Chapitre I

La dégradation des terres et l'érosion des sols

Éric Roose

Introduction : les sols et leurs propriétés

Un sol est le produit de la transformation physique (désagrégation) et chimique (altération) des roches sous l'effet des agents climatiques (humidité et température) et biologiques (microflore, mésoflore). Il est composé de gaz (dans les pores), d'eau et de matières solides (30 à 80 %), en particulier des matières organiques (humus, racines) et des matières minérales (essentiellement). Il s'organise verticalement en profil composé de plusieurs horizons de qualités définies, et latéralement tout au long d'une toposéquence : l'ensemble des sols d'une séquence topographique est appelé couverture pédologique. Ce matériau meuble a des propriétés qui lui sont propres, très différentes de celles des roches broyées. Il a une capacité de stockage de l'eau, des cations et autres nutriments, de filtration des corps solides et des polluants ; c'est aussi un milieu très riche en micro-organismes et relativement dense, capable de fixer les racines des arbres et de former l'habitat de quantité de petits animaux. Un sol est dégradé lorsqu'il perd l'une ou plusieurs de ces qualités.

Les problèmes d'érosion sont étudiés par les agronomes et forestiers, les géographes et les hydrologues, les sédimentologues et les socio-économistes. Mais chacun dans sa discipline a développé un langage propre, si bien que les mots n'ont pas la même portée selon les professions. Il nous faut donc préciser le sens des mots et celui que prêtent les divers spécialistes qui interviennent à différentes échelles de temps et d'espace à la poursuite d'objectifs propres. C'est une condition préalable à l'amélioration de l'efficacité des projets de lutte antiérosive.

La dégradation des sols

Nombreux sont ceux qui confondent érosion et dégradation des sols. Pour les uns, l'érosion est la cause principale de cette dégradation. Pour d'autres, c'est sur les sols dégradés que s'installent les phénomènes visibles de l'érosion.

La dégradation des sols, c'est la perte des qualités essentielles des sols pour remplir ses fonctions naturelles de stockage de l'eau et des nutriments, de milieu de soutien des racines et des plantes, de réservoir de la biodiversité, de filtration des polluants et de séquestration du carbone.

La dégradation des sols peut avoir diverses origines : salinisation et carbonatation, engorgement, compaction par le piétinement ou la motorisation, lessivage des colloïdes ou des éléments solubles dans les eaux de drainage, minéralisation des matières organiques (MO) et squelettisation par érosion sélective des particules fines. En zone méditerranéenne semi-aride, alors que l'érosion comprend trois phases (arrachement, transport et sédimentation), la dégradation des terres ne concerne que la déstabilisation de la structure et de la macroporosité du sol, sur place.

La dégradation du sol dans le cadre qui nous occupe ici provient essentiellement de trois processus :

– la minéralisation des matières organiques du sol, d'autant plus active que le climat est chaud et humide ;

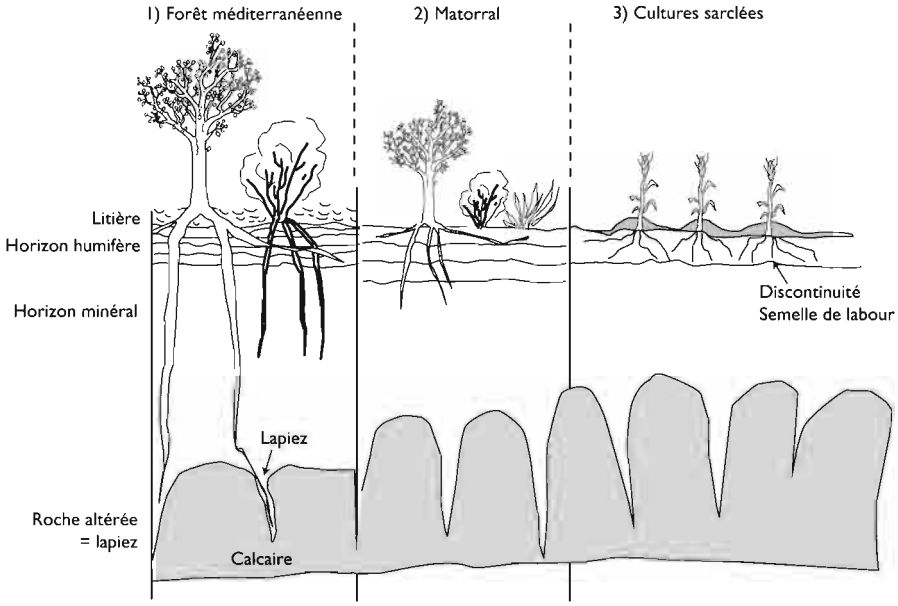
– l'exportation minérale par les cultures qui va entraîner la baisse des activités de la microfaune et de la faune, responsable de la macroporosité du sol et de la diffusion de l'air et de l'eau dans le sol ;

– la squelettisation ou l'enrichissement en sables et graviers des horizons de surface par érosion sélective des particules fines, des matières organiques et des nutriments, suite à la battance des pluies. Les gouttes de pluie tassent le sol, cassent les agrégats, arrachent des particules qui vont former alentour des pellicules de battance et des croûtes de sédimentation favorables au ruissellement.

Un exemple de la chaîne de dégradation des sols est présenté en figure 1.

Sous la forêt sèche méditerranéenne (à chênes-lièges), les sols sont bien protégés des énergies solaire et pluviale, grâce à la canopée qui tempère les écarts de température et surtout, grâce au sous-étage de buissons et en particulier à la litière (2 à 4 t/ha/an de matières organiques) ; cette litière nourrit la faune du sol et permet le recyclage rapide des nutriments essentiels à la vie de la forêt. Les racines sont très nombreuses dans l'horizon humifère jusqu'au contact avec la litière. Elles limitent les pertes de nutriments par drainage et par ruissellement. Une faible proportion de grosses racines s'enfonce en profondeur parfois jusqu'à la roche, procurant l'eau et les nutriments aux époques où le sol est sec en surface.

Peu de ruissellement (< 2%), beaucoup d'évapotranspiration (80 %) et relativement peu de drainage profond favorisent la formation de sols peu profonds, lessivés en surface avec un horizon enrichi en argile et encroûtés de calcaire vers



1. Dans la forêt, la biomasse est importante ; elle intercepte l'énergie du soleil et de la pluie, la litière abondante attire la macro-faune et maintient le sol perméable ; l'enracinement profond ramène en surface les nutriments lessivés par les eaux de drainage et les éléments minéraux libérés par l'altération des roches.
2. Dans le matorral, forêt dégradée par le pâturage et le feu, la biomasse est plus faible, la litière disparaît et la surface du sol est tassée par le piétinement du bétail. Le ruissellement est beaucoup plus abondant et l'érosion dépend de la surface du sol dénudée.
3. Sous cultures, céréales ou légumineuses, le couvert végétal est incomplet et limité à quelques mois de l'année, la litière et les adventices couvrent mal le sol, les grains et les pailles sont exportés ou consommés par les troupeaux : les matières organiques du sol diminuent de moitié et l'horizon labouré a perdu une bonne partie de sa stabilité structurale.
Conclusion : le changement d'usage entraîne la minéralisation des MO et l'exportation sélective des nutriments. Le sol dégradé et peu couvert est beaucoup plus sensible à l'érosion qui accélère la dégradation.

Fig. 1
Du milieu forestier aux prés et champs cultivés, l'érosion s'accélère.

40 à 80 cm. La faible vigueur de la forêt méditerranéenne, avec des arbres bas branchus et mal formés suite aux fréquents feux de brousse, fait écho à la faible fertilité des sols squelettiques, des sols rouges fersiallitiques ou bruns calcaires qui la portent. Par remontée biologique, les racines profondes recyclent rapidement les nutriments libérés par la minéralisation des litières et récupèrent en profondeur les nutriments lixiviés par les eaux de drainage ou libérés par l'altération des roches.

Le matorral est une forme dégradée de la forêt suite au surpâturage, aux feux de brousse et à l'exploitation des meilleures tiges pour les constructions et le bois de chauffage. Tant que le matorral est dense et mis en défens, il protège le sol contre l'énergie des pluies presque aussi bien que la forêt (Sabir et Roose, 2004).

Mais très vite le couvert végétal se dégrade : la biomasse diminue et la litière disparaît au passage des troupeaux et des feux en saison sèche. Le sol des parcours n'est plus complètement couvert lors des orages agressifs du début de l'automne. Il en résulte un ruissellement beaucoup plus abondant que sous forêt, localisé entre les touffes des arbustes là où le bétail circule à la recherche des jeunes repousses. Ce ruissellement et le parcours sur les pistes du bétail entraînent l'érosion en rigole, le tassement et le décapage de l'horizon humifère entre les touffes des arbustes.

Les racines sont nombreuses en surface qui protègent le sol sous les touffes et descendent moins profondément que celles des grands arbres : les remontées biologiques sont moins fortes que sous forêt et l'exportation des nutriments par le pâturage réduit beaucoup la fertilité des sols. En circulant, le bétail restitue une partie des végétaux broutés (fèces), mais les pertes de carbone et de nutriments représentent plus de 60 % de la biomasse ingérée (LECOMTE *et al.*, 2004).

Lorsque la dégradation est très poussée (surpâturage), il ne reste plus que des palmiers nains, des cistes, des épineux, des genêts et diverses herbes non palatables. La surface est complètement défrichée, les résidus brûlés et la surface du sol labourée à l'araire ou à la charrue à disques tractée mécaniquement. On passe alors à une culture de rapine à faible investissement avec une succession de blé sur blé ou sur légumineuses (lentilles, haricots, fèves) à très faible rendement avant une jachère pâturée plus ou moins courte.

Sous culture, la situation évolue rapidement après défrichement.

Au niveau du couvert végétal, on observe une simplification de l'écosystème : d'une cinquantaine d'espèces arborées ou arbustives dans la forêt méditerranéenne primitive, il ne reste qu'une ou deux plantes cultivées tolérées sur les champs labourés. La biomasse diminue ainsi que l'enracinement, souvent gêné par les techniques culturales (croûtes de battance, fond de labour). La couverture du sol est réduite dans le temps (de 4 à 6 mois) et protège mal la surface du sol contre les rayons du soleil (les températures extrêmes augmentent) et contre la battance des pluies (formation de pellicules de battance et de croûtes de sédimentation peu perméables). Le labour améliore temporairement la porosité et l'infiltration, mais augmente rapidement le ruissellement dès que se forment les pellicules de battance. Il ramène sans cesse en surface des horizons profonds pauvres en matières organiques, plus fragiles et moins perméables.

Au niveau du sol, l'énergie du soleil et des pluies est moins bien amortie que sous la litière des forêts. On peut observer :

– une forte augmentation du ruissellement ;

– la litière est très réduite : même les adventices sont récoltées pour le bétail ;

– les stocks de carbone du sol diminuent de 100 t C/ha sur 30 cm de profondeur sous forêt de chêne, à 70 % sous parcours, et à 44 % sous culture sarclée (céréales), ce qui diminue l'activité de la faune (porosité) et de la microflore (libération de l'azote et nutriments) ;

– la restauration du stock de carbone du sol peut s'accomplir en 40 ans par plantation forestière (stock de C de 93 % sous pinède), mais les plantations forestières

sont mal acceptées par les paysans car le sous-bois est réduit et les animaux n'y sont pas admis ; elle peut aussi être améliorée par association de cultures d'arbres fruitiers et de la rotation céréales/légumineuses fertilisées (stock de C de 71 % de celle de la forêt naturelle) (SABIR et ROOSE, 2004) ;

– la macroporosité du sol s'effondre au bout de quelques années de culture sans apport de litière et la capacité d'infiltration diminue ; cette dégradation physique est liée à des seuils de teneur en matières organiques en fonction de la texture du sol (MO < 0,7 % sur sol sableux ; MO < 1,2 % pour des sols sablo-limoneux et MO < 1,5 % pour les sols argileux) (FELLER, 1995 ; FELLER et BEARE, 1997).

– la surface du sol devient plus compacte et accuse les discontinuités spatiales : croûte de battance, mottes compactes, cailloux et semelle de labour ;

– les fuites de nutriments s'accélèrent alors que les compensations par remontées biologiques diminuent ;

– finalement la fertilité physique et chimique du sol s'effondre après quelques années de culture continue extensive sans apport de matière organique, ni de nutriments. Dès lors les risques de ruissellement et d'érosion augmentent rapidement.

Le ruissellement et l'érosion apparaissent alors clairement comme un signal d'alarme du déséquilibre entre le milieu et son système d'exploitation : il va falloir restaurer la fertilité des sols en même temps que le protéger contre l'érosion.

La portée de l'érosion selon les disciplines scientifiques

Le terme « érosion » vient du verbe latin « *erodere* », qui signifie « ronger ». Certains auteurs décrivent l'érosion comme une maladie qui ronge la terre jusqu'à ne laisser qu'un squelette blanchi stérile : les montagnes calcaires qui entourent la Méditerranée illustrent bien ce processus de décharnement dès lors qu'on les défriche ou qu'on brûle leur maigre végétation. En réalité, c'est un processus naturel qui abaisse toutes les montagnes (« *dénudation rate* » des géomorphologues anglophones). Mais en même temps, l'érosion engraisse les vallées, et forme les deltas et les riches plaines qui nourrissent la majorité de l'humanité. Il n'est donc pas forcément souhaitable d'arrêter toute érosion, mais de la réduire à un niveau acceptable par tous (ROOSE, 1994). On verra au chapitre 3 les divers types et origines des processus d'érosion.

L'érosion est la somme de trois processus : l'arrachement de matières, le transport et la sédimentation d'une partie de celle-ci en cours de route. Le transport des particules de la surface du sol s'effectue par le vent, l'eau, l'attraction universelle et divers agents (BERGSMA *et al.*, 1996). Dans cet ouvrage, on ne s'attachera qu'à l'érosion hydrique. L'érosion éolienne fait appel à des processus différents et exige des techniques de lutte particulières traitées dans des manuels propres.

Le contenu du mot « érosion » varie selon les disciplines scientifiques.

Pour les géologues, on distingue clairement les zones d'érosion (les montagnes et les versants), des zones de sédimentation (plaines alluviales, lacs, océans). Pour les géographes, ce sont les phénomènes orogéniques et l'érosion des montagnes qui sculptent les paysages au cours des millénaires. Pour les hydrologues, l'érosion (*sediment yield*) est considérée comme la source des sédiments observés à l'exutoire d'une rivière (*sediment delivery*) à un coefficient d'efficacité près (*sediment ratio*) qui dépend de la morphologie du paysage. Sur les bassins versants des montagnes jeunes à vallées encaissées, l'érosion augmente avec le volume ruisselé et la surface du bassin (ex : le Haut Atlas). Mais dans les reliefs anciens, comme dans la majorité des cas, l'efficacité érosive diminue lorsque la surface du bassin augmente car il s'y produit des dépôts de sédiments sur les glacis et les vallées. Pour les agro-pédologues travaillant à l'échelle d'un champ, l'érosion est la résultante de l'arrachement des particules par l'énergie des gouttes de pluie et du ruissellement, du transport par les eaux de ruissellement et du dépôt localisé des sédiments trop lourds (Roose, 1994) : sur chaque m^2 on peut observer les trois processus (arrachements, transport et dépôts de particules).

La tolérance en érosion

Elle a d'abord été définie comme la perte de sol acceptable qui est compensée par l'altération des roches gardant ainsi une profondeur du sol constante. Elle varie de 1 à 15 t/ha/an en fonction du climat, du type de roche tendre ou dure et de l'épaisseur des sols. Cependant, cette approche ne tient pas compte de l'importance de l'érosion sélective des nutriments et des matières organiques qui font la fertilité des horizons humifères superficiels des sols. De plus, la productivité des horizons humifères est bien supérieure à celle des roches altérées, quasiment stériles. On a donc tenté de définir la tolérance comme l'érosion qui ne provoquerait pas de baisse sensible de la productivité des terres. Mais cette définition doit encore être corrigée car certaines terres profondes, comme les sols bruns sur lœss ou les vertisols, perdent beaucoup de terre et provoquent des dégâts intolérables à l'aval par la pollution des eaux et l'envasement des barrages, sans que cette érosion n'entraîne de forte baisse de rendement des cultures.

Il faut donc tenir compte de ces trois aspects en même temps : la vitesse de restauration des sols, le maintien de la productivité des terres et le respect de la qualité des eaux de ruissellement (Stocking, 1978 ; Mannering, 1981).

La discontinuité de l'érosion dans l'espace

L'érosion hydrique résulte de nombreux processus qui jouent au niveau de trois phases : le détachement des particules qui exige beaucoup d'énergie, le transport solide qui dépend du volume du ruissellement et la sédimentation en fonction de la capacité de transport de l'eau et de la taille des sédiments. Quelle que soit l'échelle de l'étude de l'érosion, on retrouve ces trois phases, mais avec des intensités différentes.

En montagne, lorsque le couvert végétal est dégradé, le ravinement, les torrents et les glissements de terrain entraînent d'énormes transferts liquides et solides qui causent des dégâts aux réseaux de communication : les ingénieurs des Ponts et Chaussées et les forestiers interviennent pour revégétaliser les hautes vallées, entretenir les voies de communication et corriger les torrents : c'est la Restauration des terrains de montagne (RTM, voir chapitre 2). Quant aux paysans montagnards, ils cherchent avant tout à gérer l'eau et les nutriments sur les parcours ou les terrasses irriguées et à accumuler du sol dans des terrasses plutôt qu'à lutter contre l'érosion.

Dans les piémonts, les dégâts d'érosion proviennent de l'érosion en nappe sur les glacis et du ravinement par les torrents qui charrient d'énormes charges solides, et secondairement, du surpâturage et des cultures de rapine sur fortes pentes. Les forestiers tenteront de résoudre par la RTM et la Défense et restauration des sols (DRS) les problèmes d'envasement accéléré.

Enfin, dans les plaines vallonnées, les problèmes concernent l'érosion en nappe des collines, l'alluvionnement, l'inondation des lits majeurs des rivières, les inondations et l'envasement des quartiers résidentiels mal placés sous des versants cultivés, et enfin la pollution des eaux par les matières en suspension (MES), les sables et les produits toxiques rejetés par l'agriculture ou l'industrie... Il y a ici une grande diversité de processus en cause, mais aussi des acteurs et des intérêts souvent divergents.

Sur les versants et les parcelles paysannes, agronomes, pédologues, géomorphologues parlent d'érosion ou de perte en terre (*sediment yield* des hydrologues anglophones). Dans les rivières, hydrologues et sédimentologues parlent de transports solides (*sediment delivery*) : transport en suspension (MES = argiles + limons + matières organiques et quelques sables), et transports de fond (sables grossiers et galets en charriage). Entre l'érosion mesurée sur versant et dans la rivière voisine, il y a souvent de grandes différences provenant de l'efficacité de l'érosion (= *sediment ratio*) car en bas de pente se déposent les éléments les plus lourds qui vont nourrir les sols colluviaux et alluviaux.

Le rapport d'efficacité est le plus souvent inférieur à 1 : ce qui veut dire que les transports solides par hectare diminuent lorsque la taille du bassin augmente. Ainsi, au Sud-Mali, Diallo *et al.* (2004) ont montré que l'érosion des versants du bassin de Djitiko (104 km^2) estimé à partir des parcelles d'érosion, des cartes de sols et de l'occupation des sols est 20 fois supérieure aux transports solides en suspension observés à l'exutoire du bassin vers le fleuve Niger.

Par contre, en montagne où la pente des émissaires est forte, comme en zone méditerranéenne, l'énergie érosive du ruissellement est plus forte que celle des pluies. Les pertes en terre sur les champs peuvent être modestes (0,1 à 15 t/ha/an : Heusch, 1970 ; Arabi et Roose, 1989 ; Roose *et al.*, 1993 ; Laouina, 1992) tandis que les transports solides par les ravines et les oueds dépassent 100 à 300 t/ha/an (Olivry et Hoorelbeck, 1989 ; Roose *et al.* 2000). Dans le cas des montagnes jeunes à vallées profondes, plus le bassin est grand, plus le ruissellement est concentré et rapide, plus les débits de pointe sont forts

et plus le ruissellement agresse le fond et les berges des oueds en provoquant des glissements de terrain dans les basses terrasses. Le rapport d'efficacité de l'érosion peut être supérieur à 1 et l'érosion spécifique (t/km^2/an) peut augmenter avec la taille du bassin (HEUSCH, 1971).

Par exemple, dans le Haut Atlas, l'érosion atteint 0,3 t/ha/an sur parcelles de 100 m^2 et les transports solides à l'exutoire de l'oued Rhéraya (225 km^2) dépassent 3 t/ha/an de MES sans compter les transports de fond (SIMONNEAUX, CHEGGOUR et ROOSE, 2006).

L'érosion géologique et l'érosion accélérée par les actions humaines

On distingue généralement l'érosion normale ou géologique, celle qui façonne lentement la forme des versants (morphogenèse) (E < 1 t/ha/an) tout en permettant le développement d'une couverture pédologique issue de l'altération des roches en place, des colluvions et alluvions (pédogenèse). On dit que les paysages sont stables quand il y a équilibre entre la vitesse d'altération des roches et l'érosion (KILIAN et BERTRAND, 1974).

Cependant, l'érosion géologique n'est pas toujours lente ! Dans les zones à fort soulèvement orogénique (les Andes, les Alpes, etc.), les débits solides des rivières peuvent dépasser 50 t/ha/an et 100 t/ha/an dans l'Himalaya qui se soulève à la vitesse de 1 cm par an. De même dans certaines zones méditerranéennes ou tropicales, soumises aux cyclones, tempêtes tropicales ou pluies cévenoles, la morphogenèse actuelle peut être très rapide, surtout si la couverture forestière a été dégradée (HEUSCH, 1991, comm. pers.). Dans les montagnes jeunes du Maroc, le soulèvement orogénique continue actuellement, accompagné de nombreux tremblements de terre qui augmentent les risques d'érosion.

L'érosion géologique peut agir de façon soudaine et catastrophique à l'occasion des orages de fréquence rare, ou d'une succession d'averses qui détrempent le terrain ou encore lors d'activités sismiques ou volcaniques qui rompent la cohésion des couvertures pédologiques au contact avec le plan de la roche altérée. On se souvient des coulées boueuses en Colombie qui en 1988, en une nuit, ont détruit une ville de 25 000 habitants (volcan Nevado del Ruiz). Dans le bassin méditerranéen, ces catastrophes sont fréquentes. Ainsi dans le Sud tunisien, J. Bourges *et al.*, (1979) ont mesuré à la citerne Tellman, près de Gabès, des ruissellements annuels moyens de 14 à 25 % des pluies et des pertes en terre de 8,2 t/ha/an. Mais le 12 décembre 1978, il est tombé une averse tropicale de 250 mm en 26 heures qui a provoqué plus de 89 % de ruissellement et 39 t/ha d'érosion en un seul jour.

En Algérie, P. FLOTTE (1984) a décrit la coulée de lave torrentielle de Mechtras en Grande Kabylie qui s'étend sur 18 km^2, sur une pente de 7 % (environ 150 millions de m^3). On peut en observer de pareilles dans le Rif central près de Taza où 150 m de route se sont effondrés en 1969 dans la vallée, formant un lac de barrage naturel très dangereux. Ces mouvements de terre catastrophiques, où les volumes déplacés de matériaux non triés sont importants, se sont mis en place à grande vitesse : ils résultent souvent des conditions climatiques particulières

(pluies diluviennes sur plusieurs jours, secousses sismiques, fonte des neiges, conditions relativement fréquentes autour du bassin méditerranéen).

L'érosion accélérée par l'homme, suite à une exploitation imprudente du milieu, est 10 à 1 000 fois plus rapide que l'érosion géologique normale. Il suffit d'une perte de terre de 15 t/ha/an, soit 1 mm/an ou 1 m en 1 000 ans, pour dépasser la vitesse de l'altération des roches : celle-ci varie de 100 ans pour altérer 1 mètre de marne à plus de 100 000 ans pour altérer un mètre de granite en conditions tropicales humides. De plus, la couche arable s'appauvrit en particules légères (argiles + limons + matières organiques) par érosion sélective (squelettisation des horizons de surface) et s'amincit par décapage, tandis que le ruissellement s'accélère (20 fois plus de ruissellement sous culture que sous forêts denses) provoquant à l'aval des débits de pointe très dommageables pour le réseau hydrographique (ROOSE, 1977 ; ROOSE, LELONG, COLOMBANI, 1983). En une génération, l'horizon humifère du sol cultivé peut-être décapé, entraînant la perte de la production végétale pendant de nombreuses années.

Les différentes formes d'écoulements

La pluie et les apports occultes (rosée, brume = 20 à 150 mm par an) sont très variables en fonction de l'altitude, de la distance de la mer, de l'orientation des versants par rapport aux vents humides et de la couverture nuageuse durant la nuit.

Le ruissellement superficiel (*runoff*) est l'excès de pluie par rapport à la capacité d'infiltration du sol ; il coule à la surface du sol, s'organise en nappes, puis en filets et rejoint rapidement la rivière où il provoque des crues après un temps de réponse très court, de l'ordre d'une demi-heure dans un bassin d'un km^2.

Le ruissellement hypodermique (*interflow*) chemine plus lentement à l'intérieur des horizons superficiels du sol, souvent plus poreux que les horizons minéraux profonds : le temps de réponse est de l'ordre de quelques heures sur un bassin d'un kilomètre carré. Dans le Maghreb, il est fréquemment à l'origine de la formation de ravines à flanc de colline.

Les nappes temporaires et les nappes phréatiques (pérennes et plus profondes) entretiennent l'écoulement de base des rivières (*baseflow*) et l'étiage en saison sèche. Le temps de réponse peut s'élever à plusieurs jours (sur un bassin de 1 km^2), voire des mois sur les plus grands fleuves.

Reste encore à définir trois notions complémentaires pour bien comprendre l'évolution des processus d'érosion depuis l'échelle d'une parcelle sur versant jusqu'au transport solide évalué à l'exutoire d'une rivière :

– la turbidité est le poids de particules fines en suspension dans les eaux de ruissellement. Sur parcelle, la charge en suspension ne constitue qu'une fraction des pertes en terre car les agrégats et les sables grossiers se déplacent lentement à la surface du sol et sédimentent dès que la pente diminue (d'où la formation de colluvions). Au niveau d'une rivière, les hydrologues distinguent la charge des particules fines en suspension dans les eaux et la charge de fond (sables grossiers, cailloux, galets, blocs de roches) qui progresse par bond au fond du lit.

Dans les reliefs jeunes des montagnes méditerranéennes, la charge de fond peut atteindre 20 à 40 % des transports solides d'un torrent ;

– la capacité de transport du ruissellement est la masse de particules (petites et grosses) que la force du ruissellement est capable de transporter. Sur un versant en pente forte, le ruissellement atteindra une vitesse plus grande et sa capacité de transport sera plus forte qu'au contact des pentes douces du fond de la vallée : il en résulte des dépôts colluviaux, alluviaux, des cônes de déjection en montagne et des méandres dans les plaines ;

– la compétence du ruissellement est le diamètre maximal des particules qu'un fluide en mouvement peut déplacer. L'érosion en nappe sur pente douce ne peut déplacer que les particules fines (matières organiques, argile et limons) : d'où l'érosion sélective qui laisse à la surface du sol un lit de sables délavés. Par contre, un torrent au cours de ses crues peut déplacer des galets et même des blocs de rochers importants : le diamètre maximal des blocs posés au fond des rivières est un indicateur de ses débits de crue.

Effet du défrichement

Le transport solide des rivières dépend de la turbidité des eaux et surtout du volume des écoulements. Le brûlis de la végétation du bassin des rivières entraîne généralement un raccourcissement du temps de concentration, une augmentation du débit de pointe (donc du transport solide) et une diminution de l'étiage (Roose, Lelong, Colombani, 1983). Mais ces manifestations ne durent que quelques mois car dès le retour de la saison des pluies, la végétation basse recouvre la surface du sol, absorbe l'énergie des gouttes de pluie, favorise l'infiltration et réduit les transports solides (Durand, Lelong, Neal, 1992 ; Didon-Lescot, 1996). C'est au cours des débits de pointe que se manifestent les plus forts transports solides sous forme de matières en suspension (MES) et de charriage car la vitesse des écoulements augmente rapidement pour permettre le passage d'un écoulement croissant dans un canal relativement figé. C'est au cours des crues que les gros blocs (parfois > 1 m^3), sont remis en mouvement dans les oueds de montagne. Il est donc fondamental d'augmenter la capacité d'infiltration stable du bassin, ou tout au moins d'étaler les écoulements (murets, haies vives, banquettes), pour réduire les transports solides des oueds et l'envasement des barrages.

Conclusion

L'érosion est un ensemble de processus physiques (arrachement, transport et dépôt) variables dans le temps et dans l'espace donc difficiles à évaluer, sensibles à des paramètres différents, donc à des méthodes de lutte différentes, en fonction des conditions écologiques et socio-économiques des sociétés rurales.

La lutte antiérosive devant être mise en œuvre en milieu rural n'est pas seulement un problème technique : elle doit aussi tenir compte du contexte humain car elle intéresse divers acteurs dont les intérêts ne sont pas forcément compatibles.

Il faudra donc définir soigneusement les objectifs prioritaires des projets de conservation des sols et choisir pour chaque situation les méthodes les plus efficaces et les mieux acceptées par les populations : soit pour restaurer la fertilité et la productivité des terres paysannes, soit pour améliorer la qualité des eaux et gérer les sédiments, ce qui intéresse en premier lieu les citadins, les industriels et les sociétés d'irrigation dans les plaines.

On verra au chapitre 2 comment la gestion des eaux et des sols en terrains pentus a évolué au cours du temps en fonction des crises environnementales et des sociétés concernées.

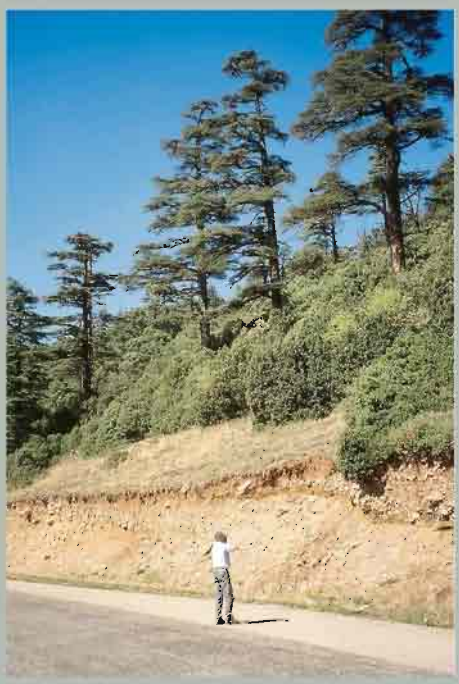
© M. Sabir

Éléments de banquette plantés en oliviers ou amandiers sur un versant semi-aride (Sidi Driss, Haut Atlas). Noter la couleur plus sombre du sol due au ruissellement, aux sédiments et aux matières organiques captées dans la cuvette.

© M. Sabir

Plantation de pins d'Alep sur versants surpâturés. Noter les cheminements du bétail qui risquent de ruiner l'aménagement en banquettes. Les reliques du matorral ont été préservées.

Reforestation



© É. Roose

Régénération naturelle de cèdres sur sol colluvial peu profond (Moyen Atlas).

© É. Roose

Collecte de fourrage par ébranchage sur un frêne (Tamatert, Haut Atlas).

© M. Sabir

Le transport du fumier dans les montagnes exige beaucoup d'énergie des hommes et des ânes. Seuls les champs les plus proches des fermes sont régulièrement fumés (Rif occidental).

Diversité des stratégies de gestion de la biomasse

© M. Sabir

En zone méditerranéenne, le feu ravage souvent le matorral, permettant la régénération de certaines essences (Rif).

© M. Sabir

Réserve de bois de feu pour l'hiver autour d'une ferme (Rif occidental).

© É. Roose

Plantation d'oliviers à l'amont de murettes qui captent le ruissellement et les sédiments (Prérif oriental).

© É. Roose

Ravine plantée en noyer (oasis en montagne aride, Haut Atlas).

© É. Roose

Agroforesterie

Grande diversité d'arbres fruitiers et forestiers dans un vallon du terroir de Bettara (Rif occidental).

© É. Roose

Cultures irriguées sous une oasis de palmiers dattiers et divers fruitiers (Anti-Atlas).

Plantation d'oliviers sur banquettes et culture intercalaire de céréales en courbes de niveau (zone atlantique).

© É. Roose

© É. Roose

Banquette d'absorption totale : fossé noyé par l'abondance du ruissellement (région de Kairouan).

Défense et restauration des sols (DRS)

© É. Roose

Plantation d'oliviers sur banquettes : vue rapprochée du talus, de la terrasse et du bourrelet sur lequel les arbres ont été plantés (Rif central).

© M. Sabir

Dégâts d'une crue décennale sur un seuil : noter la taille des blocs transportés dans le ravin lors des crues (Azaden, Haut Atlas).

Seuil en gabions (Chefchaouen, Rif central).

© É. Roose

© É. Roose

Capture des eaux de ruissellement

Culture au pied d'une colline grâce au captage du ruissellement (Anti-Atlas).

© É. Roose

Culture d'oliviers dans une cuvette en demi-lune captant les eaux de ruissellement du coteau (Prérif oriental).

© É. Roose

Chemin creux reliant une ferme aux parcours : il capte les eaux ruisselant du versant et les redistribue dans les zones aménagées en terrasses (Afkiren, Rif occidental).

© É. Roose

Capture sur des terrasses du ruissellement d'un segment de versant et stockage dans une citerne (Anti-Atlas).

Stockage du ruissellement sur les versants

Madgen, *mare de petite taille (50-100 m³) captant les eaux de drainage des pistes ou des zones peu perméables, en vue de l'abreuvement du bétail ou de l'irrigation d'un petit jardin (Rif central).*

Citerne portugaise ancienne destinée à l'abreuvement des troupeaux (Anti-Atlas).

Matfia, *citerne pluviale couverte à l'usage d'une famille de la vallée de Beni Boufrah (Rif central).*

Micro-lac collinaire captant le ruissellement du versant.

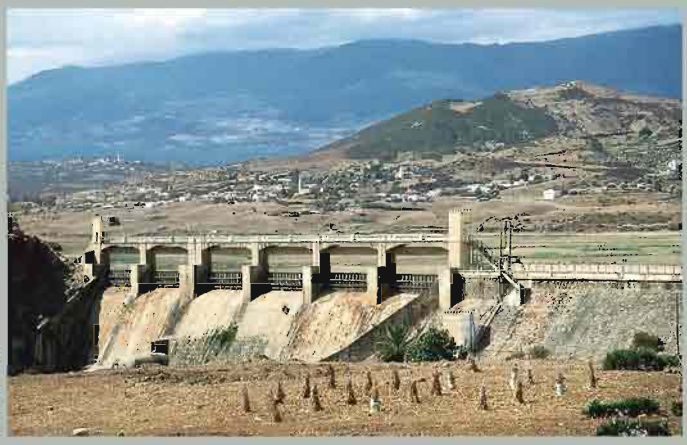
Stockage de l'eau dans les vallées

© É. Roose

Pont barrage dans la vallée du Rhéraya (Haut Atlas).

© É. Roose

Jesser en zone aride (Rif oriental).



© É. Roose

Barrage complètement envasé sur l'oued Laou (Rif occidental).

© É. Roose

Barrage collinaire : la digue et une prise d'eau (Moyen Atlas).

© É. Roose

Terrasses progressives

Terrasse délimitée par un alignement d'agaves (Rif).

© É. Roose

Terrasses délimitées par des cordons de pierres (Ketama, Rif).

© É. Roose

Draille et terrasses délimitées par des tas de pierres évoluant en cordons (Taza, Rif).

© É. Roose

Drainage sur versants

Sillons de drainage dans un champ après labour (Afkiren, Rif occidental).

© É. Roose

Fossé de diversion des eaux excédentaires (Bettara, Rif occidental).

© É. Roose

Banquettes de diversion vers d'anciennes ravines creusées par la concentration du ruissellement en bordure de parcelles (Beni Boufrah, Rif central).

© É. Roose

Terrasses en gradin

Construction manuelle d'une terrasse en gradin sur colluvions : triage des pierres sur place et construction d'une murette.
Noter les petites pierres permettant de drainer le muret et le fumier incorporé à la terre humifère de surface (vallée du Rhéraya, Haut Atlas).

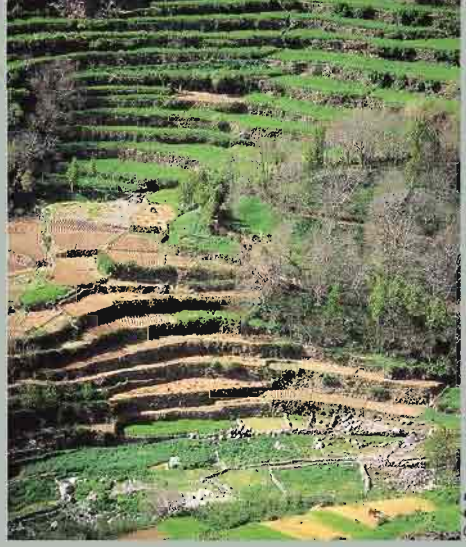
© M. Sabir

Gradin taillé à la pelle mécanique dans les colluvions (Rif).

© É. Roose

Décapage à la pioche du talus d'un bas de versant colluvial pour dégager l'espace créé en amont du muret.

Terrasse de récupération le long de l'oued, mur de protection et terrasse en gradin irriguée (Haut Atlas).



Trois types de terrasses : terrasses de récupération dans le lit majeur de l'oued, terrasses étroites irriguées par séguia dans les colluvions et terrasses progressives sur le versant limitées par des cordons de pierres (Haut Atlas).

Terrasses en gradins taillées dans les colluvions et semées en céréales ; talus en terre nue (Haut Atlas).

Terrasse en gradin, muret en pierres et séguia drainant le pied du talus. Une polyculture intensive est pratiquée sous les oliviers (Rif occidental).

Végétalisation des ravines

© É. Roose

Ravine plantée d'arbres divers (figuiers, amandiers, peupliers, frênes, eucalyptus) au bas du coude d'une piste (Afkiren, Rif occidental).

© É. Roose

Ravine plantée en Eucalyptus camaldulensis *(Beni Boufrah, Rif oriental).*

© É. Roose

Tête de ravine stabilisée par des opuntias ou cactus raquettes (Afkiren).

© É. Roose

Plantation d'oliviers en cuvettes dans une ravine. Des petits cordons de pierres ralentissent le ruissellement (Rif).

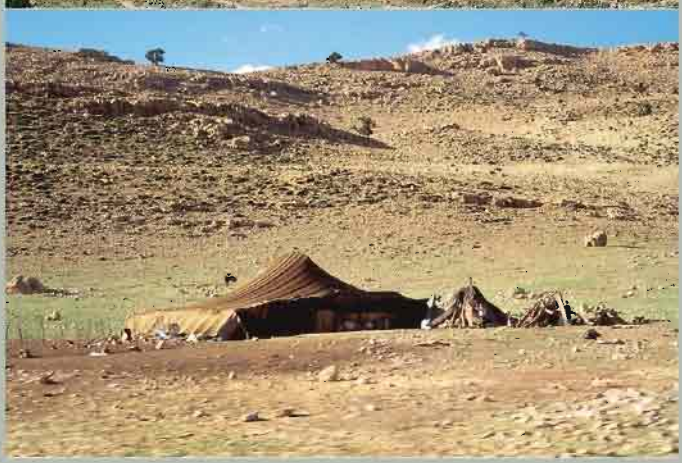
Influence de l'élevage

© M. Sabir

Collecte dans le matorral et transport à la ferme de branchages d'arbustes fourragers (Rif).

© M. Sabir

Versant encaissé et surpâturé entraînant le ravinement du chemin et des glissements de terrain (« pas-de-vaches ») sur les versants raides (Rif).



© M. Sabir

Tentes de nomades sur parcours semi-arides (Moyen Atlas semi-aride).

© M. Sabir

État de surface d'un sol surpâturé : souche de romarin, cailloux inclus dans une croûte d'érosion, tassement des premiers centimètres du sol brun sub-aride (Moyen Atlas).

© M. Sabir

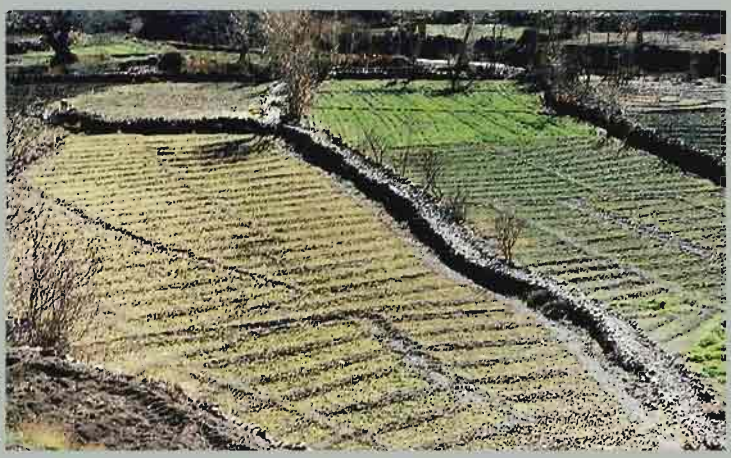
Polyculture sur terrasses en montagne

Aménagement d'une terrasse alluviale en petites parcelles de maraîchage irriguées (Sidi Driss, Haut Atlas).

Polyculture sous pommiers dans la vallée d'Azaden (Haut Atlas).

© M. Sabir

Terrasses en gradins taillées dans la nappe colluviale d'un versant (Haut Atlas).



© M. Sabir

Terrasses aménagées en petits casiers irrigués : parcelles entourées de murets encadrant une draille, chemin emprunté par le troupeau se rendant des parcours aux sources (Sidi Driss, Haut Atlas).

© M. Sabir

Aménagement progressif du fond de vallée de l'oued N'Fiss (Haut Atlas) : sur la gauche, casier caillouteux captant les sédiments lors des crues, limité par un épi drainant, puis casier de graminées fourragères suivi d'un casier de céréales et finalement plantation d'arbres fourragers, fruitiers ou forestiers.

Restauration des sols

© M. Sabir

Plantation fruitière sur un énorme cône de déjection dû à un glissement de terrain (Armed, Haut Atlas).

© É. Roose

Restauration de l'aménagement du lit majeur de l'oued Rhéraya (Haut Atlas). Une crue récente a balayé les anciennes parcelles, mais progressivement, les épis sont reconstruits et la végétation envahit les sédiments déposés lors de chaque crue.

Érosion en milieux « imperméabilisés »

© É. Roose

Une citerne recueille les eaux de pluie d'une habitation (Beni Boufrah, Rif oriental).

© É. Roose

Le ruissellement sur une piste rurale a provoqué une ravine profonde près de Rabat.

© É. Roose

Une ravine due au passage du bétail dégrade la piste rurale.

© É. Roose

Dégâts des pluies et glissement de terrain sur la route de Chefchaouen (Rif occidental).

Éric Roose Mohamed Sabir Abdellah Laouina

Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc

Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes

IRD Éditions

Gestion durable des eaux et des sols au Maroc

Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes

Éric Roose
Mohamed Sabir
Abdellah Laouina

avec la participation de
Faïçal Benchakroun, Jamal Al Karkouri,
Pascal Lauri, Mohamed Qarro

IRD Éditions
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

Marseille, 2010

Préparation éditoriale
Marie-Odile Charvet Richter

Mise en page
Bill Production

Maquette de couverture
Michelle Saint-Léger

Maquette intérieure
Pierre Lopez

Coordination, fabrication
Marie-Odile Charvet Richter

Photo de couverture
IRD/É. Roose – « Aménagement d'une vallée du Haut Atlas (Maroc) : cordons de pierres, terrasses en gradins irrigués et agroforesterie. »

La loi du 1er juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1er de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD, 2010

ISBN : 978-2-7099-1683-7