaque facilement les agrégats terreux, provoquant une diminution de rugosité, un colmatage des pores et une formation d'une croûte superficielle réduisant ainsi l'infiltration et augmentant le ruissellement. Sur les sols bruns limoneux, l'érosion se traduit par un appauvrissement des horizons humifères et par un amincissement du sol. Les croupes des collines blanchissent : les horizons supérieurs en général de couleur plus foncée, sont érodés les premiers et les horizons inférieurs, plus claire, apparaissent en surface. C'est l'aspect classique des terres érodées et régulièrement cultivées.

Le rôle de la texture apparaît déterminant dans la variabilité des résultats. Les résultats obtenus (tabl. 3) montrent une corrélation significative entre l'indice d'instabilité (Is) et le rapport Limon/Argile ($r = 0.90$) et entre le taux d'argile et les taux d'agrégats stables ($r = 0.9$).

Tableau 3. matrice des corrélations des paramètres mesurés avec la méthode de Henin (1956) et les caractéristiques des sols étudiés

| Paramètres mesurés | Aga | Agb | Age | Is |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| Limon / Argile | - 0.68 | - 0.67 | - 0.68 | 0.90 |
| Argile | 0.96 | 0.97 | 0.96 | - 0.60 |
| Limons | - 0.40 | - 0.39 | -0.40 | - 0.52 |
| M. Organique | 0.74 | 0.74 | 0.67 | - 0.37 |
| M.O. / A. | - 0.33 | - 0.33 | --0.32 | 0.02 |

Ceci montre le rôle déterminant de l'argile sur la stabilité structurale. D'après Le Bissonnais (1988), l'argile est essentielle puisqu'elle détermine en grande partie la cohésion à l'état humide. Le rôle de la matière organique n'est pas négligeable ($r = 0.74$). De nombreuses études (Monnier et Stengel, 1982 et Leprun, 1986) ont fait apparaître d'étroites relations entre la teneur en matière organique et la stabilité structurale. La matière organique ne commence à influencer la stabilité structurale de façon sensible que lorsque le rapport MO/A est égal ou supérieur à 7% (Monnier et Stengel, 1982). Pour les sols étudiés, la valeur du rapport MO/A est de 3 à 5 % pour le sol SBV, de 7 à 8 pour le SR et de 6 à 12 pour le sol SB de texture limoneuse.

Il n'y a pas de relation stricte entre l'érodibilité et le type de sol (Roose, 1994). En effet les critères de séparation des familles de sols ne sont pas ceux de l'érodibilité des sols (MO, argile, etc). Il s'avère que l'érodibilité dépend essentiellement des caractéristiques intrinsèques du sol. Ainsi, les corrélations entre l'indice d'instabilité structurale et les paramètres de la susceptibilité des sols à l'érosion et au ruissellement (texture, matière organique, calcaire total et infiltration) montrent des relations significatives. Les caractéristiques de la surface des sols et leur histoire sont plus importantes que le type pédogénétique.

Effet des systèmes traditionnels les plus pratiqués

Les terres labourables occupent des surfaces importantes dans les monts du Nord ouest algérien. L'essentiel de l'espace labourable est consacré aux céréales (blé, orge) qui laissent peu de place aux légumineuses. La jachère occupe aussi une proportion assez importante.

Les systèmes traditionnels de gestion des sols montrent que les sols labourés s'érodent moins rapidement que les terrains en jachère non travaillés. L'effet conjoint des techniques culturales et du couvert végétal sur les sols travaillés a pu réduire considérablement l'érosion par rapport à celle observée sur sol nu (tabl. 4). A l'échelle parcellaire, l'apparition du ruissellement et le déclenchement d'érosion sont souvent la conséquence d'une modification des états de surface du sol

(rugosité, croutes de battance, cailloux et taux de couverture). Les pratiques culturales et le développement du couvert végétal sur les sols cultivés ont un rôle important dans la dynamique érosive, d'une part ils stockent de l'eau et améliorent l'infiltration et d'autre part ils limitent la dégradation de l'état de surface du sol grâce à la couverture du sol.

Les mesures sur les parcelles d'érosion de 100 m² indiquent que l'érosion en nappe et en rigole sur les sols cultivés de ces zones de montagne reste modeste et ne dépasse pas les 10 t/ha/an et qu'il existe des différences de comportement entre les situations et entre les sols étudiés. Les taux d'érosion en nappe et en rigole obtenus sont proches de ceux obtenus au niveau maghrébin par Arabi et al (1991), Gomer (1992), Roose et al (1993) et Mazour (2004) en Algérie et aussi par Laouina et al (2000) et Mouffadal (2001) au Maroc. A Ouzera, en Algérie, l'érosion en nappe et le ruissellement ont atteint respectivement 20 t et 80 % (Roose et al., 1993). L'érosion globale varie quant à elle dans des proportions encore plus grandes à l'échelle du Maghreb. L'érosion dans le nord ouest algérien, peut être insignifiante dans de nombreux cas, comme elle peut atteindre des chiffres records (54 t/ha/an), comparables à ceux des badlands (Benchetrit, 1972). L'érosion ravinante a atteint les 100 t/ha/an dans les monts de Beni chougane (Morsli, 2002) et peut atteindre 300 t/ha/an (Roose et al, 2000).

L'érosion dangereuse pour les infrastructures d'aval (envasement de barrages, inondation...) est due principalement aux ruissellements exceptionnels qui viennent des versants. Les taux d'érosion les plus élevés et les dégâts spectaculaires sont liés aux pluies exceptionnelles (tabl.6). Mais pour les zones d'amont, tous les ruissellements qui occasionnent des exportations de terres au niveau des versants présentent des risques et participent continuellement au décapage du sol et à la dégradation de sa fertilité. Dans ces zones le ruissellement et l'érosion en nappe altèrent d'une manière continue la mince pellicule organo-minérale de la surface du sol qui est la source essentielle de la fertilité. Les pertes totales du carbone organique peuvent dépasser les 28 % (Morsli et al., 2006).

Ce qui ressort de l'examen des résultats obtenus sur les

Tableau 4. Effet des différents systèmes traditionnels sur le ruissellement et l'érosion (1993-2004)

| Traitements | Sol | Kram % | | | | Kr max % | | | | Erosion t/ha/an | | | |
|------------------------|-------|--------|------|------|-----|----------|------|------|-----|-----------------|------|------|-----|
| | | Min. | Max. | Moy. | CV | Min. | Max. | Moy. | CV | Min. | Max. | Moy. | CV |
| Systèmes traditionnels | | | | | | | | | | | | | |
| Témoins nus | SB | 4,1 | 12,2 | 6,8 | 0,3 | 17 | 35 | 23 | 0,3 | 2,6 | 8,5 | 5,7 | 0,3 |
| | SBV | 2,7 | 9,3 | 5,0 | 0,4 | 10 | 32 | 19 | 0,4 | 1,5 | 6,8 | 3,9 | 0,3 |
| Céréales blé - orge | SB | 1,2 | 3,3 | 1,8 | 0,4 | 3 | 13 | 7 | 0,6 | 0,4 | 1,1 | 0,6 | 0,3 |
| | SBV | 1,1 | 3,1 | 1,4 | 0,3 | 2 | 12 | 6 | 0,8 | 0,3 | 1,3 | 0,7 | 0,3 |
| Jachères pâturées | SB | 2,2 | 5,3 | 3,2 | 0,4 | 9 | 22 | 14 | 0,1 | 0,3 | 1,6 | 0,9 | 0,5 |
| | SBV | 2,1 | 2,7 | 2,2 | 0,2 | 6 | 19 | 12 | 0,2 | 0,3 | 2,7 | 1,2 | 0,8 |
| Billonnage | SB PB | 1,3 | 2,5 | 1,5 | 0,2 | 2 | 9 | 6 | 0,2 | 0,1 | 0,8 | 0,4 | 0,6 |
| Systèmes améliorés | | | | | | | | | | | | | |
| Jachères améliorées | SB | 1,2 | 4,2 | 2,3 | 0,5 | 8 | 15 | 9 | 0,4 | 0,06 | 0,3 | 0,1 | 0,6 |
| | SBV | 1,3 | 4,7 | 2,2 | 0,6 | 6 | 22 | 10 | 0,6 | 0,3 | 0,7 | 0,5 | 0,4 |
| Billonnage | SB GB | 0,5 | 1,2 | 0,8 | 0,4 | 2 | 5 | 4 | 0,6 | 0,04 | 0,1 | 0,09 | 0,6 |

SB: sol brun calcaire de texture limoneuse; SBV: sol brun calcaire vertique de texture argileuse; Témoin: parcelle standard ou de référence qui correspond aux normes de Wischmeier, elle représente un sol nu durant toute l'année; céréales: système cultivé en céréales (blé ou orge); j. améliorée: jachère mise en défens et améliorée (amélioration par des légumineuses (Hedysarum (sulla) + médicago); Billonnage: système cultivé avec billons+ culture en petit pois (PB (billon traditionnel, GB (billon amélioré avec relief accentué)); CV: coefficient de variance.

parcelles de 100m², c'est l'irrégularité des pertes en terre à l'échelle annuelle, quelles que soient les parcelles. Les taux les plus élevés, sont enregistrés au début de la saison pluvieuse où les conditions optimales du ruissellement sont réunies (pluies abondantes et relativement intenses, sol nu, croûte de battance).

Pour l'identification des paramètres explicatifs de la variation du ruissellement et de l'érosion, les méthodes de régressions sont utilisées. Il ressort des expressions trouvées que de meilleurs coefficients de corrélation sont obtenus selon le découpage saisonnier par rapport à l'échelle annuelle. Ce découpage donne un ensemble de données plus homogènes et caractérise également la variabilité d'une saison à une autre de la pluviométrie et du ruissellement ainsi que de l'état d'humidité du sol (IAP). Il ressort également que de meilleures relations entre l'érosion et les variables explicatives (pluie, état d'humidité du sol et ruissellement) ont été obtenues (tabl. 5).

Tableau 5. Relations trouvées entre l'érosion, la lame d'eau écoulée et les facteurs explicatifs.

| Saison | Expression | R |
|-----------|----------------------------|------|
| Automne | $Lr=0.29P-2.06$ | 0.97 |
| | $Es=471.9P^{0.25}-6.4431$ | 0.90 |
| | $Es=244.65Log.(Lr)+309.91$ | 0.84 |
| Hiver | $Lr=0.11P+0.041IPA-0.64$ | 0.92 |
| | $Es=64.25P-4.53IPA-2.04$ | 0.88 |
| | $Es=64.25Lr+1.45IPA+33.02$ | 0.95 |
| Printemps | $Lr=0.12P+0.031IPA-0.42$ | 0.98 |
| | $Es=3.42P+53.3$ | 0.69 |
| | $Es=31.69Lr+72.26$ | 0.77 |

P: pluie en mm; I: intensité moyenne de la pluie en mm/h; Lr: lame d'eau ruisselée; E: érosion en kg/ha; IPA: indice représentant l'état d'humidité du sol (pluie des cinq jours précédant le jour considéré).

En automne et en saison chaude, la pluie intense explique mieux l'érosion. Les pluies orageuses, provoquent le détachement des particules du sol et leur transport. Ces premières pluies d'automne, souvent intenses et agressives tombant sur des sols nus et compactés, permettent d'engendrer des pertes en terres très élevées et par conséquent, des incisions (apparition des griffes et des rigoles). Les crues de cette saison, généralement très violentes et de courtes durées, sont très chargées en sédiments. En hiver et au printemps, le ruissellement explique mieux le phénomène érosion (le facteur de

ruissellement prédomine et conditionne le phénomène érosion). En ces saisons, les pluies sont d'intensité modérée, mais, tombant sur un sol saturé et quelquefois aplani, elles provoquent un ruissellement important mais les eaux sont relativement moins chargées (Kouidri et al. 1993, Meddi 1994 ; Meddi et Morsli, 2001).

Les risques majeurs sont liés à des averses exceptionnelles, soit des orages très violents lors des périodes intersaisons, soit des pluies longues et saturantes provoquant des ruissellements pouvant dépasser 38 % de ruissellement et plus de 5 t/ha d'érosion sur les sols labourés (tabl.6)..

La hauteur pluie et l'état d'humidité du sol expliquent environ 60 % de la variance du ruissellement ($61 < R^2 < 68\%$). En ce qui concerne l'érosion, la hauteur de pluie et l'état d'humidité du sol n'arrivent à expliquer que 37 à 39 %. Ceci laisse apparaître que d'autres facteurs ont une influence dans l'explication du ruissellement tel que le sol et les états de surface.

L'effet du sol a été déjà discuté ci-dessus, les caractéristiques intrinsèques du sol jouent un rôle dans la variabilité des résultats. Le rôle des états de surface apparaît déterminant dans la variabilité des résultats. De bonnes relations ont été obtenues entre les pluies d'imbibition (Pi) et les surfaces fermées (Sf) ($0,60 < R^2 < 0,95$) et aussi entre Pi et les surfaces couvertes ($0,65 < R^2 < 0,70$). Les surfaces fermées jouent un rôle négatif dans la dynamique d'infiltration, les Pi diminuent lorsque les Sf augmentent. Les organisations superficielles du sol sont liées aux caractéristiques intrinsèques du sol. Suivant les types de sols de structure et texture données, l'état de surface et le comportement hydrodynamique diffèrent. Les sols argileux vertiques (profondément fissurés en période sèche, mais compacts en saison humide) diffèrent beaucoup des autres sols par leur comportement hydrodynamique particulier. Le risque de ruissellement est minime lorsque le sol est sec et rugueux. Par contre, lorsque le sol est humide et surtout quand l'état de surface est dégradé par la battance des gouttes de pluie (dégradation de structure, colmatage des pores...), le risque de ruissellement augmente. Ce risque dépend encore plus des conditions pluviométriques, topographiques et culturelles.

Le seuil de hauteur limite du déclenchement du

Tableau 6. Érosion et ruissellement pour quelques averses particulièrement agressives sur parcelles nues standard

| Date | Averse (mm) | Kr (%) | E (kg/ha/an) | Sites |
|----------|-------------|--------|--------------|---|
| 01/90 | 80 | 38,6 | 5 700 | Hériz (Tlemcen) |
| 01/90 | 22,6 | 29,3 | 1 322 | Madjoudj (Tlemcen) |
| 05/93 | 49 | 26,5 | 1 621 | Hériz (Tlemcen) |
| 01/94 | 22 | 12,5 | 651 | Chérif (Tlemcen) |
| 17/10/94 | 60 | 23,3 | 1 100 | Ain Fares (Mascara) |
| 05/12/95 | 45 | 8,5 | 1 800 | Ain Fares (Mascara) |
| 28/12/95 | 18 | 32,3 | 1 000 | Ain Fares (Mascara) |
| 28/02/96 | 54 | 15,1 | 2 000 | Ain Fares (Mascara) |
| 27/11/97 | 38 | 18,1 | 1 200 | Ain Fares (Mascara) |
| 10/11/01 | 70 | 35,0 | 3 400 | Ain Fares (rupture de 3 retenues collinaires) |

ruissellement et de l'érosion dépend en partie des caractéristiques des pluies (intensité, mais aussi du volume de pluie), de la pente et surtout de l'état de la surface du sol. La fréquence du ruissellement sur les différents types de sol s'explique en partie par les paramètres des états de surface (taux de saturation du sol, surfaces fermées, surfaces couvertes et rugosité). Ce seuil est plus élevé sur les sols rugueux et couverts.

Les résultats ont bien montré l'effet de la couverture végétale et du travail du sol dans le retardement de la genèse du ruissellement et surtout celui du travail grossier et sans retournement (travail avec matériel à dents (chisel)). La grande rugosité confère au sol une capacité d'infiltration plus élevée et une disponibilité à rester ouvert plus longtemps et corrélativement, une susceptibilité plus faible au ruissellement et à l'érosion.

CONCLUSION

Les travaux menés, sous pluies naturelles et simulées durant plusieurs années, ont permis de mieux appréhender le phénomène du ruissellement et de l'érosion. Les résultats ont montré que les pertes en terre sont relativement faibles, même durant les années où les précipitations n'ont pas été déficitaires ($K_{ram} < 12\%$ et $E < 10\text{ t/ha/an}$). Mais ces taux d'érosion dépassent souvent ce que la pédogenèse peut produire dans les conditions actuelles. Les grandes exportations sont liées aux ruissellements exceptionnels qui sont enregistrés en automne où les conditions optimales du ruissellement sont réunies (pluies abondantes et relativement intenses, sol nu, croûte de battance). Ces ruissellements qui génèrent beaucoup de griffes et de rigoles surtout sur les sols argileux sont à l'origine de dégradations spectaculaires qui marquent souvent le paysage pour plusieurs années. Le ruissellement maximal dépasse les 30% et peut atteindre 80% sur sol nu et tassé, ce qui explique l'importance du ravinement et de l'envasement des barrages.

Les masses d'eau ravinantes proviennent, dans une large proportion des versants. Tout aménagement de versants pentus doit viser l'étalement des eaux en nappe afin d'augmenter leur infiltration et de réduire leur capacité de dégradation (par dissipation de l'énergie du ruissellement sur la rugosité du sol et des cultures).

Il existe des différences de comportement entre les situations culturales pour un même type de sol et entre les sols. Les résultats montrent le rôle majeur des systèmes de gestion dans la dynamique érosive. Ces systèmes ne doivent pas être qualifiés systématiquement comme systèmes dégradants. Certains sont efficaces (réduction du ruissellement et de l'érosion, maintien ou augmentation de la fertilité et de la production) et d'autres nécessitent des améliorations. L'exploitation continue et rationnelle des sols ne présente pas de grand risque érosif. Ce sont surtout les sols nus, épuisés et/ou abandonnés, les jachères surpâturées, ou les pistes, qui causent les dommages les plus importants lorsque le ruissellement se rassemble dans des ravines. L'impact négatif de certains systèmes peut être corrigé de façon à ramener les effets de l'érosion à des normes admissibles comme il a été démontré par les

améliorations que nous avons effectuées (jachère mise en défens et améliorée par des légumineuses, paillage, billonnage avec relief accentué, travail du sol grossier et sans retournement). Ces améliorations ont permis d'augmenter la couverture et la rugosité du sol.

Les indicateurs pertinents du ruissellement et de l'érosion, sont ceux qui sont liés au sol et aux états de surface du sol: les caractéristiques du sol (effet de la texture et de la structure), la rugosité (effet travail du sol), les organisations superficielles (effet des états de surface, Sf) et des couvertures du sol. Nous avons constaté qu'une variation d'un de ces facteurs entraîne une variation du déclenchement du ruissellement et de l'érosion. Le ruissellement peut apparaître pour des valeurs seuils faibles (2 à 10 mm de pluie) sur les situations dégradées et jusqu'à plus 30 mm lorsque le sol est bien couvert (forêt, matorral, culture paillée, etc).

Le déficit hydrique de plus en plus prolongé (fréquence des sécheresses) et les modes de gestion appliqués qui ne suivent plus l'évolution bioclimatique du milieu naturel semblent jouer un rôle prédominant dans la sensibilité du milieu. La faible pluviosité enregistrée ces deux dernières décennies a eu des conséquences négatives sur le stock d'eau dans le sol et sur la production de biomasse. Cela modifie la structure superficielle des sols, leurs états de surface et diminue leur taux de matière organique. Seule une gestion appropriée peut réduire le ruissellement qui vient des versants et compenser les pertes en fertilité et enrichir le sol (cas des jachères mises en défens). Une telle utilisation pourrait assurer un équilibre durable entre la conservation de la fertilité et la productivité du sol.

RÉFÉRENCES

- Arabi M. et Roose E., 1991. Influence du système de production et du sol sur le ruissellement (station Ouzera, Algérie). Bulletin réseau érosion n°9, ORSTOM. 123 – 129.
- Benchetrit M., 1972. L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement de l'Algérie. Pub Univ. Poitiers XI PUF Paris 1972 ; 216p.
- Le Bissonnais Y. (1988). Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous la pluie. Thèse Université Orléans/INRA : 220 p.
- Demmak A., (1982). Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie. Thèse de Doc. Ing. Paris VI ; 323p.
- Gomer D., (1992). Ecoulement et érosion dans des bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen. GTZ – ANRH, 207 p.
- Hudson N.W., (1991). A study of the reasons for success or failure of soil conservation projects. FAO Soils Bulletin 64, Rome, 65 p.
- Heusch B., (1970). L'érosion du Pré Rif occidental : une étude quantitative de l'érosion hydrique. Ann. de la Recherche Forestière du Maroc ; 12 : 9 -176.
- Heddadj, D. (1997) La lutte contre l'érosion en Algérie. Bull. Réseau Erosion 17, 168-175.
- Koudri R., Arabi M., & Roose E., (1993). Premiers résultats de quantification du ruissellement et de

- l'érosion en nappe sur Jachères en Algérie (Région de Médéa). – Annales de la Recherche Forestière en Algérie, 1^{er} sem. 1993, pp. 43-52.
- Lacosta G., 1993. Réactualisation des courbes de traçage des stations hydrologiques de Ribeira Seca. Bilan hydrologique 1991-92. INIDA, 32p.
- Laouina A., Nafaa R., Coelho C., Chaker M., Carvalho T., Boulet AN., Ferreira A., (2000). Gestion des eaux et des terres et phénomènes de dégradation dans les collines de Ksar El Kebir, Maroc. Bull. Réseau Erosion : 256 -274.
- Leprun J.C., 1986. Matière organique, propriétés physiques, pertes par érosion et production. Exemples Brésiliens. Bull. Réseau Erosion n° 6 ORSTOM, pp 16.
- Mazour, M. (2004) : Etude de facteurs de risque de ruissellement et de l'érosion en nappe et conservation de l'eau et du sol dans le bassin versant de l'Isser, Tlemcen, Algérie. - Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen 2004.
- Mazour M., (1992). Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant d'Isser : Tlemcen, Algérie. Bull. Réseau Erosion 12 : 300-313.
- Meddi M., Morsli B., (2001). Etude d'érosion et du ruissellement sur bassins versants expérimentaux dans les monts de Beni-Chougrane. Revue Z. Gemorph NF 2001 ; 45/4/443-452, Allemagne.
- Meddi M., (1994). Etude du transport solide à l'échelle de la crue dans le bassin versant de l'Oued Mina, modèle probabiliste d'estimation du débit solide, Revue « Algérie équipement » n°13.
- Monnier G. et Stengel, 1982. La composition granulométrique des sols. Un moyen de prévoir leur fertilité physique. B. T. I. 370/372 : 503-511.
- Morsli B, Mazour M., Arabi M., Medejel N. and Roose E., 2006. Effet des systèmes de culture sur le ruissellement et les pertes en terre, en Carbone et nutriment dans les Monts de Beni-Chougrane NO Algérie. In "Soil erosion dynamics" E.ROOSE, R. Lal, C. Feller, B. Barthes, B. Stewart, eds, CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, USA :103 -124.
- Morsli B., Mazour, M., Mededjel, N., Hamoudi, A. & Roose E. (2004) Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nord ouest de l'Algérie. Sécheresse 15 (2), 96-104.
- Morsli B., (1996). Caractérisation, distribution et susceptibilité à l'érosion des sols de montagne - Cas des monts de Beni-Chougrane. Thèse de Magister INA El Harrach Alger.
- Mouffadal K., 2002. Les premiers résultats des parcelles de mesures des pertes en terre dans le bassin de Oued Nakhla dans le rif occidental. Bull Réseau Erosion 2001 ; 21 : 244-25.
- Mouffadal K., 2002. Les premiers résultats des parcelles de mesures des pertes en terre dans le bassin de Oued Nakhla dans le rif occidental. Bull Réseau Erosion 2001 ; 21 : 244-25.
- Remini B. (2000) .L'envasement des barrages. Bull. Réseau Erosion 20 :165 -171.
- Roose E., 1996. Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui aide au diagnostic de terrain sur les risque de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes . Bull. Réseau Erosion 16 : 87-97.
- Roose .E., Arabi M., Brahmia K., Chebani R., Mazour M., Morsli B. (1993). Recherche sur la réduction des risques d'érosion par la GCES en moyenne montagne méditerranéenne algérienne Cah. ORSTOM, Ser. Pédol, Vol 28, 2: 289-307.
- Roose E. 1994. Introduction à la GCES. Bull Sols FAO, 70 : 420p.
- Roose E., Chebbani R., Bourougaa L. 2000. Ravinement en Algérie : typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Sécheresse 11, 4, 317 - 26.
- TESCULT (2004). Etude de la protection des bassins versants des barrages d'Ouizert, Bouhanifia et Fergoug. Phase description du milieu. Rapport ANB, Alger.
- Touaibia B., Gomer D., Aidaoui A. (2000). Estimation de l'index d'érosion de Wischmeier dans les micro bassins expérimentaux de l'Oued Mina en Algérie du Nord. Bull. Réseau Erosion n°20, Ed., IRD , Montpellier, pp 478 - 484.
- Wischmeier W.H., Johnson C.B. & Cross B.U., (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. of Soil and Water Conservation 26 ,5 : 189-192.