

Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation

Cet article présente la synthèse des travaux effectués sur l'érosion entre 1986 et 1995 dans les montagnes méditerranéennes du nord-ouest du Tell Algérien. Sont présentées : des observations naturalistes sur le fonctionnement des ravines, des mesures sur l'évolution de couples de ravines. L'efficacité des techniques biologiques et mécaniques de réhabilitation de ravines de taille moyenne fait l'objet d'une analyse particulière.

Éric ROOSE

IRD, Réseau Érosion, BP 5045,
34032 Montpellier, France.
<roose@mpl.ird.fr>

Rachid CHEBBANI

INSID, BP 185, Alger Gare, Algérie.

Lakhdar BOUROUGAA

Station INRF, 26000 Aïn D'Heb,
Médéa, Algérie.

Sécheresse n° 4, vol. 11, décembre 2000

Les ravines sont spectaculaires, mais leur activité est très variable dans le temps et dans l'espace. Certaines sont très anciennes (plusieurs dizaines d'années), mais sont stabilisées après une longue période d'activité, en rapport avec la lithologie, l'usage des terres en amont ou des changements climatiques ou socio-économiques [1, 2]. Certaines ravines sont très récentes et agressives, en relation avec des averses exceptionnelles [3, 4], l'implantation d'habitations ou de routes [5], la dégradation du couvert végétal par le feu ou le surpâturage [1, 6], l'extension de cultures peu couvrantes sur des sols fragiles ou l'imperméabilisation de surfaces par le piétinement du bétail et des hommes [7]. Toutes ces interventions de l'homme augmentent le ruissellement et les risques de ravinement [8].

Devant ces problèmes préoccupants d'érosion, les populations développent deux types d'attitude.

- Les paysans sont principalement concernés par la dégradation de la productivité de leurs champs : ils cherchent à adapter leur système de production

pour optimiser la productivité de leur terre et de leur travail. La formation de rigoles (griffes d'érosion linéaire décimétriques) et de ravines (rigoles profondes de plus de 50 cm que les façons culturales ne peuvent effacer) est un indicateur d'un mauvais fonctionnement du système de production. Les paysans tentent de reboucher les rigoles et les ravines par le travail de la surface du sol, mais ils maîtrisent rarement les problèmes techniques posés par la réhabilitation des ravines. La plupart des études sur l'érosion dans les champs cultivés concernent l'érosion en nappe et en rigoles et leur spatialisation est basée sur l'équation universelle des pertes en terre (USLE de Wischmeier et Smith, 1978) laquelle tente de prévoir à long terme (> 20 ans) l'érosion en nappe et rigoles en fonction de l'érosivité des pluies, du sol, de la pente et du système de culture [8].

- En revanche, les populations urbaines et les consommateurs d'eau sont plus intéressés par la qualité des eaux, les problèmes de transfert de boues lors des orages, de pollutions des nappes d'eau

Fonds Documentaire IRD



010024807

Fonds Documentaire IRD 17

Cote : B*24807 Ex : 1

en aval et les inondations par les effluents en provenance des champs cultivés dans les rivières poissonneuses et les lacs. L'État charge les ingénieurs des services publics de surveiller les forêts et les eaux douces contre toutes ces pollutions. En fonction de leur expérience et de la zone écologique, deux écoles de pensée ont développé des approches complémentaires de lutte antiérosive. Bennet [10] estimant que le ravinement produit le plus de sédiments a proposé d'imposer des terrasses et des chemins d'évacuation des eaux excédentaires pour réduire la vitesse du ruissellement. Wischmeier et Smith [10] ont tenté de réduire le volume ruisselé en développant des systèmes de production couvrant bien le sol et résistant à l'énergie de la battance des pluies. Heusch [11], après avoir mesuré l'érosion dans les marnes du Prérif, évalue l'érosion en nappe à quelques t/ha/an, l'érosion en rigoles à quelques dizaines de t/ha/an, l'érosion en ravines à quelques centaines de t/ha/an et l'érosion en masse à des milliers de m³. En Algérie, les chercheurs de l'INRF et de l'Orstom ont mesuré des pertes en terre par érosion en nappe de 0,1 à 20 t/ha/an, 5 à 60 t/ha/an pour l'érosion mécanique sèche par les travaux culturaux motorisés [12] et 90 à 300 t/ha/an pour le ravinement [13]. Mais dans le sud de la Côte d'Ivoire, Roose [14] a montré que l'érosion en nappe et rigoles peut atteindre 700 t/ha/an sur une pente défrichée de 22 %. L'érosion ravinante prend une place relativement importante en Algérie en relation avec le volume et l'intensité des précipitations, avec la topographie et l'énergie du ruissellement. Brahamia [15] a souligné le rôle du type de marne et de la distance au réseau de drainage naturel. Kouri *et al.*, [16] ont montré que dans la région de l'oued Mina (Algérie), les facteurs déterminant l'érosion par ravinement sont : le type de marne, la pente et l'exposition des versants, l'utilisation de la terre et la morphologie des parois des ravines. Dans cet article, les auteurs présentent les résultats des observations et des expérimentations sur la quantification et la restauration des ravines, effectuées dans le Tell du NO de l'Algérie par l'équipe Érosion de l'INRF et de l'Orstom dans les années 1986-1995.

Situations et méthodes

Les expérimentations sur la quantification et la stabilisation des ravines ont été faites sur les montagnes du nord-ouest de l'Algérie, autour des villes de Médéa, Mascara et Tlemcen. Le climat est méditerranéen semi-aride marqué par deux saisons, l'une relativement froide et humide d'octobre à avril et l'autre, très chaude et sèche. Les précipitations annuelles varient de 300 à 600 mm, mais durant les années d'observation, les pluies furent déficitaires (-50 à -150 mm) et peu agressives (indice d'érosivité annuel de Wischmeier < 50). Les pluies sont néanmoins dangereuses sous forme d'orages intenses lors des changements de saison (à l'automne et en été) et lors de longues pluies volumineuses qui saturent les sols déjà engorgés et les champs peu protégés (de décembre à la fin du printemps) [17]. Les sols sont étroitement dépendants de la lithologie (alternance de roches calcaires dures et de roches tendres comme les argilites, marnes et schistes) : leur alternance explique l'existence de pentes concaves très raides. Les essais eurent lieu sur lithosols, sols bruns colluviaux caillouteux, sols rouges fersiallitiques et sols gris vertiques, tous assez résistants à la battance des gouttes de pluie du fait de leur teneur en argiles saturées en calcium, de la présence de cailloux ou de fer [12, 18, 19]. Les zones ravinées naissent souvent dans les parcours où pousse un matorral de *Quercus ilex*, de palmiers *Chamaerops humilis*, de *Genista*, de cistes, de *Ziziphus mountraca* et de diverses graminées (Diss). Dans les fonds de ravines, on observe parfois des Tamaris, lauriers roses, peupliers blancs et noirs, des cannes de Provence et des *Carex*, des saules et des frênes fourragers. Des mesures quantitatives ont été faites durant 3 à 5 ans sur une dizaine de couples de ravines (l'une aménagée et l'autre pas) moyennes développées sur marnes dans le Tell algérien [13, 20]. Il s'agit des hauteurs et intensités des pluies journalières, l'évolution du volume des ravines à l'aide de repères (fers à béton filetés enfoncés de 80 cm dans le sol pour résister aux jeux des bergers) pour quantifier l'évolution des sections transversales et la position des têtes de ravine. Le débit de pointe des crues a été estimé à l'aide d'échelles de hauteur maximale et de galets colorés, numérotés et de diamètres

variables pour évaluer la vitesse des pics de crue. On a mesuré en outre le volume de sédiments captés par les seuils à l'exutoire des couples de ravines et enfin, la vitesse d'altération de la roche à l'aide de peignes à dents coulissantes, posés sur des piquets de fer profondément cimentés dans la roche apparente sur les versants des ravines (figure 1) [21].

Les paramètres contrôlant le développement des ravines

Le ravinement dépend de l'énergie du ruissellement, laquelle dépend de la masse du ruissellement multipliée par le carré de sa vitesse [8].

- La masse du ruissellement varie en fonction des paramètres suivants :
 - La pluie : l'intensité des orages tombant sur sols nus finement préparés pour former un lit de semence en début de saison des pluies (automne). L'abondance et la fréquence des pluies a aussi beaucoup d'importance car ces paramètres règlent le déficit de saturation du sol : ainsi en hiver, les sols sont vite engorgés et ruissellent plus rapidement [3, 4].
 - La lithologie : les argilites, marnes, schistes, basaltes et gneiss sont très vulnérables au ravinement [8].
 - Le sol : la capacité de stockage de l'eau des vertisols est quatre fois plus forte que celle des sols ferrallitiques et des sols ferrugineux tropicaux (par cm de sol) ; d'après Heusch [11], il faut environ 300 mm de pluie pour que les fissures des vertisols à argiles gonflantes se referment. Par ailleurs, la capacité d'infiltration dépend de l'état de surface du sol (% de la surface fermée par les croûtes de battance, de la surface couverte et de la rugosité), de la stabilité des agrégats et de la fréquence des pierres dans l'horizon superficiel.
 - La couverture végétale : la litière et les végétations rampantes sont plus efficaces que la canopée des plantes dressées pour favoriser l'infiltration des pluies en protégeant la surface du sol contre la destruction des agrégats par l'énergie des gouttes de pluie et du ruissellement [8].
 - Les activités de la mésofaune : quantité d'animaux vivent à la limite du sol et de l'atmosphère dans la zone des litières et des adventices. Ils creusent des galeries

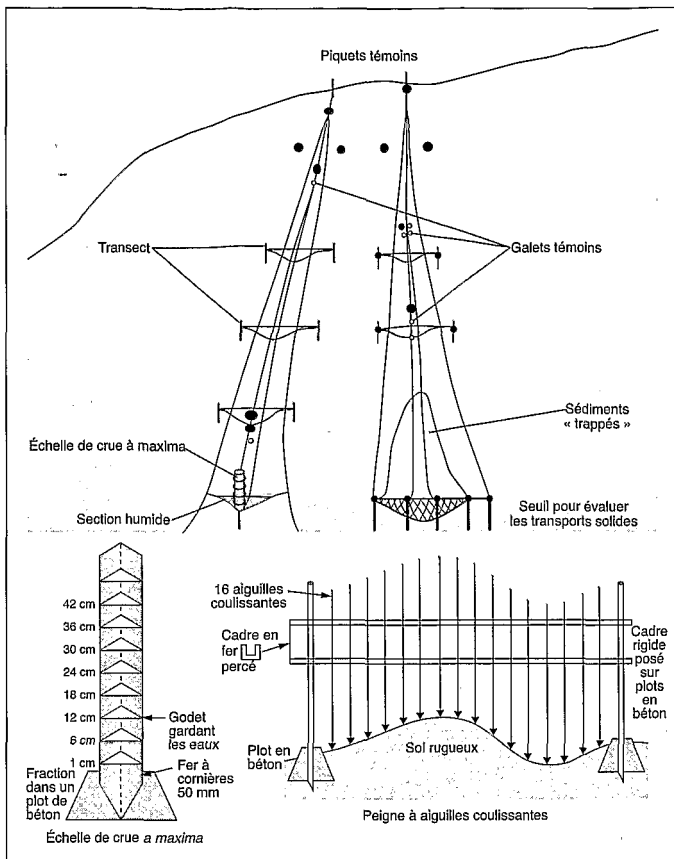


Figure 1. Méthodes simples d'étude du ravinement en Algérie (Roose, 2000).

- Piquets de fer à béton de 12 mm torsadé de 80 cm de long, témoins du volume creux ;
- échelle de crue gardant le témoin de la hauteur maximale en crue ;
- galets colorés mesurés, pesés, servant à estimer la vitesse maximale atteinte en crue ;
- peigne à aiguilles coulissantes pour évaluer la rugosité de la surface du sol ;
- seuils pour évaluer les sédiments « trappés ».

En conséquence, deux écoles se sont développées pour limiter l'érosion :

- l'école de Bennet [10] qui développe des structures antiérosives pour réduire la vitesse du ruissellement en limitant la pente et sa longueur (terrasses et chemins d'eau) ;
- l'école de Ellison [26] et Wischmeier [9] qui tente de réduire le volume ruisselé et son énergie en couvrant la surface du sol des champs (systèmes intensifs de cultures couvrantes).

Résultats

Typologie des ravines (figure 2)

L'érosion linéaire par l'énergie du ruissellement se manifeste par des griffes (centimétriques), des rigoles (quelques décimètres) ou des ravines de plus de 50 cm de profondeur (on ne peut plus les effacer par les techniques culturales), des ravins de plusieurs mètres de profondeur et des « badland » ou ravinement généralisé, lorsque la surface primitive a complètement disparu.

Plusieurs systèmes de classification des ravines sont possibles en fonction des objectifs poursuivis.

- Les ravines se développant sur les versants en relation avec leur fonctionnement

1/ Les ravines en « V » se développent sur des matériaux homogènes comme les altérites d'argilite, de schiste et de marne. Une fois la couverture pédologique décapée, le ravinement progresse en deux temps. Durant une première période de plusieurs mois, la roche se détend et s'effrite sous l'effet de l'alternance de périodes sèches et humides et libère des particules de la taille des sables grossiers (appelées frites). Ces particules peu cohérentes migrent vers le fond de la ravine par érosion éolienne en saison sèche, par la battance des gouttes de pluie, par ravinement, reptation ou glissement de plaques le long des versants en période humide. Dans un deuxième temps, à l'occasion d'une averse abondante tombant sur un sol déjà humide, le fond de ravine est décapé par le ruissellement venant de l'impluvium : il peut circuler sous forme de lave torrentielle très dangereuse (mélange très dense de blocs de rochers et

plus ou moins stables qui aèrent le sol et augmentent nettement sa capacité d'infiltration [23]. Le travail du sol réduit considérablement l'activité des vers de terre et des termites, plus que les herbicides. Le maintien d'une litière favorise le retard de formation des croûtes de battance et le creusement de galeries par la mésofaune qui détruit les croûtes préexistantes.

- La vitesse du ruissellement dépend de la topographie et de la rugosité du terrain.

- Le ravinement est limité par deux seuils de pente. À moins de 1 % de pente, les eaux s'étalent et n'arrivent plus à creuser de ravines. À plus de 60 % de pente, les glissements de terrain commencent à dominer le ravinement. La forme convexe de la pente augmente le ravinement en bordure du relief. Dans les paysages concaves, les sommets des collines connaissent d'abord des mouvements en masse, puis du ravinement, tandis qu'en bas de pente les ravines disparaissent en laissant des cônes de déjection.

Dans la Sierra Madre au nord du Mexique, Descroix *et al.* [24] ont observé que les ravines ne se développent que dans les sols profonds au pied des montagnes, sur les pentes faibles.

- La rugosité du terrain (végétation, micro-barrages perméables et aménagements antiérosifs) et de la surface du sol (litière, mottes, cailloux, buttage) peut aussi réduire considérablement la vitesse du ruissellement et donc sa capacité de transport (sa compétence et sa charge) : d'où le dépôt de colluvions en bas de pente et devant les talus enherbés et les haies.

Au Zimbabwe, Stocking [25] a mesuré l'érosion sur 66 ravines sur des sols colluviaux salés très instables. Il analysa les données à l'échelle du jour avec des piquets repères, de vingt ans avec des photos aériennes et sur plus de 20 ans par enquêtes dans la mémoire des vieux paysans. Il n'a trouvé que trois paramètres importants pour expliquer 80 % de la variabilité des mesures d'érosion en ravine : la hauteur de pluie, la surface de l'impluvium et la hauteur de chute en tête de ravine. Il n'a pu mettre en évidence l'influence de la densité de la population dispersée sur l'ensemble du terroir.

Érosion en ravine =

$$6,87 \cdot 10^{-3} \times P^{1,34} \times AC \times H^{0,52}$$

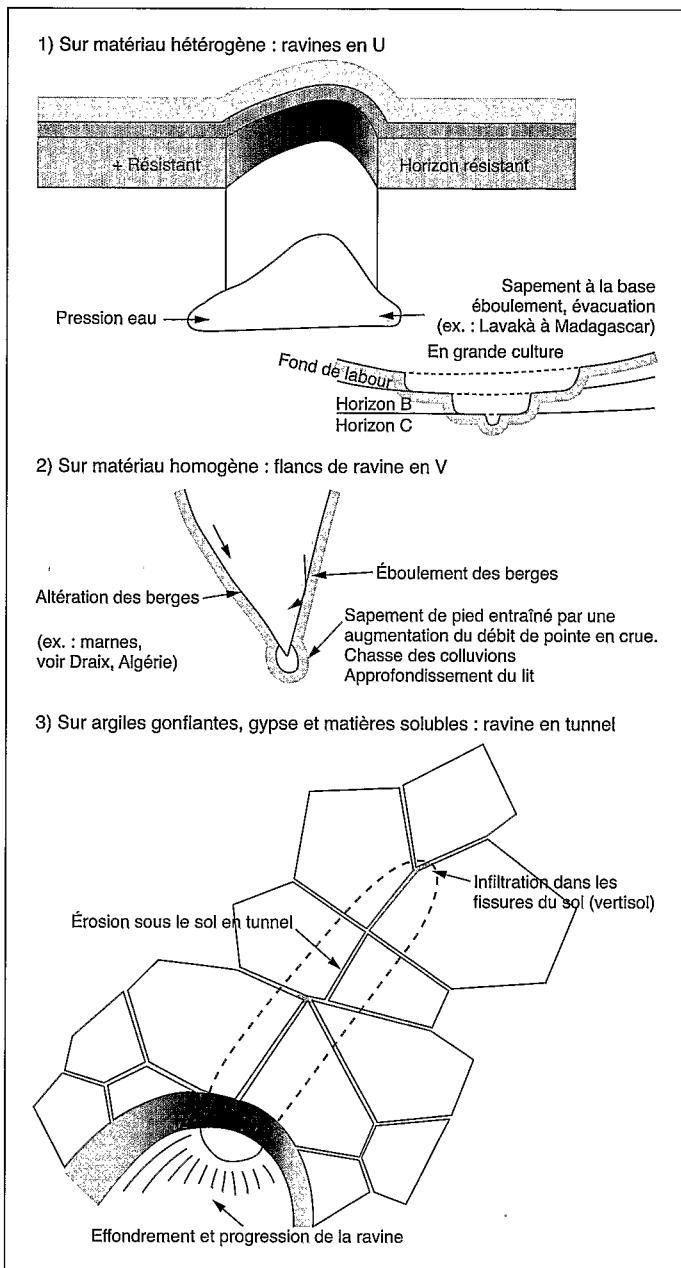


Figure 2. Processus de ravinement en relation avec leur typologie.

ticalement en découpant le fond jusqu'à rencontrer une couche cohérente qui les force à s'élargir pour évacuer les débits de pointe qui augmentent avec la dégradation physique du milieu. Les berges s'élargissent par effondrement et évacuation postérieure des terres. Les lavaka se forment par cisaillement du fond d'une rigole qui dépasse l'horizon B enrichi en argile et en calcaire (plus cohérent) et s'enfonce très profondément dans les altérites peu résistantes. Par la suite ce « trait de scie » draine la nappe qui exerce sur la base des berges une pression hydraulique qui sape sa résistance. Les berges s'effondrent, puis le ruissellement de l'impluvium emporte ces matériaux déstabilisés et laisse la place au cycle suivant. Une vue aérienne montre une forme rectiligne évoluant avec le temps en cirque ou en feuille lobée, mais avec en aval une zone plus étroite permettant d'accélérer les débits de pointe et d'évacuer rapidement les sédiments. Là encore la capture des sédiments par des seuils permet de bloquer l'évolution de la ravine [29].

3/ Les ravines en tunnel se forment dans des matériaux riches en argiles gonflantes ou en sels solubles (cas des marnes gypseuses) [30, 25]. Les eaux circulantes dans la masse du sol emportent les argiles ou les sels solubles et forment des cavités linéaires qui grandissent progressivement jusqu'à l'effondrement du toit. Ces ravines progressent par bonds après un travail de sape souterrain. Ce sont les ravines les plus dangereuses car leur évolution est imprévisible et leur stabilisation difficile (extension du drainage par un travail grossier de la surface de l'impluvium et ralentissement de l'évacuation du drainage). Le travail grossier mais répété du sol permet de transformer la zone en ravineau évasé bien drainé superficiellement : cette évolution réduit l'infiltration localisée qui exacerbe le creusement de tunnels.

4/ Les ravines en relation avec des mouvements de masse. Les géographes insistent jadis sur l'opposition pouvant se développer entre les processus de ravinement et de mouvements en masse. « Si le ruissellement domine, les ravines marqueront l'évolution des versants. En revanche, si l'infiltration domine, les risques de glissement augmentent » [22]. En réalité sur le terrain on observe souvent la présence des deux processus, mais agissant successivement dans le temps. Soit le ravinement est précédé

d'une matrice d'altérite qui circule rapidement en arrachant tout sur son passage), ou de ravinement plus classique sur pentes plus faibles sous forme de ruissellement dont la charge peut dépasser 10 à 100 kg/m³ [27]. Le décapage du fond de ravine au-delà des sédiments déposés lors de la première période maintient le déséquilibre des berges et la forme en « V » de la ravine au cours de sa croissance [28]. Pour stabiliser ces ravines il suffit d'empêcher l'évacuation des sédiments détachés des berges par un seuil (figure 3) pour bloquer l'enfoncement de la ravine, réduire la pente des versants jusqu'à atteindre la pente

d'équilibre de ces matériaux altérés et provoquer la végétalisation naturelle des berges. Pour réhabiliter définitivement la ravine, il faut encore réduire le débit de pointe du ruissellement provenant du bassin versant, ce qui est généralement plus difficile à réaliser, et revégétaliser la ravine et ses environs immédiats.

2/ Les ravines en « U » se développent sur matériaux hétérogènes comme les couvertures pédologiques (formes juvéniles) et les croûtes calcaires. Les rigoles qui naissent à la surface des champs, si elles ne sont pas effacées par les techniques culturales, s'approfondissent ver-

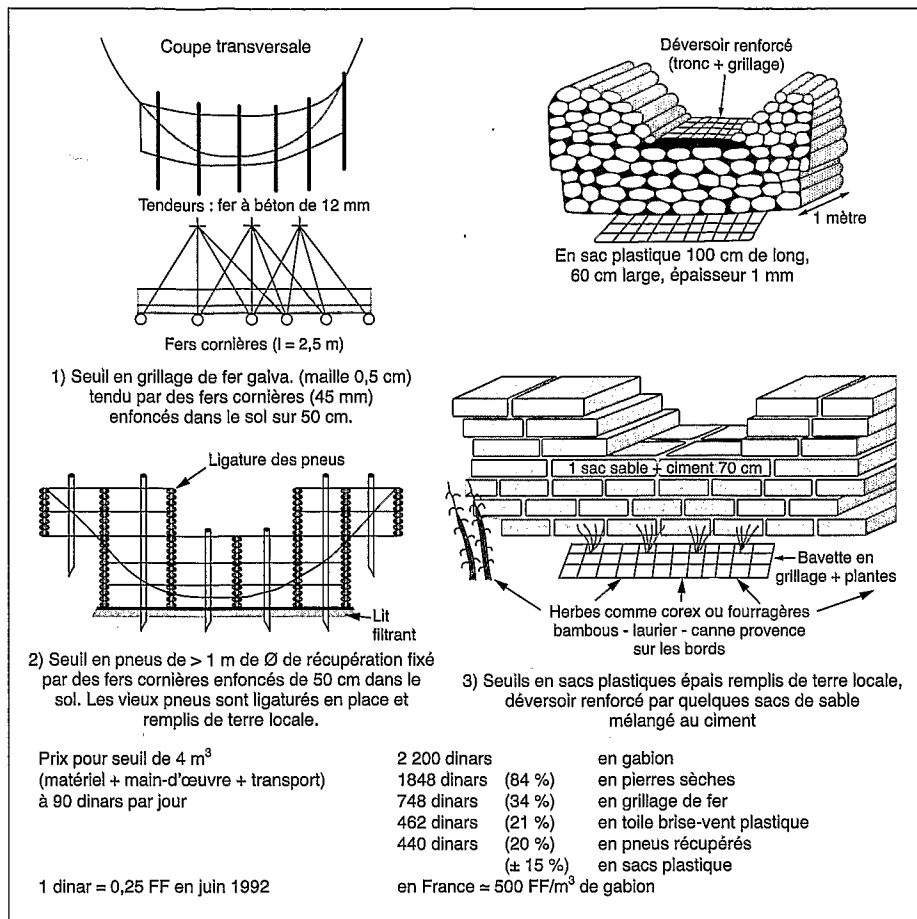


Figure 3. Trois types de seuils perméables, souples, peu coûteux, faciles à monter avec des matériaux produits localement.

d'un mouvement de masse au sommet d'un versant concave qui rassemble les eaux de surface (et parfois le ruissellement hypodermique, comme Laouina, Nafaa, Chaker [2], l'ont montré dans le Prérif au Maroc). Soit le ravinement déséquilibre un versant qui évolue ensuite par décrochements successifs.

5/ Les ravines remontantes. Les ravines ne se développent pas toujours en relation avec l'abondance du ruissellement venant de l'amont : elles peuvent dépendre de l'appel au vide créé par le creusement d'une route ou d'une rivière ou de la pression de la nappe à l'endroit d'une source (ruissellement hypodermique) [31]. La différence de fonctionnement est importante mais il n'est pas toujours facile sur le terrain de l'observer, sauf si on observe un développement maximal à proximité de son origine située souvent en bas de pente, au niveau de la rivière ou d'une source. Seul ce type de ravine remontante est capable de couper une colline en deux,

puisque l'origine est située en bas de versant. La tête de ravine est souvent plus profondément enfoncée dans le sol que les zones plus basses (car elle correspond à une sortie de la nappe temporaire suspendue) et il n'est pas rare de voir se succéder une série de ravines courtes, en cascade.

- Les ravines classées en fonction des possibilités de leur réhabilitation

Pour réhabiliter ou stabiliser une ravine, il faut d'abord étudier les causes principales de sa dynamique [30]. Il s'agit le plus souvent d'une rigole drainant le ruissellement de l'impluvium situé en amont. C'est fréquemment le cas dans le Maghreb où les sommets de collines, souvent rocailloux ou tout au moins couverts de sols peu profonds, sont consacrés aux parcours. Le surpâturage provoque le tassement de la surface du sol et libère une masse importante de ruissellement et de terre fine et riche. Quand ces eaux

arrivent dans les champs cultivés, elles trouvent souvent un talus de limite de parcelle (formé par les labours) qui concentre les eaux et leur donne un surcroît d'énergie. Ailleurs, ce peut être le drainage d'une piste (en particulier les drailles qui relient les pâtures aux points d'eau), ou le ruissellement issu d'un groupe d'habitations, d'un marché, d'une école ou de tout lieu de rassemblement. Le traitement du ravinement va donc dépendre de l'origine du ruissellement, mais aussi du stade de développement de la ravine. Lilin et Koohafkan [32] ont défini trois stades de développement des ravines auxquels correspondent trois modes de réhabilitation.

- Au stade juvénile, il reste encore du sol et quelques végétaux au fond de la ravine. Il suffit dans ce cas de procéder à la revégétalisation du fond de ravine, en veillant à maintenir le peu de sol restant ou même à en apporter pour favoriser le démarrage et l'ancrage de la végétation.

- Au stade adulte, le ruissellement a tout arraché jusqu'à la roche. Il faut alors créer des seuils pour piéger des sédiments à revégétaliser par la suite.

- Enfin dans le cas des ravines torrentielles charriant de gros blocs de roches, il faut faire appel à des murs bétonnés pour stabiliser le fond et la revégétalisation est beaucoup plus aléatoire [30, 33-36].

Étant donné la grande variété des ravines, il n'est pas étonnant d'observer de nombreux échecs. Le traitement des ravines exige des compétences rarement acquises par les paysans, hormis dans les zones arides où il existe de nombreuses méthodes traditionnelles pour gérer les eaux de ruissellement rares et précieuses (par exemple, il existe des équipes de spécialistes de l'aménagement des ravines sur les monts Mandara au Nord Cameroun).

Quantification des processus d'érosion

Il existe peu d'études quantitatives et comparatives des différents processus d'érosion en Afrique [3, 8, 16, 30]. Au tableau 1, nous avons comparé l'importance de l'érosion en nappe et rigoles, du déplacement de terre par les façons culturales et du ravinement. Les mouvements de masse sont trop discontinus dans le temps et dans l'espace pour être comparés aux pertes en terre sur les versants cultivés.

Tableau I. Importance de divers processus d'érosion en zones méditerranéenne, soudanienne et tropicale humide en Afrique (d'après [8])

Paysages	Pente	Érosion (t/ha/an) mécanique		
		en nappe		en ravine
Basses montagnes méditerranéennes	10 à 40 %	0,1 à 20	10 à 50	90 à 300
Longs glacis soudano-sahélien	1 à 3 %	0,1 à 35	2 à 5*	20 à 100*
Collines convexes tropicales humides	4 à 30 %	0,1 à 700	10 à 50*	100 à 500*

* Estimations.

La part relative des différents processus d'érosion varie beaucoup dans les divers paysages d'Afrique : elle dépend de l'énergie des pluies et de leur distribution au cours de l'année agricole, du type de pente (inclinaison, longueur et forme), de la résistance du sol au splash et au ravinement, de la stabilité des agrégats et de la cohésion du sol.

En région méditerranéenne, l'érosion en nappe reste modeste quelle que soit la pente étant donné la richesse de la surface des sols en argile et/ou en cailloux (souvent calcaire), la stabilité des agrégats saturés en calcium [12, 16]. Heusch [11] arrivait aux mêmes conclusions dans le Préfif marocain, à savoir que l'érosion linéaire est beaucoup plus efficace que l'érosion en nappe en milieu montagnard méditerranéen.

Dans la zone soudano-sahélienne les pentes sont faibles, mais les sols sont très fragiles d'où une érosion en nappe modeste. En revanche le ravinement y est très actif, même sur des pentes de 1 % car les versants sont très longs et le ruissellement élevé [8]. Dans les collines en demi-orange des régions tropicales humides l'érosion en nappe peut atteindre 700 t/ha/an sur les pentes de plus de 20 %, mais elle n'augmente guère plus sur les pentes plus raides où les sols sont plus argileux, moins épais et souvent protégés par des fragments de roches, les litières et les résidus des cultures [8].

Réhabilitation des ravines en Algérie

• Le problème

En Afrique du Nord, au sommet des collines, les sols caillouteux et peu épais sont couverts de garrigues qui servent de réserve de bois et de parcours pour le bétail. La végétation est généralement très dégradée, les sols sont compactés

par les sabots des animaux et le ruissellement abondant [7]. Par ailleurs on observe au sommet des versants concaves, des glissements de terrain dessinant des « cirques » qui concentrent les eaux de surface en un point qui servira d'origine à une ravine : celle-ci traverse la zone champêtre et les colluvions pour rejoindre finalement la rivière. Il faut donc stabiliser les ravines dans les champs et dans les pistes empruntées chaque jour par le bétail. Les observations d'aménagements de ravines nous ont poussé à tester l'efficacité de différents types de seuils et de la revégétalisation des ravines et de leur environnement immédiat (*encadré*).

• Expérience concernant l'efficacité de divers types de seuil (tableau II)

Les gabions fixent très vite les sédiments (en 2 ou 3 crues), mais ils peuvent aussi être rapidement détruits par la formation de « renards », tunnels creusés par l'énergie de chute des eaux de ruissellement, s'ils ne sont pas protégés par des dissipateurs d'énergie.

Leur coût est très élevé (500 FF/m³) car il faut apporter dans des zones difficiles d'accès les pierres et le grillage prêt à être monté. Il faut aussi du personnel qualifié pour ranger correctement les pierres dans le cadre en grillage et le poser sur un lit de graviers [33].

Dans les zones où il y a abondance de pierres plates de bonne qualité, la construction de murs en pierres sèches est une solution esthétique. Il ne faut pas de ferraille coûteuse, ni de ciment, mais

la récolte des pierres et le montage du mur exigent beaucoup de temps et du personnel qualifié si bien que le coût n'est réduit que de 25 % par rapport aux gabions. De plus, les ravines se développent plus souvent dans des zones où les pierres s'altèrent rapidement ou ne sont pas de qualité suffisante pour monter des murs : il faut donc disposer de camions et de pistes d'accès.

Les seuils en grillage métallique (mailles de 1 à 3 cm) fixé sur des pieux en fer cornière de 50 mm de côté et de deux mètres de haut, plantés dans l'altérite tous les 80 cm et reliés par du fil de fer galvanisé de 3 mm, semblaient à l'origine un bricolage peu coûteux mais fragile. En réalité, ces microbarrages perméables se sont révélés très bien adaptés aux conditions des ravines moyennes sur marnes et schistes tendres. Ces seuils sont à la fois très souples face aux pressions des ravines en crue, faciles à transporter et à monter, efficaces même pour piéger les altérites de roches argileuses. Ils ont été les dispositifs les plus résistants durant les crues des averses de fréquence rare. Leur pose est rapide en milieu d'altérites tendres et leur coût ne dépasse pas le quart de celui des gabions. Malheureusement, avant le recouvrement par les sédiments, ils ne sont pas à l'abri du vol par les enfants et les bergers qui ont toujours besoin de grillage.

• Fixation des sédiments et revégétalisation

Les sédiments captés par les seuils risquent d'être remis en suspension et de continuer leur cheminement s'ils ne sont pas fixés rapidement par la végétation [35]. Dans le canal central, on choisira d'installer des herbes résistantes à l'immersion en cas de crue et à la sécheresse pendant les périodes chaudes (cannes de Provence, carex, joncs) : elles se coucheront et protégeront très efficacement les sédiments déposés en fond de ravine. En revanche de nombreuses espèces d'arbres (fruitiers, fourragers ou forestiers) tirent bénéfice de

Tableau II. Efficacité de trois types de seuils sur le ravinement

Type de seuil	I	en gabion	en pierres sèches	en grillage
Capture de sédiments	I	très rapide	rapide	rapide
Durabilité	I	fragile	fragile	plus durable
Coût	I	500 FF/m ³	400 FF (soit 75 %)	125 FF (soit 25 %)

Références

1. Sari D. *L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie)*. Alger SNED, 1977 ; 624 p.
2. Laouina A, Nafaa R, Chaker M. Gestion des eaux et des terres et dégradation dans les collines de Ksar el Kebir, Maroc. *Bull Réseau Érosion* 2000 ; 20 : 18.
3. Rapp A. Conclusions from the DUSER soil erosion project in Tanzania. *Geografiska Annaler* 1972 ; 54, A : 377-9.
4. Mathys N, Brochot S, Meunier M. Erosion quantification and rainfall-runoff-erosion modelling in small marly mountainous experimental catchment of Draix, Alpes, France. Int Symp « Gully erosion under global change ». Leuven, 2000 (abstract 91).
5. Tchotsua M, Bonvallot J. L'érosion urbaine au Cameroun : processus, causes et stratégies de lutte. *Bull Réseau Érosion* 2000 ; 19 : 8.
6. Boardman J, Holmes PJ, Holland R, Parson AJ. Development of badlands and gullies in the Sneewberg, Great Karoo, South Africa. Int Symp « Gully erosion under global change » Leuven, Belgium, 2000 (abstract 31).
7. Sabir M. *Impact du pâturage sur certaines propriétés physiques et hydrologiques d'un sol brun calcaire en milieu pastoral aride : Aarid, Haute Moulouya, Maroc*. Thèse Doctorat en Sciences Agronomiques, Rabat : IAV HII, 1994 ; 196 p.
8. Roose E. Introduction à la GCES. Rome, *Bull Pédologique* FAO 1994 ; 70 : 420.
9. Wischmeier WH, Smith DD. *Predicting rainfall erosion losses. A guide to soil conservation planning*. USDA-ARS, Handbook 1978 ; 537 ; 58 p.
10. Bennet HH. *Elements of soil conservation*. New York : McGraw-Hill 1939 ; 564 p.
11. Heusch B. L'érosion du Pré-Rif. Une étude quantitative. *Annales de la Recherche Forestière du Maroc* 1970 ; 12 : 9-176.
12. Roose E, Arabi M, Brahamia K, Chebbani R, Mazour M, Morsli B. Érosion en nappe et ruissellement en montagne algérienne. *Cahier Orstom Pédol* 1993 ; 28 : 289-308.

Encadré

Dix commandements à respecter pour la réhabilitation des ravines

1. Tant que l'infiltration sur le bassin versant n'a pas été améliorée, il ne faut pas reboucher la ravine, elle creuserait un autre lit. Prévoir un canal stable capable d'évacuer le débit de pointe de la crue décennale au minimum. Si la pente est modérée, on peut aussi creuser une mare en tête de ravine pour valoriser les eaux de ruissellement (abreuvement des animaux ou petit jardin irrigué).
 2. L'aménagement mécanique et biologique d'une ravine peut être réalisé progressivement en quelques années, mais il doit concerner tout le bassin dès la première année. La fixation biologique vient consolider les versants et le fond de ravine stabilisés par différents types de seuils. Si on inverse l'ordre, les plantes risquent d'être emportées avec la terre lors des premières crues.
 3. L'emplacement des seuils doit être choisi avec soin selon l'objectif visé. Si on cherche à rehausser le fond de la ravine pour que les versants atteignent la pente d'équilibre, il faut choisir une gorge étroite où de nombreux seuils légers pourront s'appuyer sur des versants solides. Si on cherche à fixer le maximum de sédiments ou à récupérer des espaces cultivables, il faut choisir des zones à pente faible, les confluences de ravines secondaires, les versants évasés et construire de gros ouvrages-poids qui seront rehaussés progressivement.
 4. L'écartement entre les seuils est fonction de la pente du terrain. Le déversoir aval doit être à la même altitude que la base du seuil amont, à la pente de compensation près (1 à 10 % selon la nature du fond de la ravine) qui peut s'observer sur place (zone stable sans creusement, ni dépôts). Dans un premier temps on peut doubler cet écartement et construire les seuils intermédiaires dès que la première génération de seuils est comblée de sédiments. Stabiliser immédiatement les sédiments piégés par des herbes basses dans l'axe d'écoulement et des arbres utiles au pied des versants.
 5. Pour éviter la pression hydrostatique des coulées, il faut drainer les seuils : grillages, chicanes ou pierres libres.
 6. Les seuils doivent être ancrés dans le fond et les flancs de ravine (tranchée de fondation) pour éviter les renards et contournements. Au contact entre le fond limono-argileux et les pierres des seuils, il faut prévoir une couche filtrante de sable et gravier pour éviter que les sous-pressions n'entraînent les particules fines et la formation de renard (trou creusé par l'eau sous le seuil et qui finit par le détruire).
 7. Le courant d'eau doit être centré dans l'axe de la ravine par les ailes du seuil, plus élevées que le déversoir central. Ce déversoir doit être renforcé par de grosses pierres plates cimentées ou par des ferrailles pour résister à l'abrasion par les sables, galets et roches qui dévalent à vive allure au fond des ravines en crue.
 8. L'énergie de chute de l'eau qui saute du déversoir doit être dissipée par une bavette (enrochement, grillage et touffes d'herbes) ou par un contre-barrage (petit gabion formant une cuvette d'eau) pour éviter les renards sous le seuil et le basculement du seuil vers l'aval.
 9. Tenir le bétail à l'écart de l'aménagement : il aurait vite fait de détruire les seuils, de se blesser et de dégrader la végétation. En compensation, on peut permettre des prélèvements de fruits, fourrages et bois, en échange de l'entretien de l'aménagement.
 10. L'aménagement d'une ravine n'est terminé que quand on a éteint les sources de sédiments, stabilisé les têtes et les versants. La végétalisation peut alors se faire naturellement si on a atteint la pente d'équilibre, mais on peut aider la nature en couvrant les sédiments avec des herbes fourragères et en les fixant avec des arbres choisis pour leur adaptation et leur production.
- En passant de la gestion des sédiments à la valorisation de l'aménagement, les ravines peuvent devenir des oasis linéaires enrichies en biodiversité.**

Références

13. Chebbani R, Belaidi S. Étude de la dynamique du ravinement : suivi de deux couples de ravines expérimentales près de Tlemcen. Montpellier : Orstom Bull Réseau Érosion 1997 ; 17 : 152-60.

14. Roose E. Vingt années de mesure de l'érosion et du ruissellement en petites parcelles en Afrique de l'Ouest. Travaux et documents Orstom, Paris, 1977 ; 78 : 108.

15. Brahamia K. Essai sur la dynamique actuelle dans la moyenne montagne méditerranéenne : bassin versant de l'oued Mina (zone de Taassalef) Algérie. Thèse de Géographie, France : Univ. Grenoble 1993 ; 241 p.

16. Kouri L, Vogt H, Gomer D. Analyse des processus d'érosion linéaire en terrain marneux, bassin de l'oued Mina, Tell oranais, Algérie. Bull Réseau Érosion 1997 ; 17 : 64-73.

17. Demmak A. Recherche d'une relation empirique entre les apports solides et les paramètres physico-climatiques des bassins algériens. AISH 1982 ; 144 : 403-14.

18. Mazour M. Les facteurs de risque de l'érosion dans le bassin versant de l'oued ISSER, Tlemcen, Algérie. Bull Réseau Érosion 1992 ; 12 : 300-13.

19. Morsli M. Les sols de montagne et leur susceptibilité à l'érosion. Cas des Beni Chougranes. Alger : Thèse de Magistère, INA. 1995 ; 170 p.

20. Bourougaa L, Monjengue S. Fixation biologique et mécanique des ravines. Bulletin Réseau Érosion, Montpellier : Orstom. 1989 ; 9 : 19-29.

21. Roose E. Gully erosion in Africa. Int Symp « Gully erosion under global change » Leuven, Belgium, 16-19 April 2000 (abstract 111).

22. Rapp A, Axelsson V, Berry L, Murray-Rust D. Soil erosion and sediment transport in the Morogoro river catchment, Tanzania. Geografiska Annaler 1972 ; 54, A : 125-56.

l'eau stockée dans les sédiments et peut fixer les berges des ravines : plantés au centre des ravines, les arbres créent des remous lors des crues et provoquent une remise en mouvement des sédiments. Les pieds dans l'eau et le feuillage abrité des vents secs dans les ravines, certains arbres poussent très rapidement tels que les peupliers blancs et noirs, les frênes, les eucalyptus, mais aussi des fruitiers comme les pommiers, poiriers, pêchers, abricotiers, oliviers, amandiers et noyers [20]. Les sédiments étant moins riches que les sols, il est bon de les enrichir avec un peu d'engrais.

Les ravines étant un indicateur d'un excès de ruissellement, elles ne seront définitivement maîtrisées que si on réduit le débit de pointe des crues en améliorant l'infiltration dans le bassin récepteur situé en amont. Il est donc indispensable d'établir avec les populations dont les troupeaux fréquentent les têtes de ravine, un contrat de mise en défens pendant 3 à 5 ans pour que la végétation se réinstalle (semis et plantations d'essences adaptées, résistantes au pâturage).

Dans les zones soudano-sahéliennes africaines, les paysans ne prennent conscience des problèmes d'érosion qu'à la vue de rigoles et ravines. Ils tentent alors de les reboucher avec des touffes d'herbes, des pierres extraites des champs et des résidus de culture, ce qui entraîne inévitablement le contournement des obstacles par l'abondant ruissellement : les ravines ont donc tendance à s'élargir en détruisant les champs alentour. La meilleure réaction consiste à empierrer les têtes des ravines ou mieux encore à creuser une mare à cet emplacement où se réunit beaucoup d'eau de ruissellement relativement claire avant de creuser les ravines (boulis du Yatenga). Seules certaines tribus des monts Mandara au Cameroun construisent des seuils rabaisés au centre du drain qui permettent aux eaux de circuler tout en fixant les terres. Le fond des ravines de montagne est souvent tapissé de pierres plates qui ont un rôle protecteur très efficace. L'extraction de ces pierres pour la construction est très néfaste pour la stabilité de la rivière : au Rwanda, ces pratiques ont exacerbé l'enfoncement des rivières, l'érosion des terrasses et l'ensablement des marais.

Dans les zones tropicales humides où la couverture d'altérite est profonde, il est

possible de développer des « jardins de ravines » comme en Haïti où croissent toute une série de plantes comme des cocotiers, des bananiers, des cannes à sucre, des Pennisetum fourragers, etc. qui profitent des apports complémentaires d'eau pour se développer. À Madagascar les grandes *lavaka* sont aménagées en rizières en terrasses séparées par des petites diguettes construites en mottes d'herbes.

La stabilisation des ravines étant difficile, nous avons été amené à observer les multiples causes d'échecs et à établir dix règles à respecter pour optimiser leur efficacité (*encadré*).

Discussion

Les ravines sont très actives dans des paysages très divers d'Afrique du Nord

Leur dynamisme augmente avec les pluies en zone semi-aride, atteint un maximum en zone semi-humide, pour diminuer quand la végétation envahit tout le paysage. Mais dès que l'on défriche ces zones (par exemple pour créer un jardin ou une zone d'habitation), le ravinement peut se manifester très brutalement (en fonction du volume des pointes de ruissellement) et créer des ravines très profondes en milieu urbain [5]. Les ravines acquièrent des tailles impressionnantes lors des événements exceptionnels [37].

Dans les paysages à pentes convexes du Maghreb, il est courant d'observer des ravines qui se développent quand la pente augmente et qui disparaissent dans les colluvions en aval, quand la pente diminue sous un certain seuil. Cependant, sur certains sols très sensibles au ravinement, il n'est pas rare d'observer des ravines sur des longs glacis de 2 % de pente qui ruinent les champs cultivés dans les vallées. Au-delà de 45 à 60 % de pente, les risques de glissement de terrain augmentent et les ravinements sont moins fréquents, mais ils évoluent en ravines torrentielles très dangereuses. En Afrique du Sud, on trouve aussi le cas inverse : les sols des montagnes sont trop caillouteux et superficiels pour que se développent des ravines importantes, c'est dans les sols colluviaux profonds qu'elles se développent dangereusement [6].

Références

23. Roose E. *Étude de l'influence de la mésofaune sur la pédogenèse actuelle en milieu tropical*. Abidjan, Côte d'Ivoire : Orstom, 1976 ; 56 p.
24. Descroix L, Dignonnet S, Gonzales JL, Viramontes D, Bollery A. Local factors controlling gully or areal erosion in the Western Sierra Madre (Northern Mexico) Int Symp « Gully erosion under global change » Leuven, 1992 (abstract 53).
25. Stocking M. Examination of the factors controlling gully growth. In : De Boodt and Gabriels Edit., *Assesment of erosion*. New York : Wiley, 1978 : 505-20.
26. Ellison WD. Studies of raindrop erosion. *Agric Eng* 1944 ; 25 : 131-81.
27. GTZ. *L'aménagement des zones marneuses dans les bassins versants des montagnes de l'Atlas tellien semi-aride*. Rossdorf, Allemagne : GTZ. 1996 : 142 p.
28. Olivry JC, Horelbeck J. Érodabilité des terres noires de la vallée du Buech (France). *Cah. Orstom Pédol Spécial érosion*, 1990 ; 25 : 95-110.
29. Hoeblich JM. Le lavaka malgache, une forme d'érosion utilisable. *Bull Réseau Érosion* 1992 ; 12 : 255-68.
30. Hudson NW. *Soil conservation*. London : Batsford, 1973 ; 320 p.
31. Coelho-Netto A. Recurrent gullying and valley development in SE Brazil. Int Symp « Gully erosion under global change » Leuven, Belgium, 2000 (abstract 45).
32. Lilin CH, Koohafkan P. *Techniques biologiques de conservation des sols en Haïti*. Rome : FAO 1987 ; 36 p.
33. Heusch B. *Aménagement d'un terroir. Techniques de lutte contre le ravinement*. Montpellier : CNEARC 1988 ; 199 p.
34. Meunier M. Érosion torrentielle. *Bull Réseau Érosion* 1992 ; 12 : 21-7.
35. Combes F. Les plantations RTM. *Bull Réseau Érosion* 1992 ; 12 : 52-6.
36. Deymier Ch. Les outils de génie civil dans la lutte contre l'érosion torrentielle. *Bull Réseau Érosion* 1992 ; 12 : 28-39.
37. Castro N, Auzet A, Chevallier P, Leprun JC. Influence of extreme rainfall events (El Niño) on a gully system typical of the basaltic plateau of Southern Brazil. Int Symp « Gully erosion under global change ». Leuven, Belgium, 2000 (abstract 44).
38. Hjulström F. Studies on the morphological activity of rivers. *Bull Geo Inst Univ Uppsala* 1945 ; 25 : 293-305 et 442-52.

Le ravinement se développe sur tous les sols soumis à un ruissellement abondant, mais leur fréquence est particulièrement élevée sur certains sols imperméables (vertisols après 300 mm de pluie) ou fragiles (sols alluviaux salins, sols bruns rouges semi-arides, les sols sableux sur grès fins et sols rouges lessivés fersiallitiques).

Leur typologie variée est un indice de fonctionnement différent

Le ravinement peut se manifester à une certaine distance du sommet du versant (souvent 50 m dans le Prérif), là où le ruissellement accumulé est suffisant pour creuser du fait de sa propre énergie. Hjulström [38] a montré que la vitesse nécessaire pour déplacer des particules de grosse taille augmente très rapidement avec le diamètre des cailloux.

Le ruissellement peut être concentré à la faveur d'une piste suivie par les animaux, d'une route ou des banquettes/terrasses aménagées pour gérer les eaux superficielles (lutte anti-érosive mal maîtrisée).

Le ravinement peut aussi se développer à partir du lieu où le ruissellement hypodermique apparaît au jour et forme une résurgence. Parfois les deux s'allient sous un talus formant limite de champs pour former une ravine régressive qui va remonter dans le paysage à mesure qu'elle a pu évacuer la couverture pédologique poreuse.

Quelques fois la ravine régressive prend son origine dans le travail de sape des rivières qui méandrent au pied des collines : l'appel au vide crée une chute des eaux superficielles qui permet au ruissellement de creuser la colline jusqu'au sommet.

Bien souvent le ravinement s'organise au pied de zones de glissement de terrain dans les paysages concaves où les versants forment des cirques, zones de concentration des eaux de surface. Chacun de ces modes de fonctionnement exige une adaptation des méthodes de restauration : on ne peut étendre systématiquement la lutte contre l'érosion ravinante sans avoir préalablement compris leur mode de fonctionnement.

L'érosion en ravine est un indicateur de risques de ruissellement élevé

Il s'agit de climats semi-arides, mais avec des averses concentrées sur de courtes périodes, de zones à végétation

dispersée ou surpâturée, ou encore de roches tendres, facilement érodables (marnes, argilites ou schistes, certains basaltes en zones humides), de collines en forme d'amphithéâtres qui rassemblent le ruissellement, de versants pentus, longs, concaves ou convexes, de colluvions profondes, de sols salins, battants ou compacts en profondeur, de zones surpâturées compactées (pistes, routes et habitat).

Conclusion : la réhabilitation des ravines est une œuvre de longue durée

Les paysans ont leur propre façon d'appréhender les problèmes posés par la lutte anti-érosive. Tant que l'érosion reste en nappe, elle est peu visible et réduit la fertilité de la surface du sol : les paysans n'y voient pas une raison suffisante pour infléchir leur système de culture. Dès lors que les rigoles et les ravines se multiplient sur leurs champs, les paysans cherchent à les effacer en multipliant les travaux culturaux : ce faisant ils accélèrent et étendent la dégradation des sols. Très rares sont ceux qui ont compris qu'il faut aménager la circulation du ruissellement dès lors qu'on dénude les terres pour les cultures. Plus rares encore sont ceux qui profitent de cette concentration des eaux (et des nutriments qu'elles transportent) pour intensifier la production en construisant un jardin (comme en Haïti), une mare pour le bétail (fréquent autour de la Méditerranée) ou une rizière (cf. Madagascar).

L'approche technique moderne de la restauration des ravines consiste à dissiper l'énergie de chute en tête de ravine par un enrochement ou une végétalisation, à stabiliser le fond de ravine par des seuils perméables, à protéger les sédiments par une végétalisation herbacée et arborée raisonnée et productive, et enfin à réhabiliter le réseau de drainage en créant un milieu très particulier semblable à une forêt galerie ou une oasis linéaire.

La stratégie de lutte anti-érosive récemment développée pour valoriser au mieux la terre et le travail (GCES [8]) est donc également applicable pour lutter contre l'érosion ravinante et restaurer la productivité de la surface abandonnée aux ravines ! !

Résumé

Les problèmes d'érosion sont fréquents en Afrique, mais l'importance relative des différents processus varie d'une région écologique à une autre. Ainsi en Algérie, l'érosion en nappe est modeste, même sur forte pente, tandis que le ravinement et les mouvements de masse mobilisent des volumes considérables de terre. Dans cette synthèse, les auteurs rapportent à la fois des observations naturalistes du fonctionnement des ravines dans les montagnes méditerranéennes du nord-ouest du Tell algérien et des mesures de l'évolution de couples de ravines (aménagées ou non) et de l'efficacité des techniques biologiques et mécaniques de réhabilitation des ravines de taille moyenne.

Cinq types de ravines ont été observés en relation avec leur fonctionnement et la cohésion du manteau pédologique ou lithologique : 1/ des ravines en « V » sur des matériaux homogènes et tendres comme les vertisols, les argilites, les marnes et les schistes, 2/ des ravines en « U » sur des sols hétérogènes comme des sols à croûtes calcaires, 3/ des ravines « en tunnel » sur les sols à argiles gonflantes et les marnes contenant des sels solubles (gypses), 4/ les ravines en relation avec les glissements de terrain sur les pentes fortes, 5/ les ravines régressives complexes nées du sapement des colluvions par les oueds ou des talus des routes.

En Algérie l'érosion ravinante a déplacé 90 à 300 t/ha/an en fonction du volume des pluies, de la vitesse d'altération des versants (8 à 17 mm/an), de la pente et de la couverture de la surface du sol. Plusieurs techniques de fixation des ravines moyennes (5 à 10 mètres de profondeur, non torrentielles) ont été testées, en particulier trois types de seuils (gabions, murs de pierres sèches, seuils filtrants en grillage de fer ou de plastique) et des dizaines de végétaux arborescents ou herbacés. La réhabilitation commence par la fixation mécanique du fond des ravines avec des microbarrages perméables pour éviter la pression hydraulique. Quand les seuils sont remplis de sédiments (en quelques crues), il faut rapidement les fixer à l'aide d'herbes dans le chenal et d'arbres le long des bords, pour éviter que le courant remette les sédiments en suspension. L'observation de dizaines de cas d'échecs et de réussites a permis de développer un guide des dix principes à respecter pour fixer les ravines. Dans les zones méditerranéennes à fortes pentes, le ravinement déplace dix à cent fois plus de terre que l'érosion en nappe, ce qui n'est pas vrai en zone tropicale où le ruissellement dépend de la battance et de la compaction des horizons de surface par le bétail, l'homme et les techniques culturales. Cette étude a été effectuée entre 1986 et 1995 dans le cadre d'un projet de coopération entre l'Institut national (algérien) de recherche forestière (INRF) et l'Institut français de recherche pour le développement (IRD, ex-Orstom).

Summary

Erosion problems are common in Africa, but the relative importance of different erosion processes varies in different ecological areas. In the Algerian mountains, sheet erosion is moderate, even on steep slopes, but there can be very severe gullying and mass movement. In this paper, the authors provide a synthesis of naturalistic observations and measurements on gully erosion in northwestern Algeria achieved by an INRF and IRD-Orstom cooperative research team from 1986 to 1995. Methods were adapted to local conditions. Observations were recorded on longitudinal and cross-section patterns and on the efficiency of biological and mechanical rehabilitation techniques. Five types of gullies were observed in relation to their functioning and to the cohesion of the soil or rock cover: 1) V-shaped gullies (for homogeneous material such as marl, clay or schist), 2) U-shaped gullies (for calcareous B horizons or heterogeneous rock/soil), 3) tunnelled gullies (for swelling clays or soluble salts in marl), 4) gullies resulting from landslides on very steep slopes, and 5) regressive and complex gullies in deep colluvia near rivers or road cuts.

Gully erosion ranged from 90 to 300 t/ha/year, depending on rainfall patterns, weathering velocity of the rock material (8-17 mm/year on marl), slope and surface roughness. Many experimental management techniques for gullies 1-10 m deep or non-torrential gullies, have been tested in Algeria. Gully rehabilitation begins by mechanically stabilizing the gully beds with permeable microdams (to avoid hydraulic pressure) and, when the dams are heavily sedimented, by stabilizing them by planting grass and trees along the embankment. We observed dozens of gully management successes and failures under various conditions and drew up 10 gully management guidelines. In mountainous areas within the Mediterranean basin, gully erosion can transport 10- to 100-fold more sediment than sheet erosion. This is not always the case in tropical countries where runoff depends on sealing crust formation and topsoil compaction by livestock and humans.