

**TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE L'EROSION DES SOLS  
EN ALGERIE**



**Rcueil d'articles réalisé par Djamel BELAID**  
Ingénieur Agronome

## INTRODUCTION

Ce recueil d'articles vise à apporter des éléments d'appréciation à partir de données actuellement en ligne. Il ne s'agit pas d'être exhaustif, mais d'amener le lecteur à s'informer sur l'érosion et à travers les articles des auteurs présentés ici aller vers d'autres travaux.

Ce dossier en est à sa première édition. IL ne manquera pas d'évoluer. Toute contribution est la bienvenue.

## SOMMAIRE

CHAPITRE 1  
ASPECTS THEORIQUES 4

CHAPITRE 2  
EROSION EN ALGERIE: ETAT DES LIEUX 10

CHAPITRE 3  
CONSEQUENCES DE L'EROSION 13

CHAPITRE 4  
BILANS ET PERSPECTIVES 30

CHAPITRE 5  
SOLUTIONS ET BILANS 45

CHAPITRE 6  
ETUDE DE CAS AU MAGHREB 94

CHAPITRE 7  
ENVALEMENT DES BARRAGES 98

## ASPECTS THEORIQUES 4

### LA DEGRADATION 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, mésflore). 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

### Discontinuité Semelle de labour

**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 lixivés 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'accroissent 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 déchaînement 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 (BERGSMAN 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<sup>2</sup> 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 loess 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<sup>2</sup>) 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/halan: 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/halan (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<sup>2</sup>/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<sup>2</sup> et les transports solides à l'exutoire de l'oued Rhéraya (225 km<sup>2</sup>) 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 (morphogénèse) ( $E < 1$  t/ha/an) tout en permettant le développement d'une couverture pédologique issue de l'altération des roches en place, des colluvions et alluvions (pédogénèse). On dit que les paysages sont stables quand il y a équilibre entre la vitesse d'altération des roches et l'érosion (Kn., IAN 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 morphogénèse 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 détrempe 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, 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<sup>2</sup>, sur une pente de 7 % (environ 150 millions de m<sup>3</sup>). 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 mm 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<sup>2</sup>.

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<sup>2</sup>), 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<sup>3</sup>), 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.

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.

-u.i @

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.

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

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

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

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).

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 (Pré-rif oriental).

I © É. Roose

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

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

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

III

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

© 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).

Seuil en gabions (Chefchaouen, Rif central).

IV

© É. Roose

10-. ... © É. Roose Culture d'oliviers dans une cuvette en demi-lune captant les eaux de ruissellement du coteau (Pré-rif oriental).

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).

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

v

VI Madgen, mare de petite taille (50-100 m<sup>3</sup>) 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).

CI> 8 o cr: .w @

Madia, 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

Pont barrage dans la vallée du Rhéraya (Haut Atlas). Jesser en zone aride (Rif oriental).

QI g cr: -u.i @

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

QI j -u.i @

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

VII

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

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

VIII

.. ] .w @

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

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

Fossé de diversion des eaux excédentaires (Bettara, Rifoccidental).

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

IX

x

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).

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

QI j .w .@

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).

XI

Végétalisation des ravines

© É. Roose

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

© É. Roose

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

XII

© É. Roose

Tête de ravine stabilisée par des opuntias ou cauas 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

Tentes de nomades sur parcours semi-arides (Moyen At/as semi-aride).

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

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

© 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).

XIII

© M. Sabir

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).

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

XIV

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).

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.

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

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.

xv

© É. Roose

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

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

XVI

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

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

Gestion durable des eaux et des sols au Maroc Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes

Éric ROOSE Mohamed SABIR Abdellah LAOUINA

avec la participation de F.uçal BENCHAKROUN, Jamal AL KARKOURI, Pascal LAURI, Mohamed QARRO

IRD Éditions INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

Marseille, 2010

Photo de couverture IRDtÉ. Roose - « Aménagement d'une vallée du HautAtlas (Maroc) : cordons de pierres, terrasses en gradins irrigués et agroforesterie. } )

## EROSION EN ALGERIE: ETAT DES LIEUX 11

**LE PROBLEME DE L'ÉROSION DES SOLS EN MONTAGNE ET LE CAS DU TELL ALGÉRIEN  
(ESSAI DE GÉOGRAPHIE APPLIQUÉE)**

par Maurice BENCHETRIT 1955

Un des caractères les plus frappants, mais non des plus enviables, du paysage du Tell algérien est la marque profonde et quasi omni-présente qu'y impriment les multiples manifestations de l'érosion des sols : ravinements et griffes vigoureusement entaillées dans tous les versants dépourvus de végétation, glissements de terrain, ensablements dans les fonds de vallées et au débouché des oueds montagnards dans les plaines, etc.. L'ensemble du pays, comme certaines régions des Alpes françaises il y a moins d'un siècle, comme bien d'autres régions du globe actuellement (en Afrique, en Amérique et en Asie), assiste à un immense transfert de son sol désagrégé des montagnes vers les plaines et des plaines vers la mer ou des dépressions non drainées et peu à peu « désertifiées » comme les montagnes dénudées.

Certes, l'Algérie tellienne est toujours apparemment aussi verdoyante et aussi prospère. Les progrès du phénomène qui modifie peu à peu tout le paysage algérien, surtout dans les chaînons telliens, n'apparaissent pas clairement en quelques années ni même en l'espace d'une génération. Encore que des catastrophes viennent périodiquement révéler d'un coup la gravité du danger, comme par exemple la rupture du barrage de l'oued Fergoug en 1927, après laquelle l'ensemble des basses plaines d'Oranie orientale fut enseveli en quelques jours sous près de 80 millions de mètres cubes de débris arrachés aux montagnes, et qui formèrent un dépôt de 10 à 20 cm d'épaisseur sur une superficie de 50 000 ha 1. On a pu évaluer à 8 millions d'hectares la superficie en cours de « désertification » par érosion dans le Tell algérien, et cette superficie s'accroît sans cesse. On peut dire que le problème de l'érosion des sols est en passe de dominer toute la géographie économique et sociale de l'Algérie. Par ses origines, les formes et les conditions de son développement, ce phénomène est intimement lié à la structure physique et humaine et à l'histoire de ce pays. Les progrès actuels de l'érosion des sols, parallèlement aux progrès de la population, peuvent peser lourdement sur son avenir. C'est sous son aspect essentiellement pratique, le plus important, que ce problème sera envisagé ici : problème de la lutte contre l'érosion et de la conservation des sols, tel qu'il s'est posé dans les Alpes françaises il y a un siècle, et tel qu'il se pose actuellement, mais de façon tellement plus aiguë et plus complexe, en Algérie.

**I. — LE PROBLEME GENERAL DE LA  
DEFENSE DES SOLS CONTRE L'EROSION**

La liaison entre la dégradation de la végétation naturelle et l'érosion du sol est reconnue depuis très longtemps. En 1606 par exemple, le Parlement de Provence enregistre la « Requête présentée par les trois Etats de ce pays de Provence tendant afin qu'il pleust à la cour pourvoir aux abus, malversations et desordres qui se commettaient journellement tant à la dépopulation des bois, eyssarts, bruslemens et idefrichemens de garrigues, broussailles et terres incultes qui sont sur les pendans [versants] des montagnes, au moyen desquels ladite province s'en va dépourvue de bois... et de pâturage pour le bétail, et qui pis est, les bonnes terres qui sont ez lieux bas, lavées et emportées par le ravage des eaux, tellement que ladite province se trouverait destituée de labourage, de pasturage et de chauffage qui sont les principales commoditez d'icelle 2. » Et le seigneur de Daluis précisait dans une lettre du 15 mars 1660 :

1 Cf. M. Benchetrit, L'érosion des sols dans les chaînes telliennes d'Oranie (Rev. Géom. Dyn., 1954, n° 4). 2 Registres du Parlement de Provence, 20-XII-1606 (Arch. B. du Rhône, C.-278), cité par T. Sclafert : Le déboisement des Alpes du Sud (A. de G, juillet 1933, p. 357-360).

« C'est la principale cause de ce malheur, autant général qu'il est extrême et déplorable, cette permission à faire des essarts ou brûler la terre dont le rapport extraordinaire durant quelques années aux premiers qui en ont introduit l'usage, a donné l'envie à tout le reste de les imiter, a fait ruiner toutes les forêts de Provence, rompre tout ce qui était capable de culture et fait voir partout les effroyables marques du feu et des incendies 3. » Les enquêtes qui furent ouvertes en 1698 vinrent

corroborer ces témoignages et nous montrent surtout que le problème actuel de l'érosion des sols dans les montagnes algériennes a eu des précédents presque identiques : Dans la vallée de Vitrolles par exemple, située entre le petit Buech et la Durance, et qui faisait partie de la viguerie de Siste- ron, la région de Barcillonnette « est toute ruinée, défrichée, entièrement perdue... » et les paysans déclarent aux enquêteurs : « Il est à observer que les habitants d'E&parron sont estés obligés de défricher les montagnes ou véritablement garrigues qui sont éloignés desdits ameahs... pour y semer de bled et d'avoines, ...ce qui ne peut se faire à présent ny moins à l'avenir, atandu que ses montâmes qui ne sont que rochers extrememans en pente et qu'il y avoit de terre à divers androits que ayant esté défriché, comme sus est dit, les tempestes et grosses pluies qui sont fréquentes dans ses cartiers a empourté toute la terre n'y estant resté que. le rou- cher; ne pouvant plus rien produire, se qu'est la ruine entière des habitants 4. » Mais c'est seulement au milieu du xix\* siècle que fut reconnu « scientifiquement » que le déboisement était la principale cause du ravinement en montagne. Surell, dans sa célèbre étude sur « Les torrents des Hautes-Alpes », publiée en 1841, montra que là désagrégation et l'érosion des sols des versants résultait du fait que ces sols n'étaient plus maintenus en place par la forêt. Il y a 30 ans, on contestait encore l'importance de l'action de l'homme dans le déclanchement de l'érosion accélérée des versants déboisés. F. Le- noble écrivait par exemple dans un article intitulé « La légende du déboisement des Alpes » 5 : « Il n'est pas vrai que les torrents soient devenus devastateur » et que les pentes se soient ravinées seulement depuis des siècles

3 Cités par T. Sclafert, op. cit. \* Cités par T. Sclafert, op. cit. P F. Lenoble, La légende du déboisement des Alpes {R. G. A., 1923).

parce que l'homme aurait détruit les anciennes forêts protectrices du terrain : les ravins et les cônes qui sont sous nos yeux ont mis des milliers d'années et des dizaines de milliers à se former. » Et l'on retrouve cette même idée, à peine amendée, dans la thèse de J. Pouquet sur « Les monts du Tessala » (Oranie occidentale) : « Les conditions de roche, de tectonique, de climat surtout 6 sont à l'origine de cette violence de l'érosion. On a dit que le travail de ] 'homme (défrichement, feux de brousse, restriction des terrains de parcours, intensification des cultures...) était responsable de cet état de choses. C'est juste, mais en partie seulement. On peut affirmer que ces travaux n'ont fait qu'avancer de quelques siècles tout au plus des phénomènes inéluctables, puisque liés à des conditions incontrôlables par l'homme 7. » Il est évident que s'il en était ainsi, si le développement de l'érosion accélérée des sols n'était pas, ou seulement dans une faible mesure, lié à la présence ou à l'absence du couvert végétal naturel, et par conséquent

indépendant de l'action destructrice de l'homme, toute action de défense et de restauration des sols serait proprement dérisoire. En effet, si le développement de l'érosion accélérée est indépendant de l'action destructrice des hommes, il est par conséquent tout aussi indépendant de leur action conservatrice ou régénératrice. Comme le dit J. Pouquet, - le phénomène serait « incontrôlable » . Toute action de défense et de restauration des sols repose sur le principe de réversibilité du phénomène. -Le problème peut se poser de la façon suivante : — L'érosion d'un sol primitivement couvert d'une végétation continue résulte de la rupture de l'équilibre morphoclimatique qui avait permis l'élaboration et la conservation de ce sol jusqu'au déclanchement du phénomène d'érosion accélérée. — Cette rupture d'équilibre peut être brusque ou progressive et résulter d'une cause artificielle (action de l'homme) ou naturelle (changement de climat). La première se réalise en quelques années, alors que la seconde est le fait de millénaires, mais dans les deux cas, elle provient directement de l'altération (évolution progressive : la rupture s'aggrave à mesure que l'ablation et la reconstitution du sol deviennent plus disproportionnées) ou de la destruction

• Souligné par l'auteur, ainsi que la proposition suivante. i J. Pouquet, Les monts du Tessala (Sédés, Paris, 1952) p. 297.

(rupture brusque : la genèse du sol est brusquement stoppée) de la végétation naturelle. — Le développement de l'érosion des sols se fait en progression géométrique et le déséquilibre initial qui l'a déclanché va donc en s'aggravant à une vitesse accélérée 8. — Il s'agit donc de rétablir un équilibre morphoclimatique, c'est-à-dire de reconstituer, en fonction de la morphologie et du climat de la région affectée, soit l'équilibre initial naturel par reconstitution de la végétation primitive, ce qui est impossible s'il y a eu changement de climat et très difficile si sa destruction est ancienne et par conséquent le développement de l'érosion accélérée très avancé; soit un nouvel équilibre rationnellement établi. Dans les deux cas, le but de l'action de défense et restauration des sols erodes sera de ramener le taux de genèse du sol par l'action combinée du climat, de la végétation et de la structure, au-dessus du taux d'ablation qui ne peut évidemment jamais être amené à zéro. Mais il suffit que le sol entraîné ou altéré soit compensé par le sol engendré pendant le même temps. Le problème de la conservation des sols est donc double :

— Problème technique des méthodes à mettre en œuvre;

— Problème de l'organisation de l'action.

### **1. Le problème technique.**

Le problème technique des méthodes et procédés à

mettre en œuvre pour enrayer et supprimer l'érosion accélérée des sols est évidemment au premier chef fonction des conditions de développement du phénomène. Il se pose donc différemment dans le cadre de chaque région en fonction des données morphologiques, climatiques et biogéographiques particulières à cette région, des données historiques (au sens très large du terme) marquant son passé, et enfin des conditions économiques qui caractérisent la situation dans laquelle se développe le phénomène à enrayer. Les conditions morphologiques, climatiques et biogéographiques commandent la forme et l'ampleur du phénomène (sa particulière importance et violence en Algérie par exemple). Les données historiques et paléogéographiques en expliquent l'origine. Les conditions économiques commandent le développement pré-

8 Voir M. Benchetrit, L'érosion des sols dans les chaînes telliennes d'Qra- nie, op. cit,

sent et futur du phénomène et constituent le cadre dans lequel doit s'organiser l'action du point de vue technique. La première démarche de l'action de conservation des sols doit donc être une étude géographique approfondie de la région affectée, déterminant ces trois séries de données. De cette étude se dégagera le sens général de l'action de défense et de restauration à entreprendre, la voie dans laquelle doivent s'engager les travaux : reconstitution de la végétation primitive ou élaboration d'un nouvel équilibre végétation-climat-sol rationnel ? Ceci posé, la seconde question à résoudre est celle des moyens à employer pour atteindre le but fixé par le géographe. Le biologiste, l'écologiste et l'ingénieur doivent déterminer comment reconstituer la végétation primitive ou élaborer rationnellement un nouvel équilibre (comme cela se fait actuellement par exemple dans les régions sèches de la steppe russe) 9, en fonction des données établies par le géographe qui a montré pourquoi il fallait engager leur action dans l'une ou l'autre voie. On ne peut en effet s'engager indifféremment dans l'une ou l'autre voie : ce sont la forme et l'ampleur du phénomène, les conditions dans lesquelles il a été déclenché et celles dans lesquelles il se développe qui imposent l'un ou l'autre programme. Une action de défense et de restauration entreprise « à l'aveuglette » et ignorant les conditions et les facteurs du développement du phénomène qu'elle cherche à enrayer, ignorant les conditions de réussite et d'efficacité des procédés qu'elle met en œuvre, est vouée à l'échec. Une telle action (et l'on pourrait citer bien des exemples en Afrique ou en Asie) purement empirique est fondée sur le choix plus ou moins hasardeux de l'un ou l'autre des deux programmes possibles et la combinaison empirique de procédés plus ou moins bien adaptés aux conditions locales. Pour n'être pas un simple palliatif provisoire et inefficace,

l'action de défense et restauration des sols (dont l'ambition immense est de contrôler et d'infléchir l'évolution générale d'un phénomène morphogénétique) doit se fonder sur la connaissance approfondie : — Des conditions générales de la mise en œuvre de l'un ou l'autre des programmes techniques de défense des sols; — \* Des conditions locales d'application de l'un ou l'autre de ces programmes.

9 Voir notamment J. Tricart, Les aménagements de la nature en U.R.S.S. (Geographic, 1953) et Les aménagements agricoles dans les régions sèches de l'U.R.S.S. (Rev. Gén. des Sciences, 1954).

### a) Conditions de la reconstitution de la végétation naturelle.

— Il est certain qu'a priori, la reconstitution de la végétation naturelle primitive qui assurait l'équilibre morphoclimatique détruit apparaît comme la seule solution certaine du problème de l'érosion des sols. Quasi instinctivement, la réparation du mal apparaît comme un retour à l'état précédant le mal. Le problème qui se pose est de savoir si cette reconstitution est possible et dans quelles conditions elle peut effectivement constituer une solution définitive de l'érosion accélérée. Théoriquement, et si son altération ne résulte pas d'une modification du climat, la couverture végétale naturelle doit se reconstituer spontanément dès que les facteurs de dégradation et de destruction (pâturage ou incendies répétés par exemple) cessent d'agir et si aucune intervention extérieure ne vient entraver cette régénération naturelle. Mais au delà d'un certain stade de dégradation du couvert végétal, quand dans des conditions de climat données, la végétation est trop clairsemée pour assurer son rôle de protection dans la même mesure que son rôle de régénération 10, il y a érosion accélérée : l'érosion l'emporte sur la régénération du sol car l'attaque des agents climatiques l'emporte sur l'action de régénération de la couverture végétale dégradée. Dès lors, le sol se dégradant et s'érodant, la végétation s'altère également progressivement, ce qui provoque de nouveaux progrès de l'érosion du sol, et ainsi de suite : l'équilibre sol-végétation est très instable à partir du moment où ce complexe n'est plus lui-même en équilibre avec le climat. Le sol étant instable, la végétation l'est aussi : ils évoluent parallèlement vers une destruction complète (« désertification »). Il y a donc au delà d'un certain stade critique de dégradation de la végétation (qui correspond, dans un milieu donné, à un certain degré de couverture  $a \cdot C = n \%$ ), évolution régressive du sol et par conséquent de la végétation. Le sol ne peut être régénéré que si le couvert végétal revient au-dessus de ce stade critique. Mais inversement, il y a au delà d'un certain stade critique de dégradation du sol, évolution régressive de la végétation, à partir du moment où la couverture végétale s'altère au delà de son stade critique de dégradation. Ainsi l'altération ou

la destruction de la végétation provoque un certain décalage, et si elle ramène la végétation au-dessous du stade critique défini plus haut ( $dC = n \%$ ), ce décalage tend à se

10 Voir M. Benchetrit, L'érosion anthropogène : Couverture végétale et modes d'exploitation du sol (Jnf. Géographique, 1954).

résorber rapidement par érosion accélérée du sol. L'action antagoniste de la végétation et des agents climatiques : genèse du sol, destruction du sol, se résoud par une destruction du sol. Dès lors, lorsque les facteurs de dégradation et de destruction artificielle de la végétation cessent d'agir : j — Ou bien le sol n'a pas encore atteint le stade critique de dégradation et la végétation peut alors se régénérer naturellement, mais il faut que cette régénération soit assez rapide pour qu'elle atteigne le stade critique avant le sol qui, tant qu'elle ne l'a pas fait, continue à évoluer en sens inverse. Dans ce cas, elle peut assurer une régénération du sol plus importante que l'ablation par érosion, et il y a dès lors régénération parallèle du sol et de la végétation jusqu'au stade initial, sans aucune intervention de l'homme (c'est le cas après un incendie accidentel de forêt par exemple). — Ou bien le sol a déjà dépassé le stade critique de dégradation défini précédemment, et dès lors, l'équilibre qui se rétablit entre sol et végétation ne peut être qu'un équilibre instable. L'érosion accélérée continue et par conséquent la végétation subit (plus lentement peut-être) une nouvelle évolution régressive, naturelle cette fois, qui l'amène à une destruction complète, parallèlement à la destruction du sol qu'elle ne pouvait pas régénérer aussi rapidement qu'il était érodé. La reconstitution naturelle de la végétation n'est donc possible que lorsque sa régénération est rapide relativement à l'érosion du sol, que le stade critique n'est pas trop supérieur à son stade de dégradation au moment où cesse l'intervention humaine (mise en défens) et surtout que le développement de l'érosion accélérée n'est pas trop avancé, c'est-à-dire qu'il est récent. Ce stade critique de dégradation de la végétation correspond donc à un certain degré de couverture ( $c\check{r}G$ ) de la végétation au-dessus duquel, pour un sol et un climat donnés, la régénération du sol par la végétation naturelle l'emporte sur son érosion par les agents climatiques, et au-dessous duquel, l'érosion l'emporte sur la régénération. Dans le premier cas, il y a stabilité (ou évolution progressive) du complexe sol-végétation qui se trouve en équilibre avec le complexe climatique. Dans le second cas, cet équilibre est rompu, le complexe sol-végétation est instable et subit une évolution régressive. Il est évident que ce stade critique est d'autant plus rapidement transgressé que le climat est plus agressif et le sol plus sensible à l'érosion, plus «érosif». Il varie donc en fonction du degré d'agressivité du climat surtout, et du degré d'érosivité

du sol. Aussi la reconstitution spontanée, et de la végétation n'est possible

Illustration non autorisée à la diffusion

Illustration non autorisée à la diffusion

Pl. I A. — Ravins et griffes d'érosion mordant des versants dénudés où ne subsistent plus que quelques maigres vestiges de la végétation naturelle primitive. (Cliché M. Benchetrit)

Pl. IB. — Sj sternes de banquettes (monts Beni-Chougran en Oranie Orientale). (Cliché M. Benchetrit)

Illustration non autorisée à la diffusion

Illustration non autorisée à la diffusion

Pl. II A. — Série de petits seuils stabilisant un ravin encore en activité trois ans avant. (Cliché M. Benchetrit)

Pl. II B. — Vignoble de Mascara. Versant à moitié traité en banquettes (et verdoyant), et encore exploité en vigne sur l'autre partie : ravinements et érosion en nappe. (Cliché M. Benchetrit)

qu'en climat peu agressif (du type « océanique » par exemple) ou si le déclenchement de l'érosion accélérée est récent, si elle résulte d'un accident (incendie) qui permet, dès qu'il cesse, la reprise spontanée de la végétation. C'est ainsi que la simple mise en défens de certaines régions montagneuses en France a suffi pour que la forêt primitive, dégradée par le pacage des troupeaux ou détruite par endroits par des défrichements ou des incendies, se reconstitue spontanément et assez rapidement pour « gagner de vitesse » le développement de l'érosion déclenchée par ces dégradations. Ce fut le cas notamment dans la partie septentrionale des Alpes françaises (que les forestiers appellent les « Alpes vertes » par opposition aux « Alpes sèches » du Sud), où l'abandon des régions montagneuses trop pauvres par leurs occupants émigrant en masse tandis que ceux qui restaient se disséminaient sur de vastes surfaces, a permis le retour à un taux de boisement normal. De 1896 à 1912, la surface forestière de l'ensemble de la France s'est accrue de 365 000 ha. Dans les Alpes, la seule constitution de « périmètres de protection », placés sous la surveillance de l'Administration forestière, a permis le reboisement de 150 000 ha environ jusqu'en 1931 et du double de 1933 à 1950. Le taux de boisement passait ainsi de 23 % à 26 % en 1933 et à 31 % en 1952 n. Il doit bientôt atteindre le taux normal de 35 %. En région méditerranéenne, au contraire, l'agressivité du climat empêche toute reconstitution spontanée de la végétation naturelle. Seules des associations très xérophiles peuvent coloniser les sols gréseux, siliceux ou calcaires très dégradés ; ces maquis ou garrigues (bruyères, genêts, cistes, genévriers ou kermès, etc..) constituent peu d'humus et n'évoluent pas vers la forêt dont ils empêchent au contraire tout développement. Dans le schéma (fig. 1) de la dégradation du complexe sol-végétation, cette

dernière ne peut spontanément remonter au delà du stade « maquis-garrigue », et l'équilibre reste par conséquent très instable. Le stade critique de dégradation de la végétation et du sol a été dépassé depuis longtemps et la cessation des facteurs de dégradation et de destruction (pacage ou culture) ne suffit pas à provoquer une régénération naturelle de la végétation. Une intervention extérieure est dès lors nécessaire, non plus pour entraver mais pour permettre cette régénération ou promouvoir un autre développement Cf. L. Gallois, La restauration des Alpes françaises (A. de Géo, sept. 1933) et J. Messines, Conservation et amélioration des sols en montagne (Будл, дс Ing. Ayr., 1952, n° 74),

Illustration non autorisée à la diffusion

veloppement d'une nouvelle couverture végétale. Ainsi en région méditerranéenne française, les pinèdes par exemple prennent rapidement l'aspect de bois. Comme le note P. George : « Certaines variétés de pins (pin maritime en bordure de la mer, pin sylvestre et pin d'Alep sur les basses collines, pin de montagne) colonisent directement les éboulis calcaires et les rocailles gréseuses. » Cette nouvelle forêt est très différente de la forêt primitive « ...qui ressemblait aux forêts de l'Europe centrale avec ses hêtraies et ses chênaies fraîches abritant un sous-bois de ronces et de plantules amies de l'ombre. La forêt créée par le travail de l'homme est une forêt chaude au sous-bois ensoleillé et xérophile » 12.

1. Forêt II. Broussailles III - Landes IV. Pelouse

V. Rocaille Sterile

SQL Prohni et Б/еи dtlop

les Боддон5 et tri% mince SVféiriei/rj five)

Fig. 1. — Schéma de la dégradation d'un sol par destruction de sa couverture végétale (d'après H. Prat, L'Homme et le Sol, Paris, 1949).

Mais outre que cette nouvelle forêt est extrêmement inflammable, donc peu stable, elle n'assure pas au sol une protection suffisante contre l'insolation en été et les pluies torrentielles d'hiver. Très souvent, le nouvel équilibre empiriquement élaboré est donc instable et n'arrête pas le développement de l'érosion accélérée. b) Conditions d'élaboration d'un équilibre rationnel. — Elles sont, évidemment fonction des conditions locales (topographie, structure, etc.) et régionales (climat) de développement de l'érosion accélérée. Mais d'une façon générale, on peut dire que l'élaboration d'un nouvel équilibre entre le sol et le climat pose un double problème.

•12 P. George, Sols et Forêts en région méditerranéenne (A. de Géo., mars 1933).

D'une part, fixation et conservation du sol, c'est-à-dire, arrêt de l'érosion accélérée là où elle a été déclanchée. Il s'agit d'empêcher d'abord que le sol soit emporté, donc d'empêcher tout ruissellement important et toute

déflation éolienne. On y parvient en fractionnant le développement de ces processus. Le ruissellement sur un versant est généralement freiné par un système de terrasses ou de banquettes. Mais disons tout de suite que si ce système n'est pas accompagné d'un développement végétal continu (gazon) ou d'aménagements cultureux rationnels (cultures alternées et établies en bandes parallèles aux courbes de niveau), il n'arrête aucun des processus d'érosion interne des eaux et d'érosion « insidieuse » en nappe par ruissellement lent et diffus. Il peut même les développer dans la même proportion où il a diminué l'écoulement concentré. Dès lors, il n'y a pas eu arrêt ni même, en général, ralentissement de l'érosion, mais" simple modification du rapport des différents processus entre eux : l'érosion globale restant pratiquement la même. Le fractionnement du ruissellement n'est donc pas à lui seul un système complet de défense des sols; il n'est qu'un moyen plus ou moins efficace pour permettre l'apparition et le développement d'un couvert végétal empêchant toute altération ou désagrégation du sol. La déflation éolienne ne peut être efficacement atténuée ou supprimée que par un système semblable de fractionnement des courants éoliens au contact du sol. Résultat atteint par des plantations de rideaux d'arbres dont l'espacement est calculé en fonction de la force des vents. Le second problème est celui de la régénération du sol érodé. Dans un climat d'agressivité donnée et constante, l'érosion accélérée ne peut être résorbée qu'en augmentant la puissance propre de défense du sol contre l'attaque des agents climatiques. Cette puissance est essentiellement fonction de la protection et de la régénération assurées par le couvert végétal naturel. Si la régénération de ce couvert végétal est impossible, la suppression de l'altération physico-chimique et de la désagrégation mécanique du sol, déclanchées par la destruction de la végétation, dépend donc de l'intervention de nouveaux facteurs de protection et de régénération du sol. Ces nouveaux facteurs peuvent être de deux ordres : — Nouveau couvert végétal assurant une protection égale ou supérieure au couvert primitif; — Traitement rationnel du sol accroissant sa cohésion, sa porosité et sa stabilité, en un mot, diminuant son « érosivité ». Ainsi, conservation et régénération du sol sont inséparables : l'ablation du sol n'est empêchée que si l'altération et la désagrégation de ce sol sont freinées ou supprimées. Altération et désagrégation ne sont supprimées que si le sol est constamment régénéré et protégé. Mais la première condition de la mise en oeuvre de nouveaux moyens de protection est l'atténuation de la violence du phénomène. Dans tous les cas, il n'est pas question d'agir directement sur l'érosion, mais il s'agit de modifier les conditions d'action des agents climatiques. Diminuer l'érosion accélérée ou la supprimer n'est possible qu'en ramenant la puissance de résistance du sol au-dessus de la puissance d'érosion des agents

climatiques. En supposant qu'il ne soit pas possible de diminuer l'agressivité intrinsèque du climat, la diminution de l'érosion se ramène donc à la diminution de l'érosivité du sol affecté.

En résumé, l'élaboration d'un équilibre rationnel se présente donc en trois phases imbriquées :

— Régularisation du phénomène par fractionnement des écoulements et des ruissellements trop violents ainsi que des déflations éoliennes. Il n'y a, à ce stade ni atténuation, ni ralentissement notables de l'érosion accélérée, mais établissement des conditions d'une stabilisation du sol;

w — Stabilisation du sol érodé par engazonnement ou façons culturales rationnelles permettant sa conservation et sa régénération en atténuant son altération et sa désagrégation physicochimiques et mécaniques, d'où diminution de l'ablation; — Reconstitution de l'équilibre primitif par l'intermédiaire de la végétation naturelle primitive dont la reconstitution a été permise par la régénération et la stabilisation du sol, ou d'une autre végétation, ou d'une économie rationnellement adaptée aux conditions du climat.

Tel est le schéma général d'une action efficace de lutte contre l'érosion accélérée du sol. C'est une œuvre immense, gigantesque, qui exige l'emploi de moyens considérables, à la mesure de l'importance de ce phénomène catastrophique et du danger qu'il constitue. Mais, le problème technique supposé résolu, l'ampleur de l'entreprise nécessaire pose un second problème, dont la solution est autrement complexe : celui de l'organisation de l'action dans le temps et dans l'espace. L'érosion accélérée affectant toute l'économie agricole d'une région ou d'un pays, comme l'Algérie par exemple, ne se présente pas comme un problème isolé; elle pose tout le problème de l'existence et du développement de cette économie,

## **2. Le problème de l'organisation de l'action.**

Si, dans l'ordre logique, le problème technique des moyens, des possibilités et des méthodes de défense et de restauration des sols se pose le premier et englobe le problème de l'organisation, en fait ce sont généralement les conditions économiques de l'organisation de l'action qui déterminent les formes et les méthodes de cette dernière. Tout le problème de la mise en œuvre des différentes techniques dont la combinaison doit amener la réversibilité du phénomène tient dans la coordination nécessaire des trois phases de l'élaboration du nouvel équilibre : la régularisation de l'érosion accélérée ne constitue qu'un stade transitoire vers la stabilisation du sol qui elle-même ne fait que préparer la reconstitution d'un équilibre stable entre le sol et le climat. Chacune de ces opérations ne se justifie techniquement que comme introduction à la suivante. Considérons par exemple les problèmes que pose la réalisation d'un programme de défense et

restauration, des sols dans une zone où l'érosion accélérée se présente de la façon la plus nette : en Afrique centrale (Congo belge notamment). Ce cas a été clairement analysé par J. P. Harroy 13. La première partie du programme à réaliser comprend donc les mesures s'attaquant directement aux manifestations matérielles les plus violentes du phénomène. « Que l'on imagine le cas d'une région semi-montagneuse, bien boisée et irriguée, assez densément peuplée d'indigènes, et dans laquelle un groupe capitaliste européen a conçu, le programme, parfaitement normal, de développer telle culture d'exportation. L'autorité territoriale, désireuse de soutenir les efforts de l'entreprise capitaliste, a recouru à certaines formes de contrainte, directe ou indirecte, et a déterminé les populations à établir les cultures souhaitées. Et peu à peu l'excès des défrichements et les négligences culturales ont conduit aux accidents classiques qui se sont terminés, en aval, par des divagations du régime hydrographique, comblant des lacs-réservoirs, obstruant des estuaires navigables, minant des talus de chemins de fer. » Une action apparaît alors comme nécessaire pour éviter la ruine totale de la région, donc de l'entreprise en question. « Une première réaction, véritablement simpliste lorsqu'elle s'exerce seule, s'en prend à ces manifestations finales du mal et se traduit par des opérations de dragage immédiatement en amont des barrages devenus inutiles ou dans les ports encombrés de limons, ou encore par

13 J. P. Harroy, *Afrique, terre qui meurt* (Bruxelles, 1949), p. 383-498.

des travaux d'art destinés à consolider les remblais érodés ou les routes menacées d'effondrement. Cette catégorie de mesures, équivalant à une manœuvre de pompes à bord d'un navire qui fait eau, mérite à peine d'être citée ici. » On ne saurait mieux dire. Une action plus poussée consiste alors dans l'organisation de la défense et de la restauration des sols : c'est-à-dire que l'on essaye de supprimer les manifestations catastrophiques ou trop violentes du phénomène au lieu de combattre simplement leurs effets. Toute l'action est donc orientée vers la construction d'un réseau de banquettes ou de terrasses sur les versants et par l'établissement de petits barrages coupant les ravins. Mais, comme nous l'avons vu, cela n'atténue en rien l'altération et la désagrégation du sol et ne diminue donc pas la valeur globale de l'érosion accélérée, si le système ne se complète pas par l'enherbage des surfaces dénudées ou la plantation d'une nouvelle couverture végétale protectrice. La deuxième partie du programme tient donc dans une modification de l'économie agricole. Les versants sur-pâturés ou sur-cultivés, où doit être établi un réseau de banquettes, doivent donc être abandonnés par les troupeaux ou les cultures, ou tout au moins ramenés à un taux d'exploitation normale. D'autre part, un programme de



protection des boisements existants est élaboré. Mais, en fait, une telle régénération n'est entreprise que lorsque les terres ne sont plus rentables économiquement, c'est-à-dire lorsque les sols sont presque complètement épuisés ou détruits. Au Congo belge, le manque de terres qui devient de plus en plus aigu chaque année amène les autorités « à renoncer à planter d'arbres les terres de qualité suffisante pour porter de bons pâturages de brousse et a fortiori des cultures, et s'efforcer de réaliser le boisement des mauvaises collines, crêtes, ravins et régions peu habitées » ". Dans les régions où cette reconstitution d'un couvert végétal est absolument nécessaire, les impératifs de l'exploitation priment encore les nécessités techniques d'une véritable lutte contre l'érosion. On préfère presque toujours des essences exotiques aux essences indigènes. « Cette préférence, note J. P. Harroy 16, s'explique par la rapidité de croissance de certaines essences non indigènes et par la facilité relative avec laquelle on les cultive, par opposition à la lenteur de développement et aux exigences culturelles de la plupart des espèces autochtones. » Mais plus l'arbre pousse vite, plus il épuise le sol. Une surexploitation se développe

G. Tondeur, Bull. Agricole du Congo Belge, 1937, n° 4, p. 379. J. P. Harroy, op. cit.

bientôt à partir de cette nouvelle ressource : dès que les arbres sont susceptibles de fournir suffisamment de bois d'oeuvre ou de chauffage, leur abattage sera justifié par la rapidité avec laquelle ils repoussent. En général, leur plantation, laissée à l'initiative privée, n'est d'ailleurs elle-même justifiée que par le rapport qu'ils peuvent fournir, lorsque les terres épuisées et érodées ne permettent plus la culture ou le pâturage. Ainsi l'action de défense du sol se ramène à la défense des revenus plus que du capital : c'est une opération économique qui consiste surtout à substituer à une forme d'exploitation qui ne « rend » plus, une autre forme d'exploitation encore susceptible de « rendement » pendant quelques années jusqu'à épuisement complet du « capital » sol. La modification de l'économie agricole, condition indispensable de la reconstitution d'un équilibre stable et d'une régénération du sol, tient donc dans la suppression de toute spéculation et de la surexploitation qui sont absolument contradictoires avec l'économie conservatrice et régénératrice que suppose un programme rationnel de lutte contre l'érosion accélérée des sols. Les moyens techniques de lutte contre l'érosion et de stabilisation des sols existent. Ils sont certes perfectibles, mais ils ont déjà permis d'assurer dans certaines régions (steppe russe par exemple) ou sur certains champs d'expérience (aux Etats-Unis, en Afrique du Sud et dans quelques secteurs du Tell algérien) un ralentissement notable du développement du phénomène, et l'on peut y escompter

sa suppression définitive. Mais les conditions d'application de ces moyens déterminent finalement le succès ou l'échec de l'entreprise, c'est-à-dire le « renversement » du processus (passage de l'évolution régressive du complexe sol- végétation à une nouvelle évolution progressive) ou, au contraire, l'aggravation de l'ensemble des phénomènes de destruction des sols après quelques ralentissements apparents. Ainsi c'est toute l'économie agricole qui, de destructrice, doit devenir conservatrice et régénératrice de ses propres conditions d'existence et de développement. A la base du problème de l'organisation de la lutte contre l'érosion des sols se trouve le problème de la suppression préalable des causes de ce phénomène, c'est-à-dire, en définitive, le problème de la réorientation générale de l'économie agricole de la région ou du pays affectés. L'analyse du problème algérien de l'érosion des sols donne une nette illustration de ce fait.

## II — LES DONNEES DU PROBLEME DE L'EROSION DES SOLS EN ALGERIE

Ce qui fait la gravité du problème de l'érosion des sols en Algérie, c'est d'abord évidemment l'importance prise par le phénomène, la rapidité et la violence avec lesquelles il se développe. Ces faits qui appellent une action de défense à la fois très vaste et très rationnelle (tant sur le plan technique que sur le plan de l'organisation), résultent d'une série de facteurs morpho-climatiques et historiques que nous ne ferons qu'analyser brièvement ici et qui constituent, en quelque sorte, les données techniques du problème. En fonction de ces données se pose le problème technique des méthodes et des moyens à mettre en œuvre pour entraîner une régression générale de l'érosion et une modification complète du milieu vers un nouvel équilibre. Mais le problème de l'organisation de cette action est considérablement compliqué par la situation politique (au sens très large du terme) de ce pays :

— Pays presque exclusivement agricole, vivant donc entièrement sur les ressources de la terre et par le commerce de ces ressources.

— Pays colonial où le peuplement européen s'est accru dans les mêmes proportions que le peuplement indigène et tient autant de place que lui.

— Pays divisé en deux clans qui s'ignorent : le paysannat indigène « comprimé » dans les montagnes ou refoulé sur les hautes plaines intérieures et les colons européens ou européanisés exploitant les plaines les plus riches et relativement sous-peuplées par rapport au surpeuplement des montagnes. A la surexploitation vivrière des montagnes s'oppose, ou plutôt se juxtapose la surexploitation spéculative des plaines. Cette deuxième série de faits, bien particuliers à l'Algérie (ou l'Afrique du Nord), constituent ce que nous appellerons les données politiques du problème. Elles posent le problème « politique » de la réalisation

des conditions permettant la mise en œuvre d'un programme de défense et restauration des sols à la mesure du danger.

### 1. Les données techniques.

Le développement considérable de l'érosion accélérée que nous constatons aujourd'hui en Algérie résulte de la destruction du couvert forestier des chaînes de l'Atlas tellien par les indigènes qui y ont été refoulés il y a moins d'un siècle 16. Il ne semble pas qu'une économie autre que forestière puisse assurer un équilibre stable dans ces massifs telliens aux sols très érosifs, soumis à un climat très agressif. Les conditions climatiques n'interdisent pas la reconstitution de la forêt dans toute la zone tellienne, c'est-à-dire, en gros, dans toute la zone comprise au Nord de l'isohyète 400. Les conditions techniques sont souvent très difficiles et la possibilité d'un reboisement est très discutée, même du strict point de vue technique. J. Pouquet écrit 17 : « On parle souvent du reboisement comme remède infaillible. Examinons les faits, en prenant pour exemple les versants de la vallée de l'oued Rouissel, particulièrement sensibles à l'érosion des sols... et imaginons ce qui se passerait en cas de couvert forestier [en note : « je néglige une difficulté essentielle dans ce cas : par quels procédés pourrait-on parvenir à maintenir ces jeunes plants sur ces pentes abruptes ? »]. D'année en année, un manteau humifère se constituerait en surface (...). Mais alors on aboutirait au résultat diamétralement opposé à celui que l'on cherche ! Cette couche superficielle, perméable, absorberait une part notable des précipitations. L'action de l'eau sur le substratum imperméable serait ainsi prolongée. Ne provoquerait-on pas dans ce cas un accroissement de l'ampleur des mouvements de masse ? » Ces quelques lignes démontrent au contraire à mon avis que le reboisement est la seule solution possible : comment empêcher les marnes de fluer vers le bas des versants ? En empêchant la sursaturation hydrique. Les essais de banquettes d'infiltration faits sans discernement dans toutes les formations furent catastrophiques dans les formations marneuses : augmentant l'infiltration sans assurer de protection ni de régénération du sol, ils provoquèrent des accélérations du phénomène dès les premières grosses pluies. Mais empêcher la sursaturation en inversant simplement la méthode des banquettes c'est-à-dire en essayant d'augmenter le ruissellement superficiel, c'est simplement déplacer le problème et réduire les

mouvements de masse pour accroître d'autant le ravinement. Or la sursaturation d'un sol est d'autant plus rapide et plus forte que la structure de ce sol est plus dégradée : d'une façon générale, et dans ce cas surtout, toute érosion résulte de la désagrégation du sol. La diminution de la sursaturation se ramène donc à celle de la désagrégation du sol. Sur un sol en pente, seul un couvert forestier peut y parvenir. L'infiltration est certes augmentée, mais la plus grande partie de l'eau reçue est conservée par la couche humique superficielle et surtout le couvert végétal, s'il est assez dense, assure au sol d'humus qu'il a engendré une protection parfaite contre l'impact des gouttes de pluie, une cohésion et une stabilité défiant toute sursaturation dangereuse 18. Reste le problème de l'installation des plants sur de fortes pentes. Il peut être résolu par le système de courtes banquettes (les plus courtes possibles pour n'accroître qu'au minimum l'enfouissement des eaux pendant le stade transitoire de croissance) établies en lignes serrées parallèlement aux courbes de niveaux. Un sol désagrégé est perdu : ce n'est pas tant contre l'ablation de ce sol qu'il faut lutter, mais contre la racine du mal, la désagrégation du sol. Tous les systèmes de terrassements, etc., n'ont ainsi qu'une valeur transitoire : l'essentiel est d'organiser la lutte contre l'action désagrégatrice des agents climatiques : dessiccation par le soleil et par le vent, dissolution, affouillements, impacts des gouttes de pluie surtout. Comme le note très bien W. D. Ellison : « Jusqu'à ce que nous ayons développé des méthodes efficaces pour le contrôle de l'érosion due à l'impact des gouttes de pluie, nos techniques de protection du sol montreront peu d'amélioration dans ce sens sur celles pratiquées il y a 5 000 ans et plus 19. » Toutes les techniques mécaniques ne peuvent que préparer l'action biochimique de la végétation qui peut seule opposer une force naturelle de résistance comparable à la force naturelle d'attaque des agents climatiques. La végétation est seule capable de diminuer l'érosivité d'un sol, surtout sur des versants montagneux, c'est-à-dire préserver ou accroître sa capacité d'absorption et de rétention de l'eau et sa stabilité. Mais la forêt ne pourrait pas, dans les chaînes telliennes d'Algérie, en raison de l'agressivité du climat et de la rapidité d'évolution de l'érosion accélérée, se recon-

18 Voir notamment : J. P. Harroy, op. cit., et surtout P. Duchaufour : Pédologie (Paris, C.D.U., 1954). 19 W. D. Ellison, Raindrop energy and soil erosion (The Empire Journal of Experimental Agriculture, avril 1952), p. 81-97.

tituer spontanément. En admettant qu'elle fût possible, la simple mise en défens de toutes les régions montagneuses anciennement boisées ne permettrait sans doute que la reconstitution d'une forêt dégradée qui n'empêcherait pas tout développement de l'érosion accélérée; d'où reprise, plus lente et plus régulière,

mais inexorable, de l'évolution régressive du complexe sol-végétation. Dans un milieu donné, il n'y a pas en la matière deux jéqui- libres possibles, il n'y a pas deux solutions, il n'y en a qu'une (ou aucune ?), plus un certain nombre de palliatifs plus ou moins efficaces en ce sens qu'ils peuvent, plus ou moins longtemps, rapprocher plus ou moins le complexe de l'équilibre stable. Nous ne voyons pas d'autres solutions véritables au problème de l'érosion dans les chaînes telliennes algériennes que le reboisement, dont nous ferions volontiers un véritable « dogme » comme dit J. Pouquet 20, pour balancer la « souplesse » avec laquelle certains voudraient adapter les méthodes et les techniques de la D.R.S. (Service de la Défense et de la Restauration des Sols) algérienne aux nécessités et aux contingences commerciales et économiques. Des études approfondies seraient évidemment nécessaires pour déterminer avec précision les conditions de ce reboisement dans chaque région (en fonction du degré régional d'évolution de l'érosion accélérée, des conditions morphologiques, structurales, climatiques, etc.), mais on peut dire que l'on possède d'ores et déjà un instrument assez au point pour cette entreprise de plantations sur versants : les réseaux de banquettes de différents types suivant les pentes des versants. Système perfectible certes, mais qui semble donner de bons résultats au départ : les écoulements sont bien régularisés et l'infiltration permet un développement rapide des jeunes plants. La forêt peut très bien se développer à partir de là et l'expérience a déjà réussi dans quelques régions (notamment dans quelques secteurs des monts Beni-Chougran en Oranie orientale). Sur le plan de l'organisation, une telle entreprise qui devrait porter sur quelque 8 000 000 d'hectares (soit plus du tiers de la surface du Tell) au minimum, suppose évidemment le décongestionnement complet de ces régions et une vaste action collective du type en cours dans la steppe russe pour la plantation des bandes forestières. La mécanisation serait plus difficile que sur de vastes étendues planes, mais les parties inaccessibles de l'Atlas tellien sont en général restées boisées, et ce sont surtout les surfaces tabu-

20 « Le reboisement dont le principe est devenu un véritable dogme, un peu trop popularisé... » (pp. cit., p. 294).

lares ou en pente moyenne ou faible qui ont été défrichées et qui doivent être reboisées. La régénération de la végétation et du sol interdirait avant longtemps toute exploitation et toute intervention humaine autre qu'un constant entretien. Le problème technique se trouve donc dépassé par le problème beaucoup plus vaste de la ré-orientation de l'économie de l'ensemble du pays, du passage d'une exploitation destructrice à une économie conservatrice.

## 2. Les données politiques.

Deux économies aussi destructrices l'une que l'autre, mais dans des conditions et par des procédés complètement différents, se trouvent en Algérie antagonistes et paralysent tout essai de solution générale du problème de l'érosion des sols qu'elles ont fait naître. L'économie européenne coloniale des plaines a cantonné les indigènes dans les montagnes où ils ont été littéralement acculés à la forêt qu'ils ont dû détruire pour survivre. L'érosion accélérée des sols alors déclanchée est en train de ruiner ces montagnes et provoque constamment des dégâts dans les plaines, en compromettant la mise en valeur (salure, envasement des barrages, constants atterrissements stériles, etc.). A partir du moment où l'érosion accélérée des sols en montagne et tous les dérèglements qui l'accompagnent (dans le régime hydrographique notamment) a commencé à avoir des effets vraiment catastrophiques dans les plaines où venait de s'installer la colonisation européenne (autour des années 1865-1870), les colons comprirent instinctivement que l'anarchie naturelle commençante résultait du déboisement des montagnes. Et immédiatement se trouva posé le problème de la suppression de la surexploitation indigène, dominant le problème du reboisement. « Le problème forestier », écrivait M. de Peyerimhoff en 1941 21, « dû à un surpeuplement aggravé de paupérisme est ici à l'état aigu, comme il l'a été en France métropolitaine avant et après la Révolution... Alors qu'en France métropolitaine on compte 17 000 délits par an pour 10 394 000 ha de forêts, soit 1,6 pour mille, on en compte en Algérie 60 000 pour 2 910 000 ha, soit 20,6 pour mille. » C'est essentiellement à l'éducation que l'on veut faire appel pour résoudre ce problème de la surexploitation destructrice des indigènes en montagne : « La première tâche est d'ordre éducatif » P. de Peyerimhoff, Notice de la carte forestière..., op. cit.

et concerne les populations indigènes. Il faut leur montrer le péril de la dévastation des forêts et de l'érosion des sols; leur faire comprendre qu'il est de leur intérêt d'épargner la forêt; enfin, il y a lieu d'orienter les petits propriétaires musulmans vers des cultures plus rémunératrices parce que mieux adaptées aux conditions de leurs terrains. En montagne, on favorisera donc l'arboriculture qui s'adapte particulièrement à la nature du sol, peu propre à la culture des céréales. La vaine pâture, l'entretien de troupeaux étiques auront à céder le pas à un élevage rationnel conforme aux conditions physiques de la montagne 22. » Mais est-il bien sûr que la déforestation et l'érosion des sols consécutives soient dues simplement à « l'inconscience » des paysans indigènes, et qu'il suffise de leur « faire comprendre qu'il est de leur intérêt d'épargner la forêt » pour que le problème

soit résolu ? Un tel programme postule une liberté de choix (comparable à celle des colons dans les plaines) qui semble ignorer totalement les conditions géographiques dans lesquelles évolue, ou plutôt dépérit, l'agriculture indigène en montagne. La dégradation des sols et de la végétation entraîne en fait une dégradation parallèle de l'économie rurale indigène en montagne, de moins en moins fixée à un sol qui lui échappe. Le nombre des charrues diminue et augmente celui des troupeaux moins exigeants, et les douars déracinés et transplantés sur les espaces exigus des montagnes sont, dans bien des régions, surtout en Algérie occidentale, simplement « surimposés » de façon très précaire sur un milieu qu'on peut qualifier de « mouvant » et sur lequel ils n'ont pratiquement plus aucune prise. Les lambeaux de forêt sont les seuls éléments réservés « stables » auxquels ils doivent avoir recours malgré toutes les interdictions légales (60 000 délits forestiers par an) pour subsister.

22 Document n° 1 de la série « Economique » des Documents Algériens (paru le 15 octobre 1945, sous la rubrique « Reboisement »), p. 171. 23 Voici par exemple le cas de la tribu des Hadjaja dans les monts Beni-Chougran :

1868 1903 + ou — % Population 961 1 751 +80  
Troupeaux 1 012 5 243 +500 Charrues 97 75 — 2<sup>^</sup>

Et encore, les araires indigènes en bois, qui égratignent à peine le sol, sont-ils généralement abandonnés: pour les charrues françaises à soc métallique qui défoncent les maigres sols des montagnes.

Ces déboisements opérés par les indigènes et leurs troupeaux, sont donc bien désastreux pour eux-mêmes d'abord et pour l'Algérie toute entière. Mais on ne voit pas ce que ces fellahs, qui vivent presque en économie fermée, à qui leurs troupeaux donnent tout ce qu'ils consomment de lait et de viande et la laine avec laquelle ils tissent leurs vêtements, pourraient faire d'autre pour conserver cette ressource essentielle. Quoi que l'on ait pu dire, on ne trouve aucune trace de destruction systématique, mais au contraire une utilisation minutieuse des dernières ressources de sol et de végétation qui subsistent encore en montagne après près d'un siècle de surpeuplement et de surexploitation. Ces indigènes se rendent parfaitement compte (et plus d'un chef de famille me l'a déclaré explicitement en me faisant part de son travail et de ses soucis) qu'ils détruisent pour vivre leurs propres conditions d'existence. Mais leur refoulement et leur compression dans ces montagnes autrefois entièrement boisées, et qui ne se prêtent pas à une autre économie que forestière, ne leur laissent pas d'autre solution. Et le fatalisme musulman fait beaucoup. Dès lors, dire qu'il est de leur intérêt de conserver la forêt est juste puisqu'elle représente le dernier élément stable dans un milieu en voie de ruine, mais dans ces conditions cela revient à dire qu'il est de leur intérêt de disparaître tout

de suite avec les sols déjà défrichés. Une ré-orientation de l'économie des chaînes telliennes est donc indispensable pour enrayer ou au moins ralentir notablement l'érosion accélérée des sols. Et ce problème de la ré-orientation de l'économie indigène des montagnes se ramène en fait à un problème de décongestionnement, à un problème d'espace. « Dans la métropole, il s'est apaisé : les montagnards ont émigré en partie, se sont disséminés, ceux qui restent ne sont plus pauvres et leurs moyens agricoles ou pastoraux leur suffisent 2é. ■» Ce décongestionnement démographique des montagnes de France (les Alpes notamment) a très vite amené, comme nous le notions plus haut, un reboisement quasi-spontané, après simple mise en « défens ». Les départements des Hautes et des Basses-Alpes ont perdu au xix<sup>e</sup> siècle, en moins de 100 ans, 112 000 habitants, soit environ 40 % de leur population. En Algérie, l'évolution a été inverse : en moins de 100 ans les montagnes telliennes ont vu leur population augmenter en moyenne de 3 à 400 %... C'est dans ces conditions que se pose actuellement le problème de la défense et de la restauration des sols en Algérie.

2\* P. de Peyerimboff, op. cit., p. 41,

### III. — LES ESSAIS DE DEPENSE ET RESTAURATION DES SOLS EN ALGERIE .

Depuis près de 70 ans déjà le problème de la défense et de la restauration des sols est posé en Algérie. En 1896 le Dr Trabut signalait nettement l'importance de ce problème et toute la gravité du danger : « Quand les forêts seront ravagées, que le sol sera dénudé et stérile sur les sommets comme dans les plaines, nous aurons à lutter contre une population de malheureux. Nous devons alors les repousser par les armes ou nous ruiner en les secourant 25. » Dans une première phase, de 1885 à 1935, la solution du problème apparut dans la reconstitution pure et simple de la végétation naturelle forestière dans les montagnes ou dans la plantation d'une nouvelle forêt. Tout le problème se ramenait donc à celui du reboisement qui devait être la grande oeuvre de l'Administration agricole coloniale. Mais les résultats furent dérisoires. Dans une seconde phase, depuis 1941, le problème est repris autrement : la défense et la restauration des sols ont été organisées sur le modèle de la Soil Conservation aux Etats-Unis. Un service de Ja D.R.S. est créé à Alger, correspondant exactement au S.C.S. américain (toutes proportions gardées), et le Tell est divisé en « circonscriptions de défense et restauration des sols •» correspondant aux « districts » américains. Méthodes et techniques sont également empruntées au Soil Conservation Service,

#### 1. Le reboisement.

Dès l'abord, le reboisement apparaît comme la seule solution possible à tout le problème de l'érosion des sols. Pour annuler l'érosion, il faut reconstituer l'état

précédent, c'est-à-dire les boisements des massifs telliens. En 1884, le Gouverneur général Tirman prescrivait donc une enquête générale sur les boisements existants pour établir un programme de conservation et de reconstitution, et il déclarait : « La question du reboisement, qui préoccupe à un si haut degré l'opinion publique en Algérie, s'est posée depuis longtemps dans

215 Rapport à la Commission législative pour la préparation du code forestier algérien, 29 janvier 1896.

la métropole. Le but poursuivi en France a été constamment de prévenir les inondations qui dévastent périodiquement les pays de plaines et d'éteindre dans la montagne les torrents qui désolent les terrains riverains. En Algérie, l'objectif n'est pas le même, il s'agit ici d'emmagasiner les eaux de pluie, de régulariser les débits des sources et des cours d'eau, d'opposer une barrière aux vents du Sud, enfin de tempérer les ardeurs d'un climat brûlant... » Les objectifs principaux étaient donc assez bien posés dès le départ et l'Administration forestière présenta en 1885 un programme de première urgence portant modestement sur la reconstitution de 110 000 ha de boisements pour atténuer la violence de l'érosion sur les bassins versants les plus menacés, ou plutôt les plus menaçants pour les plaines bordières comme ceux de l'Atlas Mitidjien par exemple, et notamment celui du fameux Oued el Kebir menaçant constamment la ville de Blida. Il ne s'agit donc pas tellement de lutte directe contre l'érosion mais d'atténuation de ses effets sur la prospérité des plaines et de prévention des catastrophes. Il était déjà reconnu en effet que les terrains à protéger s'étendaient sur quelques millions d'hectares. Malgré l'intérêt direct que de tels travaux pouvaient présenter pour les colons des plaines, pratiquement rien ne fut fait pendant 15 ans (jusqu'en 1900). La seule forêt nouvelle créée (entre 1890 et 1897) est celle de la région de Tlemcen couvrant 272 ha, et servant de parc municipal !... Les travaux ne purent porter que sur la conservation des forêts existantes et la reconstitution de quelques peuplements dégradés. Environ 3 200 ha ont été ainsi restaurés jusqu'en 1900, répondant en général à des soucis de propagande ou de tourisme plutôt qu'à la nécessité de conjurer un danger public. Un tel échec était dû à des causes multiples : parcimonie des crédits; difficultés techniques; hostilité de bon nombre de colons considérant comme inutile tout alourdissement du budget de la colonie pour une œuvre qu'ils jugeaient utopique et sans intérêt. Malgré l'action énergique de certains apôtres du reboisement comme le Dr Trabut ou le Dr Trolard et sa « Ligue pour le Reboisement », les opposants et les spéculateurs intéressés furent souvent les plus forts et parvinrent au moins à empêcher tout mouvement d'opinion en faveur du reboisement comme voulait en provoquer le Dr Trolard qui parlait de

promouvoir un véritable « raz de marée » pour le reboisement. Mais surtout l'obstacle majeur qui paralysa toute tentative de reboisement généralisé était la situation créée par la colonisation européenne elle-même ; tous les terrains d'éboisements en montagne étaient surpeuplés par les indigènes qui y avaient été refoulés. L'Inspecteur général des Eaux et Forêts en Algérie, P. de Peye-rimhoff, écrivait en 1905 26 : « Les forêts existaient avant la conquête plus denses et plus étendues qu'aujourd'hui; elles étaient fermées dans leur ensemble par l'insécurité, les bêtes fauves et l'absence de chemins. La jouissance qu'en tiraient les indigènes peut donc être considérée comme très faible sinon à peu près nulle. Mais ce domaine leur étant fermé, l'augmentation de leur effectif a relevé leurs besoins et leur cheptel tandis que la colonisation restreignait leurs parcours... » La destruction des forêts résultait de la compression des indigènes dans les chaînes boisées. Leur reconstitution n'était possible qu'en refaisant le vide sur les terrains à reboiser. Le problème était très nettement posé en 1897 au 1er Congrès des Agriculteurs algériens. R. Mares déclarait : « Le reboisement n'a consisté jusqu'à ce jour qu'en déboisement. Jusqu'à ce jour, le personnel forestier et les crédits qui lui ont été alloués n'ont pas été suffisants pour entreprendre des reboisements dignes de ce nom : tout au plus voit-on en Algérie quelques bosquets d'agrément que l'on décore du nom pompeux de reboisement et qui, en 60 ans, sont venus ombrager quelques dizaines d'hectares de terres alors que la sécurité très relative des biens et des personnes que nous avons introduits dans les montagnes les plus embroussaillées d'Algérie, alors que les incendies qu'une haine de religion 27 a rendu de plus en plus fréquents, alors que les défrichements que la hausse du prix des terres a particulièrement multipliés dans les massifs qui couronnent les plaines colonisées, ravagent chaque année des centaines d'hectares de massifs boisés. Le reboisement n'est pas possible en raison des difficultés qu'il présente et des sommes considérables qu'il faudrait y consacrer si l'on voulait reboiser de grandes surfaces. Il est presque impossible de soustraire à la dent des troupeaux, à l'incendie ou à la pioche du défricheur les boisements existants... 28. » L'œuvre de reboisement entre alors dans une phase nouvelle. Comme l'entreprise de colonisation des plaines, celle du reboisement des montagnes se trouvait donc liée aux expropriations et aux expulsions. La loi forestière de février 1903 fut l'instrument 2« Enquête sur les résultats de la colonisation officielle en Algérie (Alger, 1905, 2 vol., t. I). 27 On reconnaît là, au passage, le vieux préjugé de la « haine de l'arbre » des Arabes, interprétation ridicule dont on a fait justice depuis.. 28 Rapports et comptes rendus des séances, publiés à Alger en 1898 (Archives du Gouvernement général), juridique nécessaire pour ces expropriations qui furent immédiatement entreprises.

Un Service spécial du Reboisement est créé en 1908 et, enfin, toute une série d'emprunts sont lancés (1902, 1908, 1921) pour financer les travaux. Mais les expropriations étaient extrêmement difficiles car il était impossible de supprimer purement et simplement des douars entiers. On fit surtout des interdictions de pacage dans les forêts domaniales où il avait dû être permis par le Sénatus Consulte de 1863, en guise de compensation pour les terres prélevées pour la colonisation. L'action du Service s'orientait donc surtout vers la restauration des forêts dégradées et 19 « périmètres de protection » furent organisés (9 dans le Constantinois, 8 en Oranie et 2 dans l'Algérois), couvrant en tout 408 000 ha. « La conservation des forêts... qui se traduit pratiquement par l'interdiction du pacage dans les forêts dégrevées de droits d'usage et par sa limitation dans les autres ne leur coûte donc pas [aux indigènes] une diminution de facultés anciennes, mais la restriction d'exploitations dont le désir, dont le besoin souvent impérieux, sont un fait moderne 20. » Mais le problème ne fut pas résolu. La compression des indigènes sur des espaces encore plus réduits, l'interdiction à leurs troupeaux de territoires aussi vastes étaient irréalisables sauf emploi de moyens de coercition considérables. — De 1900 à 1910, 2 200 ha étaient reboisés par petits « bosquets » ; — De 1910 à 1928, 2 800 ha, dont les 2/3 intéressaient cette fois des situations particulièrement menaçantes; — De 1928 à 1934, 5 000 ha environ étaient encore restaurés. Soit 10 000 ha environ en 34 ans, dont 7 000 appartenaient à l'Etat et avaient été dégrevés de droits d'usage, et 3 000 expropriés. Mais ces expropriations provoquèrent des réactions si énergiques de la part des victimes qu'en 1934, le Gouverneur général se vit obligé de les suspendre en les subordonnant à l'obligation de fournir des terrains de recasement aux indigènes, ce qui était absolument impossible. Le reboisement en resta là. Sur les 3 500 000 ha environ détruits depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, et les 4 millions qu'il est nécessaire de reconstituer, 13 200 ha seulement avaient été restaurés après près d'un demi-siècle de travaux, et ce, au prix de désordres, de polémiques et de difficultés sans nombre. Cet historique sommaire de l'essai de reboisement tenté dans le Tell algérien fait bien ressortir les difficultés économiques considérables et redoutables que présente l'action de lutte contre l'érosion dans ce pays.

2\* V, de Peyerimboff, Notice de la carte forestière..., op. cit,

Le problème a été repris en 1941 (il est impossible de l'éviter), après la visite en Algérie de M. Lowdermilk, alors chef du Service des recherches du Soil Conservation Service Américain, qui préconisa une solution nouvelle.

## 2. Défense et Restauration des sols (D.R.S.).

L'organisation du Service de la Défense et Restauration

des Sols en Algérie a été précédée d'une expérience isolée préliminaire qui révèle bien l'esprit et les méthodes qui ont présidé à cette organisation : l'expérience tentée en 1940-41 dans les monts Beni-Chougran, sur le bassin de l'oued Melah par le Service de la Colonisation et de l'Hydraulique<sup>30</sup>. Les premiers travaux de défense des sols en Oranie furent entrepris pour employer une main-d'œuvre non qualifiée qui s'était trouvée brusquement disponible et à la charge de l'Administration après le licenciement des mobilisés en juillet 1940. Une grande partie de cette main-d'œuvre fut employée ainsi sur un chantier créé dans le bassin supérieur de l'oued Melah pour essayer, par des travaux simples de terrassement (terrasses et petits barrages) de diminuer le ruissellement dans cette région particulièrement attaquée par l'érosion accélérée. Il s'agissait surtout de diminuer le débit solide de l'oued qui venait combler presque à chaque pluie torrentielle les canaux et réservoirs d'irrigation de la riche plaine de l'Habra. Tous les travaux entrepris pour drainer cette plaine avaient été voués à l'échec faute d'un traitement préventif du débit solide de l'oued. Les travaux, inspirés de la méthode Surell (employée dans les Alpes pour l'extinction des torrents par un système de seuils successifs) et des méthodes du S.C.S. (banquettes de Nichols et Mangum), consistèrent essentiellement en travaux de terrassements et en plantations utilitaires de figuiers, caroubiers, oliviers, etc., ou d'arbres de rapport (tamarins, pins, saules, peupliers). Ces plantations empiriques et non entretenues furent détruites en un an dans la proportion de 50 à 75 % . D'autre part, ces travaux avaient été faits absolument en dehors et malgré les propriétaires indigènes. Une fois le chantier abandonné, les exploitants locaux qui n'avaient pas été associés aux travaux ne songèrent évidemment pas à les entretenir comme on leur en laissait tacitement le soin. Dès le début 1942, la main-d'œuvre étant utilisable ailleurs,

30 Voir J. Karst, Une expérience de lutte contre l'érosion et de travaux protection des pentes en Qranje (Bull, Soc, Qio, Qrcm.r 1942)t

les travaux furent donc laissés pratiquement à l'abandon et périclitèrent rapidement. Le périmètre a heureusement été repris par le Service de la D.R.S. à Mascara et l'on ne trouve plus que quelques vestiges des anciennes installations.

**a) Organisation de la D.R.S. en Algérie.** — L'action de défense et restauration des sols fut organisée en Algérie par la loi du 2 février 1941 et l'arrêté du 17 mai 1941. Mais surtout les méthodes et les principes généraux de l'action ont été longuement établis dans une remarquable circulaire du Gouvernement général du 5 juillet 1941 qui constitue un document fondamental sur l'organisation de la D.R.S. en Algérie. Comme aux Etats-Unis, un Service technique de D.R.S. est créé auprès du Gouvernement général. Son

premier rôle est de faire l'inventaire des régions menacées et de déterminer les « périmètres » à traiter. Les principales régions à défendre sont déterminées en fonction de la protection des plaines et des grands ouvrages de la colonisation, les barrages surtout dont l'envasement rapide est une lourde hypothèque sur le développement de l'agriculture irriguée. Ainsi les premières zones à traiter sont les bassins versants des grands barrages-réservoirs, puis viennent les rives et les bassins des oueds débouchant des montagnes dans les plaines et qui menacent constamment la sécurité des cultures et des personnes. Une fois les travaux décidés dans un périmètre donné, le Service est chargé de l'exécution des travaux. Il doit déterminer alors les techniques à mettre en oeuvre. C'est donc à la fois un organisme de recherches (centralisées à Alger) et d'exécution des travaux dans les différentes circonscriptions réparties sur tout le territoire civil de l'Algérie. Enfin, le service de la D.R.S. est un organisme d'éducation et de propagande. Comme aux Etats-Unis, la solution du problème est subordonnée à l'intervention générale de tous les propriétaires fonciers individuellement. L'Etat ne peut que les y inciter par l'exemple et la propagande. « Le problème de la restauration ne sera vraiment en voie de solution que le jour où, par exemple et encouragements de l'Etat, les particuliers feront sur leurs terrains les travaux nécessaires à leur conservation » déclare la circulaire du 5 juillet. Et « le principe (directeur de l'oeuvre de la restauration des sols, commandé par l'ampleur et la gravité du problème, est d'amener tous les intéressés à apporter leur contribution en leur donnant l'exemple et en les encourageant ». L'oeuvre à réaliser est immense. L'érosion menace en effet, et très gravement, l'ensemble du pays, plaines et montagnes. En gros, ce sont au moins 7 500 000 ha qui doivent être traités ;

— 5 millions d'ha entrent dans le programme général actuel de la D.R.S.; — 2 millions d'ha doivent être traités à bref délai, dont un au moins en toute première urgence. b) Les techniques de la D.R.S. — L'agent des catastrophes et des principales dégradations des cultures sur les bordures des massifs ou dans les plaines étant le ruissellement et la force vive considérable qu'il atteint lors des pluies torrentielles chaque année, presque toutes les recherches et travaux tendent à diminuer l'importance du ruissellement et la violence des écoulements. L'action du Service s'exerce donc uniquement en montagne, soit sur les bassins versants des barrages, soit sur les versants des oueds, ainsi qu'à la demande des colons sur les terrains menacés du fait de leur situation sur les versants bordiers des chaînes telliennes. Le traitement d'un versant fait appel à cinq types d'ouvrages employés séparément ou combinés 31 :

— Les terrasses en escalier, assez rarement employées aujourd'hui parce que trop onéreuses à moins qu'elles

ne s'accompagnent d'un dispositif d'irrigation comme dans certaines régions tropicales (notamment en Chine). C'était là le système traditionnel de lutte contre le ruissellement depuis la plus haute Antiquité. Il est aujourd'hui remplacé par :

— Les banquettes d'infiltration qui sont presque toujours actuellement l'élément principal d'un réseau de défense et de restauration des sols;

— Les ouvrages de correction des torrents et ravins en activité : seuils et petits barrages;

— L'implantation de lignes horizontales de plantes de fixation et l'installation de bandes de cultures vivaces de 15 à 20 m de largeur;

— Enfin, si possible, le reboisement intervenant sur les plus mauvais sols et sur les fortes pentes, après que les terres arables plus basses auront été restaurées. Toutes ces mesures sont des mesures de fixation des sols sur les versants. Elles n'interviennent que dans l'action d'un processus d'érosion accélérée, le ruissellement, qui est fragmenté et atténué. Elles ne dépassent donc pas le premier stade technique de la régé-

8i Voir les deux articles de M. Saccardy, chef du service de la D.R.S. en Algérie : « Notions générales sur la lutte contre les érosions du sol en Algérie » et « Notes sur le calcul des banquettes de restauration des sols (Terre et Eaux, n° 9 et 11, 1950).

nération du sol, dont nous parlions plus haut : celui de la « régularisation » du phénomène, parfois le second, celui de la « stabilisation ». Les banquettes d'infiltration sont à la base de tout le système actuel de défense des sols en Algérie. Un réseau de restauration des sols consiste en effet en une série de banquettes découpant toute la superficie du versant en bandes horizontales suivant les courbes de niveau et sensiblement équidistantes entre elles, sauf variations topographiques importantes. Chaque élément du réseau (chaque banquette) intervient individuellement pour, d'une part, intercepter les eaux de pluie dès leur chute et rompre immédiatement leur force vive : les eaux tombant sur les surfaces horizontales des banquettes (ou déversées vers l'amont) ou entre les banquettes ne ruissellent pas ou très peu, la plus grande partie s'infiltre sur place. Et d'autre part, chaque banquette canalise les eaux lors des fortes précipitations vers un exutoire naturel ou artificiel, assez lentement pour augmenter le plus possible l'infiltration au détriment de l'écoulement, mais assez vite pour que, compte tenu de la longueur de la banquette et de son profil transversal, tout débordement des eaux qui provoquerait un rapide écoulement le long du versant soit évité. Tout le problème technique se ramène donc à déterminer en fonction des conditions topographiques, structurales et végétales (état de dénudation du sol), les intervalles entre les banquettes et la forme de ces banquettes. -, L'intervalle entre les banquettes varie évidemment en

proportion inverse de la valeur de la pente. Selon L. Saccardy<sup>32</sup>, il peut être déterminé par la formule :  $H \gg \frac{260}{p} \pm 10$  P H étant la dénivellation verticale entre les banquettes, p la pente du versant. La forme des banquettes se caractérise par trois données : La pente longitudinale de la banquette qui doit être calculée de façon à assurer un écoulement optimum des eaux vers les exutoires naturels ou artificiels : pratiquement, la valeur optima de cette pente longitudinale est voisine de 0,5 %. La section transversale de la banquette, c'est-à-dire sa surface de réception qui doit évidemment être d'autant plus petite que la

32 Cf. L. Saccardy, Notes sur le calcul..., op. cit.

vitesse d'écoulement de l'eau est plus grande. Elle varie donc aussi en ordre inverse de la pente du versant. Selon M. Saccardy, la formule de cette section transversale serait :  $S \times i \times s = m^2 \times 60 \times v$  S est la surface totale de réception du versant (d'autant plus grande que la pente est plus faible et le versant plus long) ; i est l'intensité maxima que la pluie puisse atteindre dans la région. Pratiquement, on compte que cette intensité est égale à 3 mm/minute; v est la vitesse d'écoulement de l'eau qui varie en fonction de la pente et de la structure du terrain (formule de Bazin). Enfin, le profil transversal de la banquette, déterminé également en fonction de la pente, c'est-à-dire des vitesses d'écoulement que l'eau peut atteindre. On distingue trois grands types de profils :

— Profil déversé vers l'amont : sur les fortes pentes, où il s'agit surtout d'empêcher l'eau de ruisseler longitudinalement.

— Profil normal à fond plat, le plus fréquent, employé sur toutes les pentes supérieures à 10 % : le fond est plat ou très légèrement incliné vers l'amont et la banquette est limitée par un bourrelet de terre rejeté sur son bord extérieur. Ce système assure une infiltration maxima et de bonnes conditions d'écoulement des eaux en surplus.

— Profil amorti à double courbure, réservé aux faibles pentes (jusqu'à 12 %) et permettant des labours (parallèles évidemment). Les banquettes constituent alors un système de petits barrages au ruissellement. Un réseau de banquettes ne peut être efficace que s'il est établi sur toute l'étendue dénudée du versant. D'autre part, le complément indispensable de son installation est « l'extinction » des ravins et ravines qui sillonnent longitudinalement le versant. Les ravines peu profondes sont effacées directement par les banquettes, ce qui entraîne généralement une cicatrisation rapide sur les intervalles. Les ravins plus profonds doivent être barrés ou stabilisés par la végétation. C'est en général par toute une série de petits barrages en pierres que la stabilisation des ravins est obtenue. Enfin les banquettes doivent être fixées par des plantations. Sur les bourrelets des banquettes sont plantés des arbres fruitiers ou fourragers ou encore, le

plus souvent, des eucalyptus. Ces derniers sont l'essence exotique type utilisée pour les reboisements : sur les quelque 7 000 ha ainsi plantés dans le cadre des travaux de D.R.S., 4 000 l'ont été en eucalyptus. Ses qualités sont en effet très nombreuses : plantation aisée, croissance extrêmement rapide, exigences réduites, entrée en production précoce et régénération facile. C'est surtout sa rentabilité rapide qui lui a donné ici, comme en Afrique Noire, une grande vogue. Mais si l'on se place du point de vue de la régénération du sol, la valeur de l'eucalyptus devient très discutable : en de nombreuses régions d'Afrique centrale, les plantations d'eucalyptus n'ont fait qu'accélérer la dégradation du sol. L'eucalyptus n'est pas une espèce régénératrice du fait de son feuillage trop clair et de son enracinement trop puissant. Ces deux caractéristiques nuisent à la formation de l'humus (surtout s'il y a exploitation trop poussée provoquant des coupes répétées dès que l'arbre atteint une certaine importance), et contribuent à drainer en quantité excessive l'eau d'infiltration qui se perd ensuite en transpiration. L'eucalyptus est une plante desséchante utilisable pour l'assèchement des marécages plus que pour la protection et la régénération du sol. c) L'exécution des travaux. — La lutte contre l'envasement des grands barrages et des travaux d'irrigation dans les plaines a été la première raison d'être de la D.R.S. en Algérie. Tous les bassins versants des barrages et des oueds débouchant dans les plaines constituent donc le premier secteur d'action du Service. Mais l'action est considérablement compliquée par la nécessité de négocier avec les propriétaires privés dont les terres se trouvent comprises dans les périmètres de restauration. La procédure prévoit soit une entente à l'amiable soit l'exécution d'office pour cause d'utilité publique. « Pour chaque périmètre constitué... une commission arbitrale d'expertise [est chargée]... d'évaluer les dommages causés aux ayants droit par l'exécution des travaux de restauration, ainsi que les plus-values que ces travaux pourront avoir apportées à ces propriétés. L'excédent éventuel des dommages sur les plus-values sera payé aux intéressés sans formalités et sans retard » (art. 3 de la loi du 2 février 1941). En général, la déclaration d'utilité publique est nécessaire. De ce fait, et du fait des moyens financiers relativement faibles dont dispose le Service (1,5 milliard de francs en 1952), les travaux, de ce genre, entièrement aux frais de l'Etat et comportant en plus le versement d'indemnités aux propriétaires, sont limités au maximum aux seuls cas où ils sont absolument indispensables et seulement aux abords immédiats des barrages. Les travaux de protection des cultures sont la partie la plus importante de l'action de la D.R.S. Ces travaux sont faits en général sur la demande des colons propriétaires et sont alors, pour la plus grande part, aux frais du demandeur, l'Etat accordant simplement une subvention d'encouragement. La « demande » reste encore, après



10 ans d'efforts de propagande (elle aussi d'ailleurs limitée par les moyens financiers du Service) d'information et de démonstrations, très faible. La D.R.S. se heurte toujours à une incompréhension totale des colons, qui souvent ne sont pas directement exploitants et ignorent par conséquent l'existence même du danger. Et surtout, même en supposant une propagande plus large et mieux entendue, la demande reste soumise avant tout aux impératifs de la conjoncture économique. Pour les exploitants, l'action de la D.R.S. ne se comprend évidemment que comme une amélioration immédiate et aux moindres frais des conditions d'exploitation. C'est-à-dire qu'elle doit se traduire rapidement par un accroissement des rendements. L'action de la D.R.S. se trouve dès lors très fractionnée, dispersée au gré des demandes des colons qui ne font entreprendre des travaux de restauration sur leurs terres et à leurs frais qu'avec l'assurance ou l'espoir que cet accroissement des frais d'exploitation se traduira par un accroissement supérieur des bénéfices, et encore à la condition que les nouvelles installations ne seront pas trop longues à réaliser ni d'un entretien trop coûteux. La défense des sols devient dès lors un « placement » fonction des impératifs du profit immédiat (et de la concurrence) et non de ceux de l'élaboration rationnelle d'un nouvel équilibre écologique. Et la D.R.S. se présente alors comme une entreprise autant commerciale que scientifique, assurant la conservation des exploitations actuelles, la défense et la restauration de ces conditions d'exploitation (de la vigne par exemple sur les coteaux sub-telliens) plutôt que la conservation, la défense et la restauration des sols. Il est bien évident que l'immense entreprise de conservation et de régénération des sols ne se justifie que par la possibilité (et la nécessité) de poursuivre l'exploitation de ces sols. Mais, et surtout dans un climat aussi agressif que celui du Tell algérien, le maintien de la même forme de d'exploitation que celle qui a provoqué et favorisé le développement de l'érosion accélérée n'est possible que s'il y a eu modification complète des conditions de développement de cette érosion accélérée; modification telle que la même forme d'exploitation favorise désormais une évolution progressive du sol, après avoir permis le renversement complet de l'évolution du phénomène. Une telle modification répond à des impératifs biologiques et écologiques très stricts et étroitement fonction du climat et de la morphologie de la région. Elle est incompatible avec les pratiques d'une surexploitation spéculative : cultures spécialisées, pas d'assolements, production aux moindres frais, etc. Ainsi, dans le Tell algérien, les travaux de défense et restauration des sols ont été orientés en fonctions des impératifs économiques, et non l'inverse. Ils doivent absolument respecter ces deux conditions : être rapides, faciles et économiques, et être immédiatement rentables. Ainsi, du point de vue technique pur, le

reboisement sur banquettes des fortes pentes et des sols stériles et rocheux de tout périmètre de restauration a été reconnu comme le complément obligé des travaux de restauration des régions inférieures par banquettes. Mais les nécessités commerciales et « publicitaires » de la D.R.S. ont entraîné une manière d'antagonisme pratique entre ces deux formes complémentaires de l'action. Les effets du reboisement sont définitifs mais ne se produisent qu'à terme, le système des banquettes en montagne n'étant que le stade transitoire. Mais la réalisation du programme jusqu'au bout serait lente, coûteuse et surtout peu spectaculaire. Elle ne servirait donc pas les objectifs immédiats du Service qui, comme le note la circulaire du 5 juillet 1941, sont avant tout d'intéresser les colons à ses travaux et de les inciter par l'exemple à demander des travaux de restauration sur leurs domaines. Par contre, comme le note P. Boudy 33, « la vue impressionnante d'un ensemble de gradins s'éta- geant sur un versant à pente rapide » frappe bien davantage l'esprit du « public »... « Il est par suite inévitable qu'à première vue la formule de la banquette doive l'emporter dans la lutte contre l'érosion sur celle du reboisement. » Les réseaux de banquettes, qui assurent une défense immédiate contre le ruissellement et une cicatrisation rapide des griffes et des ravines, sont alors présentés comme la solution définitive du problème excluant même le reboisement, alors qu'en fait ils ne peuvent constituer que les conditions transitoires de « régularisation » du phénomène, préparant le rétablissement d'un nouvel équilibre; Et, comme nous l'avons dit, cet équilibre du complexe sol-végétation-climat ne peut s'établir en montagne que par l'intermédiaire d'un couvert forestier. Si un réseau de banquettes est très spectaculaire et relativement facile à établir rapidement, c'est ensuite un système compliqué qui ne peut entraîner qu'une très lente reprise de la pedogenese. Et celle-ci reste nulle si le sol n'est pas protégé ou soigneusement entretenu. Le réseau lui-même ne peut durer que s'il est contrôlé

\*P. Boudy, Considérations sur le problème de la défense et de la restauration des sols (Bull. Soc. Forestière de Franche-Comté, 1951, n° 4).

et entretenu constamment, car la moindre fissure non colmatée, qui se résorbe normalement en secteur boisé, entraîne au contraire une véritable réaction en chaîne dans tout le dispositif et peut faire crouler l'ensemble en cas de précipitations violentes et prolongées comme il s'en produit si souvent dans ce pays. L'action de défense et restauration des sols dans les chaînes telliennes d'Algérie, qui sur le plan technique en reste au premier stade (régularisation du phénomène et stabilisation précaire), apparaît donc comme étroitement subordonnée aux facteurs économiques et sociaux, dans son action et dans son développement : — Dans son action : notons seulement la remarque de M. Boudy qui signale comme une lacune grave le fait

qu'il n'existe pas de statut spécial pour les terres restaurées qui devraient être l'objet de travaux d'entretien pendant de longues années : « On s'est trop préoccupé du présent et pas assez de l'avenir. » Mais il est évident que si à la servitude des travaux d'installation d'un système de banquettes, qui diminue forcément la superficie cultivable et commande une exploitation moins aisée en lignes perpendiculaires à la pente, s'ajoutait la servitude de contrôles effectifs et d'entretiens, le nombre des colons s'intéressant à la D.R.S., qui est déjà si réduit, se rapprocherait de zéro. Mais, faute d'entretien constant, « il est à craindre... en Afrique du Nord qu'en bien des points, par négligence ou indifférence des intéressés, tout soit remis en cause au bout de quelques années ».

— Dans son développement : inauguré depuis plus de 10 ans, malgré la valeur de ses techniciens et de ses ingénieurs auxquels il faut rendre un grand hommage pour leur compétence et leur dévouement à une cause qu'ils servent avec enthousiasme, le développement de la D.R.S. dans ces conditions reste très faible. On sait que les terrains à traiter couvrent au moins 5 millions d'ha dans le Tell algérien, dont deux devaient être aménagés à bref délai en 1941. Voici quels ont été les résultats pour l'ensemble de l'Algérie (en général, et en gros, les travaux se répartissent de la façon suivante : Oranie 45 %, Algérois 30 % et Constantinois 25%) :

Surfaces traitées	Cumulées	1942-46	2 450	2 450
1947	2 120	— 4 570	19418	5400
— 9970	1949	9430	— 19400	1950 13 400
— < 32 800	1951	20 430	— 53 230	1952 23 020
				— 76 250

Le rythme des travaux s'établit donc actuellement autour de 20 à 25 000 ha par an. A ce rythme, les 7 millions d'hectares en cours de désertification rapide en Algérie seraient traités dans environ trois siècles. D'autre part, répétons que loin d'obéir à un plan d'ensemble, le développement des travaux est très fragmentaire : quelques bassins versants de barrages et un certain nombre de propriétés allant de 15 ha à 1 000 ha sont aménagés un peu partout dans le Tell, presque au hasard de la demande des colons. Il n'est pas toujours possible d'aménager tout un versant quand la surface de ce dernier appartient à plusieurs exploitants. On conçoit les conséquences morphologiques d'une

telle situation : les parties traitées en banquettes n'ont pour résultat que d'aggraver l'irrégularité topographique du versant et peuvent entraîner à bref délai une accélération supplémentaire de l'érosion du sol. Il est impossible de conclure. Tout ce qu'on peut dire, c'est que les résultats obtenus ont surtout une valeur expérimentale. Sauf localement et provisoirement, et sous caution d'un entretien constant des travaux effectués, le développement de l'érosion des sols dans les montagnes telliennes n'a pas été influencé par les quelques essais tentés jusqu'à présent. Le problème reste entier. Répétons pour terminer que la première condition d'une solution de ce problème est une étude approfondie du phénomène et des facteurs de son développement. Le Tell algérien offre aux géographes un vaste champ d'étude. Etudes neuves, études complexes de la combinaison des multiples données structurales, morphologiques, climatiques, écologiques, économiques, sociales, etc.. qui constituent les tenants et les aboutissants de ce problème vital, et desquelles doivent être dégagés les éléments d'une véritable (et indispensable) solution réalisable ; et le plus grand profit peut être tiré de la comparaison avec ce qui a été fait ou tenté, et ce qui se fait actuellement en France et dans le monde entier, compte tenu des conditions de réalisation de telles expériences (conditions physiques et humaines, en un mot, conditions géographiques). De telles études de synthèse, éminemment géographiques, absolument nécessaires, constitueront ainsi les premiers éléments d'une véritable Géographie appliquée, bien au delà du divorce classique géographie physique - géographie humaine - géographie régionale.

34 Il n'est que de voir les véritables élucubrations qu'un livre qui a pourtant connu un grand succès : « La faim du monde » de W. Vogt, écrit par un économiste, sans aucun soupçon des réalités géographiques, peut contenir sur ce problème.

#### Sources : Revue de géographie alpine

Citer ce document / Cite this document : Benchetrit Maurice. Le problème de l'érosion des sols en montagne et le cas du Tell algérien (Essai de géographie appliquée). In: Revue de géographie alpine, tome 43, n°3, 1955. pp. 605-640.

doi : 10.3406/rga.1955.1189

[http://www.persee.fr/doc/rga\\_0035-1121\\_1955\\_num\\_43\\_3\\_1189](http://www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1955_num_43_3_1189)

Document généré le 24/09/2015

## LA LUTTE CONTRE L'ÉROSION DU SOL EN ALGÉRIE

REVUE FORESTIÈRE FRANÇAISE Indice bibliographique: 11.63.11: 42.34 (65)

Dans la première partie de son rapport, l'A. résume les conditions générales déterminant les érosions en Algérie. Ce sont d'abord des conditions de climat : les pluies peuvent être considérées comme dangereuses, quand elles atteignent 30 mm. en 24 heures ou 20 mm. en 2 heures. Or, dans toute l'Algérie, la moyenne journalière de pluies torrentielles ressort à 47 mm.; l'intensité de « pointe » de ces pluies peut même atteindre le chiffre de 1 mm. par

minute. Ensuite les conditions orographiques offrent une grande importance, les surfaces de montagnes, donc de sols en pente l'emportant sur celles des plaines. Enfin, il faut aussi faire la part des conditions d'utilisation du sol : beaucoup de sols ont été déboisés inconsidérément, et abandonnés à l'état de friches — particulièrement sujettes aux phénomènes d'érosion — après une brève période de culture. La technique des « terrasses » soutenues par des murs en pierres sèches a été introduite par les Romains pour lutter contre l'érosion; malheureusement la tradition en a été rapidement perdue. L'A. aborde ensuite l'étude de la situation actuelle en Algérie.

### **LA SITUATION ACTUELLE EN ALGÉRIE**

Le taux de boisement est dangereusement abaissé à 11 %, bien au-dessous du minimum de 18 % qui serait nécessaire pour assurer l'équilibre économique et physique du pays. Beaucoup de peuplements dégradés ne jouent d'ailleurs que très imparfaitement leur rôle protecteur. Il en est de même des terrains de parcours trop souvent abusivement pâturés. Quant aux tejrés de culture, le bien le plus précieux, elles sont arrachées par lambeaux. Plusieurs millions d'hectares autrefois cultivés sont déjà stérilisés et les phénomènes torrentiels s'y développent librement. Sur 6.500.000 hectares considérés comme terres arables, les parties en plaine ne forment qu'une faible minorité. Sur tous les versants des montagnes et des collines jusqu'aux pentes de 10 %, et souvent de 5 %, les ablations et les décapages se poursuivent à un rythme accéléré.

Nous disposons encore de 70 ares de terre arable par tête d'habitant. Bien que les hygiénistes réclament un hectare par personne, notre situation est encore favorable quand on la compare à celle des autres pays. Dans le monde entier, en effet, la moyenne ressort à 50 ares, elle est de 35 ares seulement pour l'ensemble du continent européen où, il est vrai, les techniques agricoles sont particulièrement perfectionnées. Mais ce capital foncier irremplaçable et limité, et déjà gravement entamé, fond sans cesse sous nos yeux à une vitesse grandissante pendant que la population s'accroît à un tel taux qu'elle est appelée à doubler dans les cinquante années qui viennent. A cette époque, la surface de terre arable ne sera donc plus que de 35 ares par tête d'habitant, diminués de tout ce que les érosions auront d'ici là ravagé. Les forces de destruction délivrées des freins qui les modéraient exercent des effets croissant dans le temps à un rythme accéléré sous le régime de la pesanteur. Nous prenons chaque jour une conscience plus exacte de l'extrême gravité d'une évolution où les désastres que constituent les inondations, les alluvionnements, l'envasement des barrages, qui retiennent d'abord l'attention, ne sont pas cependant les plus néfastes. Ils ne sont que la conséquence d'une dégradation moins apparente mais beaucoup plus grave encore, l'ablation des sols.

Le danger, la menace sont redoutables. Par réaction de défense dans l'immédiat et par impérieux devoir vis-à-vis des générations qui viennent, la lutte contre les érosions doit être entreprise sans retard. Qu'a-t-on fait jusqu'ici dans cette voie ?...

### **EXISTENCE DE TRAVAUX ANCIENS DE LUTTE CONTRE LES ÉROSIONS**

La protection de la forêt

La police forestière d'abord instituée peu après l'installation de la souveraineté française et définitivement fixée par la loi du 2 février 1903 spéciale à l'Algérie a pour but, non seulement de tirer un juste parti des ressources du domaine forestier, mais avant tout de préserver ce précieux capital dont la conservation est d'intérêt public. Elle régit les forêts domaniales et certaines forêts communales soumises au régime forestier et, dans les propriétés privées, réglemente les exploitations et les défrichements. Mais le conflit entre l'Homme et la Forêt se poursuit de nos jours. On conçoit combien la forêt suscite de convoitises chez les populations riveraines en voie de croissance, et combien il est difficile de la protéger complètement.

### **Le Reboisement**

Reconstituer les forêts détruites pour discipliner le ruissellement et protéger les sols ravagés par les érosions est la première opération de défense entreprise. Dès 1850, les « Planteurs du Génie » s'étaient mis à l'ouvrage avec le souci plus particulier de créer des bois productifs et surtout des forêts d'agrément au voisinage des agglomérations urbaines. En 1885, l'Administration forestière présente un programme de reboisement qui prévoit la correction, après expropriation, des bassins ou des versants où le danger torrentiel est « né et actuel » selon la formule un peu trop restrictive de la loi française de 1882 sur la restauration des terrains en montagne. Le premier programme porte sur 110.000 hectares dont l'exécution est entreprise aussitôt. En 1907, un service spécial de Reboisement est créé et son action se précise dès 1911. Les difficultés techniques sont surmontées avec succès et plus de 10.000 hectares de boisement sont ainsi reconstitués dont 7.000 hectares appartenaient déjà à l'Etat et 3.000 hectares ont dû être expropriés. Les reboisements d'Akou-Feraoune au-dessus de Blida, ceux des Deux-Bassins dans le périmètre du Hamiz, ceux de Meurdja, plus récents, au-dessus de Rovigo, jouent efficacement le rôle qu'on pouvait en attendre. Mais le reboisement considéré comme seule politique de défense implique l'expropriation préalable du terrain. Et les expropriations se heurtent à des difficultés et à des protestations telles qu'en 1934 le Gouverneur Général CARDE les subordonne désormais à l'obligation de fournir des terrains de

recasement aux expropriés. Cette mesure rendait toute réalisation pratiquement impossible. Elle entraîne la disparition du Service Spécial du Reboisement, le Service Forestier ordinaire conservant la mission de poursuivre l'œuvre projetée chaque fois que les circonstances le permettent.

### **Les nouvelles méthodes de défense et de restauration des sols**

Pour organiser une défense efficace contre le danger aigu qui menace le patrimoine d'autres méthodes sont nécessaires. Non seulement il faut d'abord échapper à l'obligation paralysante d'une expropriation préalable, mais la mise en protection des terrains les plus dégradés ne saurait de loin suffire. Contre un danger généralisé, la lutte doit être généralisée et, sans négliger les autres interventions, la défense doit porter principalement sur les parcelles les plus précieuses du patrimoine, les terres de culture dont il est vital de sauvegarder l'avenir. La loi du 2 février 1941 a jeté les bases de nouvelles méthodes dans ses deux premiers articles dont la teneur suit :

ARTICLE PREMIER. — Des arrêtés du Gouverneur Général de l'Algérie, pris en conseil de gouvernement, après enquête, pourront déclarer d'utilité publique la création de périmètres de restauration des sols des bassins versants et décider l'exécution, à l'intérieur de ces périmètres et aux frais de l'Algérie, de tous les travaux propres à assurer l'amélioration et la fixation des cultures sur les pentes, l'amélioration des pâturages par le regazonnement ou le reboisement et, généralement, tous travaux et dégâts résultant du ruissellement des eaux. Les propriétaires dont les biens se trouveront compris dans un périmètre de restauration, en conserveront la propriété et la jouissance, sous réserve des mesures prévues à l'article 2. Ils ne pourront être expropriés que dans les cas et dans les formes prévus par la réglementation concernant l'expropriation pour cause d'utilité publique en Algérie.

ART. 2. — Des arrêtés du Gouverneur Général détermineront dans chaque cas particulier, les mesures à prendre dans ces périmètres, concernant la défense des plantations et des ouvrages de protection, l'aménagement des pâturages.

Pour l'application de cette loi, un Service Spécial de la Défense et de la Restauration des Sols a été créé en 1942 et, dans une première étape, il a fait appel à des fonctionnaires des Eaux et Forêts et des Ponts et Chaussées qui ont généreusement prêté leur concours. Depuis 1946, il est doté d'un statut et recrute progressivement ses cadres. Dans un premier stade, le Service de la Défense et de la Restauration des Sols a recherché et mis au point des méthodes de fixation des terres bien adaptées aux conditions physiques et

humaines du pays. Il s'est attaché dans ses expériences à appliquer les principes suivants :

— s'attaquer aux racines du mal en faisant obstacle aux puissances du ruissellement, causes fondamentales des érosions, dans le moment même où elles vont commencer à devenir dangereuses,

— rompre la force vive des eaux dès l'origine, en les disciplinant et en favorisant leur infiltration sur place.

L'analyse des phénomènes montre bien que toute action efficace ne peut se concevoir autrement. Quand les forces brutales ont été libérées, il est trop tard pour intervenir, car elles se développent alors en une chaîne inexorable et les moyens de lutte atteindraient des proportions si gigantesques qu'ils seraient pratiquement irréalisables. Les principaux ouvrages de protection mis en oeuvre ont été les suivants :

Restauration du bassin versant de l'Oued el Kebir dans l'Atlas Blidéen,

Ouverture de banquettes de restauration au moyen du « râteau terrasseur » à traction animale.

Ouverture de banquettes au moyen d'un tracteur à chenilles de petit modèle.

SIDI-MEDJAHED : Défoncement au roofter d'une banquette ouverte à l'angle-dozer.

Type de verger sur banquettes. — Deux ans après la mise en défense du sol contre les érosions et la plantation des arbres fruitiers.

1° **Terrasses en escaliers**, assez rarement appliquées parce que trop onéreuses à moins qu'elles ne s'accompagnent d'un dispositif d'irrigation,

2° **Banquettes** surtout établies depuis le sommet des versants ou protégées des fonds supérieurs par un canal de dérivation, sillonnant les pentes en un réseau presque horizontal (la pente longitudinale est de 1/2 %), Leur profil en travers comporte un fond plat ou incliné vers l'amont et un solide bourrelet tel que la section garantisse l'écoulement ralenti des pluies torrentielles vers un exutoire naturel. Le fond de la banquette ameuilli par des façons culturales, absorbe une bonne partie des eaux, en même temps qu'il augmente les frottements du courant longitudinal qui pourrait s'établir et favorise le dépôt de la faible partie de matériaux venus de l'interbande d'amont. La dénivellation entre deux banquettes consécutives peut varier de 2 m. 50 à 5 m. selon la pente et la nature du terrain — 4 mètres est une bonne moyenne. Dans les terres à céréales, on façonne un profil transversal plus amorti en s'inspirant de la technique américaine. Ainsi les opérations de labour et de moisson sont-elles facilitées.

3° **La correction des ravins** en activité est entreprise au moyen de séries de seuils ou de barrages en gabions ou en pierres sèches, quelquefois en maçonnerie, qui

fixent le fond du lit et diminuent sa pente entre deux ouvrages consécutifs. Dans les régions sèches des Hauts-Plateaux, ces barrages dérivent une partie des eaux (déterminée par le débit de buses calibrées) vers des banquettes d'infiltration en faible pente. On augmente ainsi le coefficient d'infiltration au profit du versant traité et on diminue le ruissellement vers l'aval.

**4° L'implantation de lignes horizontales de plants** de fixation tels que le Cactus inerme, l'installation de bandes de cultures vivaces de 15 à 20 mètres de largeur, participent au même principe de défense. D'une manière générale, à l'obsession de la ligne droite il faut délibérément substituer le souci des courbes de niveau.

**5° Le reboisement** cependant ne perd pas ses droits. Intervenant comme moyen de complément sur les sols stériles ou rocheux et dans les plus fortes pentes, après que les terres arables voisines ont été restaurées, il n'est plus critiquable et demeure une technique sûre, offrant de sérieuses garanties de durée. Chaque périmètre, chaque bassin versant, chaque terrain à traiter fait l'objet d'un projet d'ensemble qui détermine le dispositif applicable à chaque parcelle et aboutit à un emploi combiné des différents procédés de traitement.

Aujourd'hui, des bassins entiers ont été traités, et les résultats obtenus donnent tous apaisements sur l'efficacité des dispositifs mis en oeuvre. Partout, en même temps que l'objectif d'intérêt général, sur le plan social, l'amélioration des conditions de vie des populations montagnardes a été recherchée. Quand le ruissellement des eaux est convenablement ralenti et la conservation du sol assurée, l'installation de vergers d'oliviers, de figuiers, d'amandiers et de caroubiers dans les conditions favorables ainsi créées restitue au terrain une productivité accrue et garantit pour l'avenir la rentabilité des travaux de premier établissement. La création de vergers sur une fraction importante des sols protégés apparaît comme une formule heureuse qui a naturellement trouvé sa place dans l'organisation paysannale. Dans la région des Hauts-Plateaux où domine l'économie pastorale, on se préoccupe aussi de mettre en place des arbres tels que le caroubier, le figuier de Barbarie, le mûrier, le frêne, le févier inerme, susceptibles à la fois de fixer le sol et de fournir des rations fourragères de complément pour la nourriture du bétail. Une collaboration étroite s'est instituée entre les Services de l'Agriculture (Paysannat) et celui de la D.R.S. qui trouvent dans les Secteurs d'Amélioration Rurale nouvellement créés l'occasion de renforcer et d'intensifier une action commune visant :

- 1° à protéger et restaurer le capital en terre végétale ;
- 2° à assurer l'entretien des ouvrages de protection pris en charge par les S.A.R. ;
- 3° à cultiver correctement les terrains restaurés, de manière à retirer une production améliorée dans le présent et soutenue dans l'avenir.

A la fin de 1947, les terrains mis en protection couvraient 4.570 hectares. Les travaux réalisés en 1948 ont permis de traiter 5.400 ha. Ce développement a été dû à un relèvement sensible des crédits et aussi à la mise en service de tracteurs à chenilles et d'engins spécialisés. Vingt-deux tracteurs à chenilles sont au travail et nous espérons en recevoir autant au cours de l'année. Les travaux ont été exécutés en grande partie dans les périmètres de restauration déclarés d'utilité publique et dans les Secteurs d'Amélioration Rurale. Mais il faut bien dire que l'homme de la terre, paysan ou fellah, manifeste toujours une certaine méfiance vis-à-vis des initiatives de l'Administration. Il n'est pas dès l'abord persuadé que les travaux qu'on se propose d'exécuter chez lui aux frais de la collectivité ne sont pas un signe précurseur de son expulsion. De là l'origine de difficultés qu'il faut surmonter. Ce n'est pas avec des mesures de contrainte et à coup de procès-verbaux qu'on a le plus de chance de faire entrer les techniques nouvelles dans les mœurs. Il s'agit avant tout de persuader, d'éduquer. Aussi le Service a-t-il été conduit dans les débuts à faire une large place aux travaux dits de démonstration. Ne pouvant pas toujours agir là où son intervention aurait été la plus urgente, il a élargi son champ d'action et s'est employé là où des travaux étaient acceptés. La vertu de l'exemple a joué. Dans les débuts, ces travaux de démonstration étaient supportés par le budget. Puis les propriétaires ont réclamé l'intervention du Service et la participation des intéressés à la réalisation des travaux est allée en croissant. Dès maintenant, l'aide de l'Administration aux particuliers dont les terrains ne sont pas compris dans un périmètre, consiste dans le concours gratuit du Service qui, sur la demande des intéressés, établit les projets et devis des travaux, met un moniteur à leur disposition pour leur exécution, prête les matériels et instruments spécialisés (terrasseurs, niveleuses), livre à prix réduits les plants fruitiers ou les plants de fixation nécessaires. L'Administration envisage d'autre part l'octroi, à l'expiration des travaux, de subventions correspondant à un certain pourcentage du devis en fonction des travaux de mise en défense proprement dits. Elle envisage aussi d'encourager les associations de propriétaires en accordant un traitement de faveur aux coopératives d'agriculteurs et aux associations syndicales. D'ailleurs les travaux de D.R.S. constituent un véritable équipement des propriétés et sont susceptibles par conséquent de justifier l'octroi de prêts à moyen terme par les caisses de crédit agricole. Faciliter le recours au crédit des propriétaires désireux de traiter leur fonds est sans doute le meilleur moyen de donner à l'oeuvre de la restauration des sols l'essor qui convient. Pour l'année en cours, le programme des travaux de restauration porte sur 8.000 hectares. Ce programme demeure sans doute inférieur aux réalisations nécessaires qui sont immenses et peut

paraître modeste au regard de l'œuvre à accomplir qui se résume ainsi :

— 5 millions d'hectares sont justiciables des méthodes de la restauration de sols.

— 2 millions d'hectares sont à traiter à bref délai, dont 1.000.000 en première urgence.

Mais il faut considérer que la restauration des sols apporte un bouleversement profond, une véritable révolution dans le genre de vie des populations montagnardes, en particulier dans les procédés de culture. Il faut passer d'une économie extensive

— fondée sur l'usage facile et l'abus de la vaine pâture et sur des labours inconsidérés après défrichement qui ruinent le sol végétal

— à une utilisation rationnelle des terres garantissant l'avenir. Ce passage n'est généralement pas accepté sans résistance en pays musulman. Pour si évidente que soit l'amélioration à attendre, elle n'est comprise que progressivement, de proche en proche, à la faveur des

réussites acquises. L'entreprise demande donc à être conduite avec précaution et reclame une collaboration étroite des autorités civiles et agricoles ainsi que des représentants élus et des notabilités influentes. Les progrès acquis aujourd'hui se traduisent par les chiffres de réalisations sur le terrain qui depuis les premières expériences de 1942 ont couvert:

de 1942 à 1946 2.449 ha. 1947 2.121 1948 5400

Au total 9-970 ha.

Les projets de 1949 portent, nous l'avons dit, sur 8.000 ha. Il faut envisager de tendre pour 1952 vers la mise en protection de 50.000 hectares par an, qui permettrait en une vingtaine d'années de réaliser le programme de première urgence d'un million d'hectares. Sortis de la -phase expérimentale, nous entrons désormais sur le plan technique, comme sur le plan social, dans la voie des réalisations à une cadence croissante qui dans peu d'années sera à l'échelle du danger de destruction menaçant les sols d'Algérie.

SACCARDY.

## BILANS ET PERSPECTIVES 31

### LA LUTTE CONTRE L'ÉROSION EN ALGERIE

D. HEDDADJ (INRA, Alger, Algérie)

#### RESUME

Face au problème de l'érosion qui affecte les sols en Algérie, les différentes tentatives à travers les programmes de "défense et de restauration des sols (DRS)" d'abord, puis de "rénovation rurale" ensuite, ont globalement échoué. Une stratégie alternative orientée vers l'intégration de la lutte anti-érosive dans une démarche agronomique a créé un début d'adhésion des populations. Mais les programmes engagés sont loin d'être à la mesure de l'ampleur des phénomènes érosifs et de leurs conséquences. Une nouvelle doctrine, "la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)", produit de la recherche et des expériences pilotes menées, semble constituer pour l'avenir la réponse la plus appropriée au problème de la dégradation des sols de montagne. Les actions à mener, à l'échelle du bassin versant, devront viser à la fois la maîtrise du ruissellement au sein des parcelles agricoles et la limitation des transferts de charges solides au niveau des zones ravinées et des berges de cours d'eau. Toutefois, ces actions n'atteindront pleinement leurs objectifs que si elles sont intégrées dans une politique d'aménagement de la montagne. MOTS CLES : Algérie - montagne - dégradation des sols - érosion - ruissellement - agriculture envasement des barrages - stratégie GCES - désertification – développement.

#### ABSTRACT

#### EROSION CONTROL IN ALGERIA

The different evolutions attempted to control erosion in Algeria, that is first the "soil defence and restoration (DRS)" then the "rural renovation", globally failed. An alternative strategy turned towards integration of erosion control in agronomic approach is encountering adhesion of farmers. But the implemented programmes are far from overcoming the importance and the consequences of erosion. A new doctrine, "the sustainable management of water, biomass and soil fertility (GCES)", which is the result of research and leading experiences, seems to be the most appropriate reply to mountain soils degradation. The actions to develop should aim at controlling runoff at agricultural plot scale and limiting solid transport from gullied areas and river edges. However, these actions will completely reach their objectives if only they are integrated in a mountain development policy.

KEYWORDS : Algeria - mountain - soil degradation - Erosion - Runoff - Agriculture - Dam silting - GCES strategy - desertification - Development.

#### INTRODUCTION

L'Algérie consacre depuis une décennie, en moyenne, 2 milliards de dollars annuellement pour approvisionner la population en denrées alimentaires et agricoles de base. Cela représente 20% des importations totales et fait du pays l'un des plus gros importateurs mondiaux de produits agricoles. Face à cette situation,

l'agriculture algérienne s'est assigné comme objectif d'assurer une sécurité minimale des approvisionnements alimentaires du pays. La réalisation du principe de sécurité alimentaire exige aujourd'hui l'orientation du système productif agricole en priorité vers l'accroissement des productions de céréales, de légumes secs et de lait car ces produits occupent une place prépondérante dans l'équilibre alimentaire de la population en fournissant les 2/3 de la ration calorifique et protéinique. Si l'atteinte d'un tel objectif nécessite la mise en oeuvre de réformes globales de nature à inciter les agriculteurs à améliorer leurs performances pour les productions prioritaires, le problème de la préservation des ressources demeure une préoccupation majeure. En effet, il est illusoire de fixer des objectifs de production si dans le même temps les ressources en sols régressent quantitativement et qualitativement. L'Algérie, à l'instar d'autres pays méditerranéens, dispose de ressources en sols limitées. Face au défi alimentaire que se propose de relever le pays, la gestion de ces ressources pour un développement agricole durable est une nécessité. L'objectif de cette contribution est de présenter un état de ces ressources et de livrer quelques réflexions sur les orientations possibles pour leur préservation.

#### L'ÉTAT DES RESSOURCES EN SOLS

Sur l'ensemble du territoire la surface agricole utile est de 7.6 millions d'ha et ne représente que 3 % du territoire. La SAU par habitant est passée durant ces 30

dernières années de 0.6 à 0.3 hahab ; au rythme de l'accroissement démographique actuel, ce ratio ne sera plus que de 0.15 en 2010. Ces ressources en sols déjà limitées en surface sont soumises à une série de dégradations. En effet, elles sont menacées par plusieurs facteurs naturels mais aussi par les pratiques liées à l'homme. Parmi les principales atteintes au patrimoine foncier, il convient de citer : l'érosion hydrique et la désertification.

### **L'érosion des sols : un phénomène chronique**

La situation particulièrement dégradée de l'espace montagnard n'est pas récente. Elle est l'héritage d'une histoire mouvementée qui a poussé à l'extensivité de l'agriculture dans des régions surpeuplées. L'espace cultivé, à l'échelle du pays, est passé en l'espace d'un siècle de 2 à plus de 7 millions d'hectares. Les écosystèmes forestiers et steppiques ont été bouleversés ; les surfaces forestières sont passées dans le même temps de 7 à 2.5 millions d'hectares. Si le phénomène pouvait être amorcé ici ou là, c'est surtout entre 1880 et 1920 que le grand mouvement de défrichement atteint son apogée (COTE, 1983). Ce mouvement qui a continué jusqu'à nos jours a fragilisé à la fois les sols de versants et ceux des hauts plateaux. La sensibilité de ces milieux est favorisée dans des zones fragiles qui sont principalement des pâturages excessivement exploités, des zones forestières dénudées, des terres en jachère, des bassins versants comportant des ravines et des rigoles et des terres marginales cultivées en céréales.

En conséquence, environ 6 millions d'hectares sont exposés à une érosion active ; la dégradation spécifique dans les bassins versants atteint 2000 tonnes/km<sup>2</sup>/an. Ce sont donc, en moyenne, 120 millions de tonnes de sédiments qui sont emportés annuellement par les eaux. Les conséquences directes d'un tel phénomène, sont d'une part la diminution de la fertilité des sols et la perte de surface cultivable et d'autre part l'envasement des barrages. La diminution annuelle de la capacité de stockage est actuellement évaluée à 20 millions de m<sup>3</sup>. On estime qu'en 2010, les barrages aujourd'hui en exploitation totalisant une capacité d'environ 3900 milliards de m<sup>3</sup> verront leur capacité diminuer de 24 % (BENBLIDIA, 1993).

### **La désertification**

Elle concerne spécifiquement les hauts plateaux qui sont actuellement dans un état de dégradation particulièrement avancé. En effet, un diagnostic sur l'état des parcours (CHETOUI et al, 1993) fait apparaître que leurs capacités productives ont nettement régressé particulièrement ces dernières années du fait de l'utilisation irrationnelle des terres et des moyens inadaptés pour leur exploitation. Les facteurs en cause sont bien connus ; ce sont : - La

surexploitation des parcours par un cheptel ovin conduit selon le système de la vaine pâture qui induit une forte régression du couvert végétal. - Une céréaliculture aléatoire qui progresse de manière anarchique sur de larges étendues par suite de défrichements incontrôlés facilités par le développement de la mécanisation : au moins le quart de la steppe exploitable a déjà été défriché.

Les effets cumulatifs de ces différents facteurs ont fini par produire des conséquences spectaculaires représentées par des phénomènes d'ensablement liés à l'érosion éolienne et qui engendrent ainsi la stérilisation de milliers d'hectares. Ces effets se sont aggravés par une succession d'années sèches qui ont fortement altéré les possibilités de régénération de la végétation. L'extension de paysages désertifiés se perçoit aujourd'hui par endroits par la formation de cordons dunaires mobiles qui menacent à la fois les terres agricoles et pastorales mais aussi les infrastructures (agglomérations, routes, voies ferrées, etc..). Ce diagnostic global sur l'état des ressources fait apparaître des tendances lourdes à leur dégradation. Face à cette situation, la mise en oeuvre de solutions est indispensable pour la sauvegarde des terres agricoles, compte tenu de l'exigüité de la SAU et de sa non extensibilité. Dans cette contribution, la réflexion sera exclusivement orientée sur la prise en charge des problèmes liés à l'érosion des sols, dans les régions montagneuses.

## **LES SOLUTIONS TENTÉES POUR LA MAITRISE DE L'ÉROSION**

### **La DRS et la rénovation rurale**

Le problème de l'érosion a été pris en charge depuis 1945 avec la création d'un service chargé de remettre en état les sols et de construire des ouvrages anti-érosifs dans des périmètres déclarés "d'utilité publique" pour la protection des infrastructures (barrages et ports), des agglomérations et des plaines agricoles. A l'époque, ce sont près de 8 millions d'hectares qui devaient être traités. La stratégie adoptée consistait à combiner la réalisation de banquettes destinées à dériver les eaux de ruissellement vers des exutoires et des techniques culturales au niveau des parcelles. Dans les faits, la priorité a été donnée aux aménagements à l'échelle des versants. Une telle décision était motivée par le fait que ces réseaux étaient considérés comme un moyen direct de réduction du ruissellement. Les techniques au niveau des parcelles devaient suivre par un effet de conditionnement des agriculteurs (TAABNI et KOUTI, 1993). Malgré les investissements lourds consentis, l'érosion a poursuivi son oeuvre de destruction des sols. Les raisons de l'inefficacité de cette stratégie sont liées d'une part à l'indifférence des agriculteurs, car non associés à ces programmes, et d'autre part à l'introduction et la généralisation d'une technique



d'aménagement sans aucune expérimentation préalable (AUBERT, 1986). Le constat d'échec de la DRS a été à l'origine d'un programme de rénovation rurale lancé en 1960. Ce programme se fixait comme objectifs de traiter 13 millions d'hectares en 15 ans ; les actions proposées étaient plus diversifiées et concernaient à la fois l'agriculture, l'élevage et les forêts dans des périmètres bien circonscrits (les zones d'organisation rurale). Le programme dans son ensemble n'a connu qu'une phase expérimentale dont la première opération a été le défoncement des sols pour en accroître la profondeur utile. Au delà des considérations techniques tout à fait discutables, la critique principale formulée à l'égard de ce programme est sa nature autoritaire (COTE, 1983).

### **Une stratégie alternative testée : l'agriculture de montagne**

Les actions de DRS et de rénovation rurale ont été progressivement abandonnées compte tenu de leur inadéquation au contexte physique et socio-économique. Il faut dire que les opérations réalisées ont rarement donné les résultats attendus par leurs promoteurs et ont d'ailleurs fait naître un certain scepticisme. A partir des années 1980, une nouvelle démarche a été mise en place. La stratégie proposée a été le fruit d'une réflexion associant les décideurs, les chercheurs et les praticiens ; cette réflexion a pris en compte : - les analyses de cas sur des réalisations en essayant de dégager les éléments positifs et négatifs de la démarche appliquée (ex : cas de Béni Slimane et de Zériba) ; - l'analyse et la prise en considération des résultats des pratiques anti-érosives traditionnelles ; - les premiers résultats de la recherche dans ce domaine. Concrètement, la nouvelle approche s'est traduite par l'abandon des programmes coercitifs tels que les réseaux de banquettes et leur substitution par des actions à caractère agronomique prenant en compte la conservation des sols et des eaux, notamment par l'aide au développement de l'arboriculture et de la viticulture, les améliorations foncières, la création de réserves fourragères et la réalisation de retenues collinaires. Sur cette base, une stratégie ciblée sur l'intégration de la lutte anti-érosive dans une démarche de développement de l'agriculture de montagne a été progressivement engagée. L'amorce de cette politique s'est faite par la mise en oeuvre d'un programme test sur une dizaine de périmètres recouvrant la diversité de ces milieux, durant le plan 1985- 89. Les programmes ont été élaborés sur la base d'un plan directeur d'aménagement agro-sylvo- pastoral auquel devaient être rattachées des réalisations d'infrastructures et d'équipements pour l'amélioration des conditions de vie des populations. Malgré la modestie des objectifs quantitatifs visés et l'insuffisance d'intégration spatiale des actions, il est certain qu'un mouvement d'adhésion s'est nettement manifesté parmi les populations concernées. La

difficulté majeure rencontrée dans la mise en oeuvre des projets a été l'insuffisance de coordination inter-sectorielle. Cette fonction devait être assurée par des offices d'aménagement et de mise en valeur créés à cet effet et qui n'ont pas eu les moyens suffisants pour assurer cette fonction. Leur dissolution ultérieure repose à nouveau le problème de la coordination à l'échelle d'entités dont les limites chevauchent le plus souvent sur 2 à 4 entités administratives. En complément à ces actions orientées vers les populations, de grands

travaux de reboisement et de correction torrentielle visant à assurer la protection des ouvrages hydrauliques ont été réalisés par l'administration. Dans le même temps des actions à moyen terme de nature à améliorer à la fois l'efficacité des techniques mais aussi la démarche globale ont été mises en oeuvre :

- Le bilan de 40 années de DRS : Entrepris dans le cadre d'un programme de coopération entre l'W et l'ORSTOM, il vise à tirer les enseignements de ces expériences et à aboutir à des conclusions objectives par une enquête nationale à 2 niveaux : L'enquête administrative en vue d'un inventaire exhaustif pour préciser la localisation des aménagements, leur état actuel, leur coût, la surface couverte ; L'enquête scientifique pour l'analyse plus fine des réussites et des échecs concernant les différents types d'aménagements.

- La mise en oeuvre d'un projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de Oued Mina en coopération avec la GTZ ; Lancé en 1984, ce projet avait pour objectifs de rechercher les méthodes adéquates pour lutter contre l'érosion des terres et l'envasement du barrage, de mettre en place des chantiers de démonstration en vue de sensibiliser des groupes cibles et enfin d'élaborer une planification intégrée pour la préservation des ressources en eau et en sols. - La réalisation d'un programme de recherches portant sur la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols : mené en liaison avec l'ORSTOM dans le cadre d'une convention, ce programme a été confié en 1985 à une équipe de chercheurs de l'INRF. Dans son contenu, le programme s'articulait autour de trois axes : 1 l'observation et la quantification des processus d'érosion ; 2 l'étude des systèmes de production et des pratiques culturales ; la mise au point de techniques anti-érosives.

Malgré tous les efforts engagés sur le terrain, la dégradation des ressources se poursuit à un rythme effréné. Cela tient d'une part à la modestie des programmes face à l'ampleur des phénomènes érosifs et d'autre part à la faible intégration d'une démarche de conservation des sols et des eaux au niveau des terres agricoles et pastorales. Face à cette situation, il est nécessaire et urgent de réfléchir à une stratégie à la mesure des enjeux actuels et futurs.

## **ELEMENTS DE REFLEXION POUR LA MAITRISE DE L'EROSION**

Une prise en charge efficace de la lutte anti-érosive nécessite une intervention à deux niveaux : 1 la mise en oeuvre d'une démarche appropriée à l'échelle du bassin versant ; 2 la maîtrise de l'espace montagneux, à travers une politique d'aménagement du territoire.

### **L'aménagement des bassins versants**

Les programmes de recherches et d'expérimentation réalisés entre 1986 et 1995 permettent aujourd'hui de disposer de solutions permettant à la fois d'intensifier la production en montagne et de préserver les sols des phénomènes d'érosion (ROOSE et al., 1993). Les données issues de ces travaux montrent la nécessité d'agir dans deux directions distinctes et complémentaires : - La maîtrise du ruissellement à l'échelle des parcelles agricoles et des pâturages. Les techniques préconisées visent l'amélioration de la couverture végétale et l'augmentation de la rugosité de surface, afin de favoriser l'infiltration de l'eau et de dissiper l'énergie des eaux de ruissellement. Il s'agit donc d'amener les agriculteurs à modifier leurs pratiques à travers une meilleure gestion de leur espace et des itinéraires techniques appropriés. - La réduction des transports solides par l'aménagement des ravines et des berges des cours d'eau, car il est établi aujourd'hui que les sédiments emportés par les eaux proviennent essentiellement du ravinement et du sapement des berges. Les aménagements viseront la maîtrise de la torrencialité par des constructions de seuils et la stabilisation des berges de ravins mais aussi celles des cours d'eau. Ces actions sont nécessairement à la charge de l'administration compte tenu de leur localisation, de leur nature et de leur finalité.

### **La maîtrise de l'espace**

La prise en charge de l'érosion est indissociable de l'aménagement de la montagne. Pensé longtemps en termes d'aménagements techniques, le problème de l'érosion est posé aujourd'hui en termes beaucoup plus larges de développement global d'une partie du territoire. La montagne doit être perçue à la fois comme "réservoir hydraulique" pour le nord du pays mais aussi comme "espace de vie". Cette approche s'impose car les conséquences de la dégradation des sols sont désastreuses non seulement pour la montagne elle-même mais également pour le territoire dans sa globalité.

### **- La montagne "réservoir hydraulique" :**

L'eau est un facteur limitant dans beaucoup de régions en Algérie. De ce fait, la construction de barrages est une nécessité pour l'approvisionnement en eau potable des populations et pour la satisfaction des besoins de l'agriculture et de l'industrie. Mais par la construction de barrages, on provoque une concentration dans

l'utilisation de la ressource en eau et en conséquence une concentration des pôles de développement. Cela engendre bien souvent des conflits d'usage entre les utilisateurs en aval des ouvrages. Mais vis-à-vis du problème de l'érosion, la réalisation des ouvrages a tendance à provoquer le renforcement de la marginalisation des populations situées en amont de l'ouvrage et cela peut conduire à une accélération de la dégradation du milieu (HONERMA", 1992). Du fait du grand nombre de barrages construits, en cours de réalisation ou projetés, c'est quasiment tout l'atlas tellien qui sert de bassin versant et donc de château d'eau pour le nord du pays. C'est la raison pour laquelle, les problèmes posés prennent une dimension régionale, d'autant qu'il y a un grand nombre de barrages construits nécessitant la prise en charge du problème de l'envasement et que les sites disponibles pour la construction de ces ouvrages sont limités. Le rôle stratégique des barrages dans l'économie nationale justifie pleinement que soit accordée la priorité à l'aménagement des bassins versants alimentant les barrages, en établissant une hiérarchie sur la base du rythme annuel d'envasement. **Comme il est clairement établi que les sédiments proviennent pour l'essentiel des zones en ravinement et non des zones cultivées ou des parcours (ROOSE et al., 1993 ; KOURI, 1993), il est nécessaire et urgent de développer des travaux de correction torrentielle et de stabilisation des berges.** De tels programmes ont été engagés depuis longtemps avec un niveau d'efficacité fort appréciable parmi lesquels on peut citer les bassins versants de Sly (Chleff) et celui d'Isser-Sikkak (Tlemcen).

### **-La montagne "espace de vie"**

L'analyse historique de la dégradation des milieux montrent clairement qu'elle a été la conséquence d'une paupérisation des populations montagnardes. C'est pourquoi, la montagne mérite également d'être considérée pour elle-même, c'est à dire comme un espace de vie . A ce titre, cet espace territorial doit bénéficier d'investissements pour le maintien des populations qui, à leur tour, pourront dans le cadre d'une politique agricole spécifique préserver et valoriser au mieux les ressources. Les orientations d'un tel développement restent à consacrer dans le cadre d'une politique d'aménagement du territoire qui visera non seulement à promouvoir une agriculture de montagne moderne intégrant le souci de conservation des sols et des eaux mais aussi à diversifier les activités économiques de nature à créer des revenus complémentaires pour les populations qui y vivent.

## **CONCLUSION**

La sauvegarde des terres agricoles est vitale pour l'avenir compte tenu de l'exiguité de la SAU. Il est essentiel de redonner à la terre agricole sa valeur de facteur rare et d'assurer sa gestion de manière

rationnelle. Les différentes actions tentées sur le terrain, avec leur cortège de succès et d'échecs, et les données acquises par la recherche mais aussi dans le cadre de projets pilotes permettent aujourd'hui d'avoir le recul suffisant pour proposer les Cléments nécessaires à l'élaboration d'une nouvelle stratégie de lutte anti-érosive basée sur une gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (la GCES). Cette nouvelle doctrine semble constituer la réponse la plus appropriée pour une gestion durable des sols en milieu montagnard. Mais, l'acteur des changements attendus étant ici l'agriculteur, une démarche de partenariat associant la profession agricole, les agriculteurs et l'administration est indispensable pour engager les changements nécessaires. Cependant, cela ne sera sans doute pas suffisant pour atteindre les objectifs recherchés, si une telle démarche n'est pas accompagnée d'une politique de développement de la montagne.

#### BIBLIOGRAPHIE

ARABI (M.), 1991 - Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen (Médéa, Algérie). Thèse géographie, univ. Grenoble, 272 p. AUBERT (G.), 1986 - Réflexions sur l'utilisation de certains

types de banquettes de "Défense et Restauration des Sols" en Algérie. Cah. Orstom, sér. Pédol., 22 (2) : 147- 151.

BENBLIDIA (M.), 1993 - "Eau et développement durable". In : Colloque Maghrébin Eau et Développement Durable, Alger, Algérie. CHETOUI (Z.), BENREBIHA (A.), HEDDADJ (D.), 1993 - Présentation de la steppe algérienne. In : Compte Rendu de la Réunion sur la steppe Nord-Africaine, IAM, Saragosse.

COTE (M), 1983 - L'espace algérien. Les prémices d'un aménagement. Alger, OPU, 278 p. HONERMA" (H.), 1992 - "La socio-économie et l'érosion". In : Séminaire de planification du projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de l'Oued Mina, Relizane, Algérie.

KOURI (L.), 1993 - L'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'Oued Mina (Algérie). Thèse géographie, univ. Strasbourg, 238 p. MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, 1995 - "Demain l'Algérie". L'état du territoire. La reconquête du territoire. Alger, OPU, 432 p.

ROOSE (E.), 1994 - Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bull. Pédol. FAO, 70,420 p.

ROOSE (E.), ARABI (M.), BRAHAMIA (K.), CHEBBANI (R.), MAZOUR (M.), MORSLI (B.), 1993 - Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Cah. Orstom, sér. Pédol., 28 (2) :289-308. TAABNI (M.), KOUTI (A.), 1993 - Stratégies de conservation, mise en oeuvre et réactions du milieu et des paysans dans l'ouest algérien. Bull. Réseau Erosion, 13 : 215-229.

Y- 175 /

## EROSION HYDRAULIQUE EN ALGERIE DU NORD: AMPLEUR, CONSEQUENCES & PERSPECTIVES

Mohammed ACHITE<sup>1</sup>, Bénina TOUAIBIA<sup>2</sup> & Sylvain OUILLON<sup>3</sup>

1-Université des sciences et de la technologie d'Oran, Département d'Hydraulique, El M'Naouar, B.P 1505, ORAN (31000), Algérie. E-Mail: [achite\\_meddz@yahoo.fr](mailto:achite_meddz@yahoo.fr) - Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique ( E.N.S.H), B.P 31. Blida (09000) (Algérie) 3-Institut de Recherche pour le Développement, BP A5, 98848 NOUMEA cedex, Nouvelle Calédonie.

**Résumé** L'érosion hydrique reste un problème majeur en Algérie Septentrionale dont le principal facteur est le ruissellement dont la répartition spatiale est contrôlée par celles des précipitations, des caractéristiques géologiques et biophysiques (topographie, couvert végétal,...). L'érosion se manifeste principalement sur les sols en pente et constitue une des principales causes de dégradation des sols dans les massifs montagneux en zones semi-arides.

Elle s'est accélérée suite aux défrichements des forêts et maquis qui protégeaient les sols sensibles. L'intensité de l'érosion hydrique varie d'une zone à l'autre. La partie Ouest du pays est la plus érodée, où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres; suivie du Centre (27%) et de l'Est (26%). L'érosion spécifique varie de 2000 et 4000t/km<sup>2</sup>.an et le taux d'envasement est supérieur à 15 %. L'Algérie est, de ce fait l'un des pays les plus menacés dans le monde par l'érosion. L'objectif de cette étude est de présenter l'ampleur de l'érosion en Algérie du Nord et d'en analyser les conséquences. Les résultats de cette analyse permettront de classer les zones étudiées et de définir des ordres de priorités en matière d'aménagements anti-érosifs.

#### Introduction

L'érosion hydrique est un phénomène complexe par son caractère irrégulier, aléatoire et par sa discontinuité spatio-temporelle. En raison de son ampleur et son agressivité, elle constitue une contrainte majeure au développement de l'agriculture et à la promotion des activités rurales. Ce phénomène, est caractéristique dans la région du Maghreb dont les potentialités en eau et en sol sont sérieusement menacées (Heush et al., 1971; Demmak, 1982; Lahlou,1994; Touaibia et al., 2001; Meddi, 1992; Terfous et al., 2003; Achite et al., 2005). Les quantités

de sédiments transportés en suspension susceptibles de se déposer dans le littoral méditerranéen des côtes Algériennes sont estimées à 47 millions tonnes par an (Probst et al., 1992).

En Algérie du Nord, particulièrement l'Ouest du pays, les dispositions socioéconomiques, comme d'ailleurs les conditions hydroclimatiques sont naturellement réunies pour intensifier et favoriser le déclenchement de ce mécanisme néfaste qui potentiellement menace l'équilibre de l'environnement tant à l'échelle régionale que locale (Dekiche et al., 1997).

L'érosion hydrique affecte 28 % des terres de l'Algérie du Nord. Ce sont les terres à fortes pentes des massifs telliens qui sont les plus touchées. L'érosion se manifeste par la formation de rigoles et de ravines sur tout le versant avec affleurement de la roche-mère et une évolution en bad-lands (Hadjiat, 1997).

En général, l'érosion spécifique varie entre 2000 et 4000 t/km<sup>2</sup>.an (Demmak, 1982), L'Algérie est de ce fait l'un des pays les plus menacés dans le monde par l'érosion. L'intensité de l'érosion hydrique varie d'une zone à l'autre. La partie Ouest, où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres, est la région la plus érodée du pays; viennent ensuite les régions du Centre (27%) et de l'Est (26%) (Ministère de l'environnement et l'aménagement du territoire, 2000). L'objectif de cette étude est de présenter l'ampleur de l'érosion en Algérie du Nord et d'analyser les conséquences. Les résultats de cette analyse permettront de classer les zones étudiées et de définir des ordres de priorités en matière d'aménagement anti-érosif.

## II. Description générale de l'Algérie du Nord

Les limites naturelles de l'Algérie sont la Mer Méditerranée au nord (1200 km), le Maroc à l'ouest, la Tunisie et la Libye à l'est, la Mauritanie et la Sahara Occidental au sud-ouest et finalement le Mali et le Niger au sud. Le méridien d'origine (Greenwich) passe à proximité de la ville de Mostaganem.

Par sa superficie (2.381.741 km<sup>2</sup>), l'Algérie après le Soudan, est le deuxième plus grand pays d'Afrique et du monde arabe. Les distances y sont très grandes, environ 2000 km de la côte méditerranéenne au massif du Hoggar et 1800 km d'In Amenas à l'est jusqu'à Tindouf à l'ouest.

Du point de vue climat, l'Algérie, qui est un pays soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude, présente un climat de type méditerranéen caractérisé par des pluies torrentielles; irrégulières aussi bien dans l'espace que dans le temps. Ces pluies sont nettement fréquentes en automne lorsque le couvert végétal est absent et le sol ameubli par les labours, le transport solide atteint ces valeurs maximales (Touibia, 2002; Achite et al, 2005; Arabi et al., 1989). Ces précipitations accusent une grande variabilité mensuelle et surtout annuelle. Cette variabilité est due à l'existence de gradients (Djellouli, 1990). La lithologie de la région est principalement formée de plus de 75% des argiles et des limons.

14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19, 2006 (ISCO 2006).

Figure 1 : L'Algérie du Nord : situation et implantation des barrages en exploitation

(ANB,2005)

Le Nord du pays étant essentiellement montagnard, les conditions physiques, géomorphologiques sont particulièrement favorables au déclenchement et à l'accélération du phénomène d'érosion. En effet, les régions des montagnes s'étendent sur une superficie de 7565000 ha, dont 63% sont situés à plus de 800 m et le ¼ des terres présente une pente supérieure à 25% (Mahieddine, 1997).

L'Algérie du Nord est soumise à des fortes pressions en homme et en bétail qui ont engendrées une sérieuse dégradation des sols et de la couverture végétale. Nous estimons pratiquement à plus de 20 millions d'hectares les terres sont touchées par l'érosion particulièrement dans les zones montagneuses où sont implantés plus de 90% des barrages (Mazour et al, 2002).

Le couvert végétal et sa discontinuité spatiale sur les bassins versants font que les sols restent souvent sans protection. Les formations forestières couvrent 4,1 millions d'hectares (Ghazi et al, 1997). Cette fragilité écologique amplifie grandement les résultats de la dégradation.

## II. Conséquences de l'érosion hydrique en Algérie du Nord

Les conséquences de l'érosion hydrique en Algérie du Nord sont dramatiques ; nous pouvons citer permis eux:

- Réduction de la production agricole (pertes en sol agricole) ;
- Une dégradation spécifique dépassant les 5000 t/km<sup>2</sup>/an ;
- Une quantité de 120 millions de tonnes de sédiments rejeté en mer chaque année par les bassins tributaires de la méditerranée ( Demmak, 1982) ;
- Un exode rural important ;
- Un rehaussement des lits des oueds provoquant par la suite des inondations, menace les voies de communication et les ouvrages d'arts,...
- L'envasement précoce des barrages en exploitation.

Bouraba, en 2002, dans une étude de synthèse a montré l'ampleur de ce fléau, tout en justifiant par la présentation des chiffres alarmants de dégradation spécifique dans le nord de l'Algérie. L'étude a porté sur plus de 35 bassins versants ; le calcul est établi sur des cycles hydrologiques différents, généralement, sur un cycle au moyen. L'érosion spécifique varie annuellement de 307 à 5453 t/km<sup>2</sup> dans le bassin de Cheliff, de 1557 à 9397 t/km<sup>2</sup> dans le côtiers Algérois, 3990 t/km<sup>2</sup> dans l'Isser, 248 t/km<sup>2</sup> dans le Soummam, 252 à 10375 t/km<sup>2</sup> dans le côtiers Constantinois, 742 t/km<sup>2</sup> dans le Sybouse, 782 t/km<sup>2</sup> dans Kebir Rhumel,

164 à 5153 t/km<sup>2</sup> dans le Chott Hodna, 794 à 2621 t/km<sup>2</sup> dans le haut plaine Constantinois, 838 à 1260 t/km<sup>2</sup> dans le Chott Melhir, 938 t/km<sup>2</sup> dans le Cotiers Oranais et de 301 à 406 t/km<sup>2</sup> dans la Tafna.

### III. Collecte des données

Sur la base de la documentation existante au niveau de l'Agence Nationale Des Barrages (A.N.B), la collecte des données et leur traitement a porté sur l'état de l'envasement de 50 barrages en exploitation. Ces barrages sont répartis sur tout le territoire national (Est, Centre et l'Ouest).

Pour ces barrages, un fichier est créé avec le nom, la wilaya, la capacité initiale (C.I), la capacité du dernier levé bathymétrique (C.D.L), le taux d'envasement (T.E), le volume régularisé (V.R) et la destination. Ces cinquante barrages en exploitation, totalisent une capacité de 5,09 milliards de m<sup>3</sup> pour un volume régularisé garanti de 2,08 milliards de m<sup>3</sup> d'eau. Ces volumes sont répartis sur les régions du pays d'une façon différente, soit 1,37 milliards de m<sup>3</sup> pour la région de l'est, 1,72 et 1,99 milliards de m<sup>3</sup> respectivement pour la région du centre et la région ouest du pays. Selon les derniers levés bathymétriques effectués par l'Agence Nationale des Barrages en 2003, les capacités de stockage deviennent beaucoup moins inférieures, soit 1,21 milliards de m<sup>3</sup> des barrages de la région Est, 1,44 et 1,61 milliards de m<sup>3</sup> pour le centre et l'ouest.

Il en ressort, que le taux d'envasement moyen est de 16,33% pour l'ensemble des barrages, soit 12,21% pour les barrages de la région Est, 16,47 et 19,08% pour les barrages de la région centre et ouest du pays. Il en ressort de cette analyse que le taux d'envasement des barrages suit la logique de taux d'affectation des sols par l'érosion hydrique (47% pour les régions ouest, 27% et 26% pour le centre et l'est).

L'ampleur de ce phénomène varie selon les régions et les barrages. Ainsi, pour la région de l'Est, l'envasement dépasse les 50% pour les barrages Ksob (M'Sila), Foum El Gherza (Biskra) et Foum El Gueiss (Khenchela). Dans le centre, l'envasement dépasse les 40% pour le barrage de Ghrib (Ain Defla) et le barrage de Oued Fodda (Chlef). Ce taux dépasse aussi les 40% pour les barrages de Bouhnifia et Fergoug à Mascara.

### IV. Moyens de lutte contre l'érosion et l'envasement des barrages

Les moyens de lutte utilisés surtout en Algérie sont : Le reboisement, la restauration des sols, l'implantation des banquettes, la création des petit barrages (retenues collinaires), la plantation des cultures suivant les lignes de niveau, la plantation des végétation à longue tiges dans les oueds.

Il a signalé qu'un programme spécial de lutte contre l'érosion a été lancé par les services des forêts. Une

superficie de 1,5 millions d'hectares sera traitée d'ici 2010, à un rythme de 6700 ha par an (Djezizi, 1998). Pour l'envasement des barrages, plusieurs dispositifs ont été mis en place pour lutter contre ce phénomène (méthodes de chasses, soutirage par courant de densité et dragage).

### Conclusion

Bien que l'érosion hydrique a été étudiée pendant de longues années en Algérie, cela n'a pas empêché que beaucoup de choses restent inconnues, les problèmes déterminants de l'érosion sont multiples. L'érodibilité des sols et comme elle peut varier sous différentes conditions mérite une meilleure compréhension afin de nous aider à réduire les pertes en eau et en sol. L'envasement des barrages ne peut être considéré comme un mal inéluctable. Mais c'est un phénomène inévitable, qu'il faudrait introduire dans les calculs technicoéconomiques.

**Sources :** 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19, 2006 (ISCO 2006).

#### Références bibliographiques

- Achite M. & Meddi M. (2005) Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi aride. Cas du bassin de l'oued Mina (nord ouest Algérien Rev. Sci. Eau. 18 (spécial), pp : 37-56.
- Arabi M. & Roose E. (1998) Influence du système de production et du sol sur l'érosion et la ruissellement en nappe en milieu montagnard méditerranéen (station de Ouzera). Bulletin Réseau Erosion N°, IRD, Montpellier (France).
- Bouraba M. (2002) Comparaison de la charge solide en suspension dans les oueds Algériens : Essai de synthèse. Bulletin Réseau Erosion 21, IRD Montpellier (France), pp : 358 – 374.
- Dakich A., Bekhadi A. & Hammoum A. (1997) Evaluation de la sensibilité des sols à l'érosion par télédétection et SIG. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (Algérie), 32 p
- Demmak A. (1982) Contribution à l'étude de l'érosion et des transport solides en suspension en Algérie septentrionale. Thèse de docteur-Ingénieur, Univ. Paris IV, France.
- Djellouli Y., 1990.- Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes. Thèse Doct. Sciences, USTHB., Alger, 210 p
- Hadjiat K., 1997.- Etat de dégradation des sols en Algérie. Rapport d'expert PNAE, Banque Mondiale, 45p.
- Heusch B. & millies-lacrois A. (1971) Une méthode pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin : application au Maghreb. Mines et géologie 33, pp : 21-39.
- 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19, 2006 (ISCO 2006).
- Lahlou A. (1994) Envasement des barrages au Maroc. Casablanca (Maroc) ; Editions Wallada, 277p.
- Mahieddine M.. (1997) Quantification et variabilité parcellaire sous simulation de pluie dans le bassin versant de l'Oued Mina. Thèse de Magister. Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques. Alger. 120p.
- Mazour M. & Roose E. (2002) Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur parcelles d'érosion dans des bassins versants du Nord – Ouest de l'Algérie. Bulletin Réseau Erosion 21, IRD, Montpellier (France), pp: 320-330.
- Probst J.L. & Amiotte Suchet P. (1992) Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb. Hydro. Sci. J. 37(6), pp: 621-637. Ministère de l'environnement et

l'aménagement du territoire (2000) Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, 95p.

Terfous A., Meghnoufi A. et Bouanani A. (2001) Etude du transport solide en suspension dans l'Oued Mouilah (Nord Ouest Algérien). Rev. Sci. Eau. 14 (2) : 173 – 185

Touabia B., Aidaoui A., Gomer Dieter & Achite M. (2001) Quantification et variabilité de l'écoulement solide en zone semi aride, de l'Algérie du Nord. Revues des sciences hydrologiques, 46(1), pp : 41-53.

## CONSEQUENCES DE L'EROSION 39

## PROBLEMATIQUE DE L'EROSION ET DU TRANSPORT SOLIDE EN ALGERIE SEPTENTRIONALE

Bénina Touaibia 2010

École nationale supérieure de l'hydraulique Laboratoire d'hydrologie BP 31 09000 Blida Algérie  
[touaibiabenina@yahoo.fr](mailto:touaibiabenina@yahoo.fr) Sécheresse vol. 21, n° 1e, 2010

**Résumé** Les pertes en sols des terres, leur transport et sédimentation dans les infrastructures hydrauliques, hydro-agricoles, portuaires, routières... ont poussé les décideurs à examiner de plus près cette problématique, vu son ampleur et les conséquences qu'elle engendre face aux changements climatiques attendus. Des outils d'investigation ont été mis en œuvre pour tenter de maîtriser le phénomène, malheureusement les sols continuent à se dégrader malgré une lutte antiérosive intensive entreprise à l'échelle des bassins-versants des barrages en exploitation, dans une première phase. Le phénomène a atteint un stade parfois irréversible. Toutes les formes d'érosion y sont associées, laissant des paysages désolés. Le phénomène s'est accru et s'amplifie aussi bien dans l'espace que dans le temps, aggravé en maints endroits par le changement climatique. Des alternances d'inondations torrentielles et de sécheresses prolongées sont observées. Conjugées à une action anthropique non contrôlée (incendies, défrichement, surpâturage...), elles rendent le bassin d'alimentation et le réseau d'écoulement très vulnérables au phénomène érosif. Cette problématique complexe reste difficile à quantifier. Si à l'échelle de la parcelle ce phénomène est maîtrisable, il l'est moins à l'échelle du bassin-versant. L'insuffisance ou l'absence de données de jaugeage et de teneurs en sédiments rend plus complexes la connaissance et l'identification du phénomène. Seules des synthèses régionales et des études bathymétriques peuvent permettre d'identifier les zones productrices de sédiments et d'élaborer des cartes ou des abaques d'aide à la décision. Tous nos travaux de recherche sont axés sur ce type d'approche et cet article propose une synthèse des résultats obtenus dans le contexte algérien en zone semi-aride.

L'érosion, le transport des matériaux arrachés au bassin d'alimentation et au réseau d'écoulement, leur dépôt dans les infrastructures hydrauliques, hydro-agricoles, portuaires et routières sont un ensemble de phénomènes dont la complexité à l'échelle du bassin reste difficile à mettre en équation du fait de la diversité des facteurs aussi bien naturels qu'anthropiques mis en jeu. Si dans certains pays, les stratégies développées à travers aussi bien des techniques agronomiques (gestion conservatoire de l'eau et du sol à l'échelle de la parcelle) [1], que des mesures hydrauliques (à l'échelle des petits bassins) [2] ont montré leur efficacité, dans d'autres pays, des échecs considérables ont été enregistrés, dus essentiellement à une forte croissance démographique et à une politique non adaptée suite à l'évolution des sociétés en pleine mutation. Cette conjoncture a créé des déséquilibres régionaux amplifiant l'exode rural, et a livré les terres au morcellement foncier, à une sur exploitation et un surpâturage intenses, engendrant ainsi leur appauvrissement et leur dégradation. Devant ces changements d'états de surface, les conditions du ruissellement ont évolué sur les bassins, modifiant le relief en accentuant l'érosion dont les conséquences sont bien visibles, notamment sous les climats semi-

arides. Les changements climatiques vont contribuer à accélérer l'érosion surtout sur la rive sud du Bassin méditerranéen, où des périodes d'inondations torrentielles et de sécheresses sont observées. Le développement durable d'un pays passe par la maîtrise de son patrimoine eau-sol. Le traitement des bassins contre l'érosion est impératif, et l'impact des aménagements dans la maîtrise du ruissellement sera bénéfique tant au niveau de la parcelle qu'à l'échelle du bassin-versant.

**Historique**

De nombreuses sociétés rencontrent des problèmes de dégradation du milieu liés à différents types d'érosion [3] et chacune d'elles, selon ses spécificités régionales et naturelles, a tenté de trouver une solution pour freiner le phénomène. En plus des phénomènes naturels, d'autres facteurs, tels les guerres [4], les colonisations, les incendies, sont entrés en jeu et ont amplifié l'action érosive de l'eau. Les techniques de la lutte antiérosive se sont développées empiriquement depuis des siècles. Les premières recherches scientifiques ont commencé en Allemagne dans les années 1890 avec les premières parcelles expérimentales [2]. C'est entre 1925-1930,

après la Première Guerre mondiale, que l'idée de restaurer les sols est apparue en Amérique d'abord, avec la défense et restauration des Sols (DRS) axée sur la conservation de l'eau. Dans les années 1850, en France, apparaît la pratique de la restauration des terrains de montagne (RTM) [1]. Plusieurs travaux ont été réalisés, notamment ceux de Wischmeier et Smith, établissant une équation universelle des pertes en sols sur les terrains cultivés reposant sur l'intensité de la pluie et l'énergie cinétique des gouttes d'eau [5]. Dans les années 1940, apparaît la lutte antiérosive dans le Bassin méditerranéen, qui continue à se pratiquer jusqu'aux années 1990, mais qui aboutit souvent à des échecs en Algérie. On peut citer l'exemple des banquettes réalisées lors de la période coloniale et après l'indépendance, sur plus de 66 000 hectares de terres cultivées, plus précisément sur des marnes et des argiles, qui sont actuellement dans un état de dégradation très avancée [6]. La reforestation de 800 000 hectares (barrage vert) et de 350 000 hectares aménagés en banquettes entre 1962 et 1973, n'a pas amélioré la situation. Malgré 50 années de lutte antiérosive, les sols continuent à se dégrader [7]. Plusieurs zones pilotes ont été créées, à partir des années 1970 (Médéa, Mascara, Mina, Tlemcen) afin d'évaluer le phénomène érosif. Dans le bassin-versant de la Mina par exemple [8], en 1995, les résultats ont montré que l'érosion par ravinement du réseau d'écoulement est très intense par rapport à l'érosion en nappe des surfaces cultivées ou en jachère [9]. L'érosion en ravines du réseau hydrographique peut provoquer une exportation de matériau jusqu'à 100 fois plus importante que celle issue de l'érosion en nappe [10]. Avec une érosion spécifique annuelle moyenne variant entre 2000 et 4 000 t/km<sup>2</sup>, l'Algérie est classée parmi les pays aux sols les plus érodibles du monde. On compte en moyenne annuellement entre 1 et 2 millions de m<sup>3</sup> le volume de sédiments arraché au bassin et déposé en mer pour les seuls bassins tributaires de la Méditerranée [11]. Certaines régions productives en sédiments ont dépassé le seuil critique [2]. L'érosion hydrique pose de graves problèmes sociaux, poussant la population à exoder, suite à la réduction de la surface agricole utile (SAU). Face à de graves pénuries d'eau, à un envasement précoce de plus de 50% des barrages et à une dégradation croissante de la qualité des eaux, une nouvelle politique de l'eau s'est instaurée, ces dernières années, en favorisant, techniquement et financièrement, les aménagements des bassins-versants, seul moyen pour freiner le ruissellement et augmenter la capacité de stockage des sols réservoirs (sol et barrages), face aux événements climatiques catastrophiques qu'il est impossible de contrôler.

### **Problématique de l'érosion et du transport solide**

L'aspect le plus important de l'érosion est l'érosion pluviale et plus précisément l'érosion par ruissellement. Les terrains étant nus (déboisement, jachère, labour...), le ruissellement qui fait suite aux averses torrentielles décape progressivement les horizons supérieurs du sol. La lame d'eau, en mouvement le long des versants, se divise progressivement en filets d'eau, qui se regroupent dans les petites dénivellations du sol. Concentrée, cette lame déploie une force permettant d'arracher les obstacles. Emportés par l'eau, ces derniers, vont augmenter la faculté d'érosion, qui se voit amplifiée avec l'épaisseur de la lame d'eau ruisselée, la longueur et la pente du versant. Les inondations de Bab El-Oued (Alger) en novembre 2001, où plus d'un millier de personnes ont péri, ensevelies dans la boue, en sont un exemple. Sur 2,6 millions de m<sup>3</sup> ruisselés, un volume de 800 000 m<sup>3</sup> de sédiments arrachés au bassin a transité via l'écoulement pour se déposer dans les parties basses de la ville et atteindre une hauteur de vase dépassant 3 m par endroits [12].

Les facteurs favorisant l'érosion sont nombreux : pente, nature des roches, relief, climat, et homme en fin de chaîne. En région méditerranéenne, et notamment en zone semi-aride, le climat est le premier responsable du phénomène avec les variations spatio-temporelles brusques observées de la pluie et des écoulements, l'action du gel et du dégel, le pouvoir évaporant du sirocco. En Algérie, le climat est très agressif avec des pluies très irrégulières. Les pluies torrentielles sont fréquentes en automne, avec des intensités dépassant souvent 45 mm/h, au moment où la couverture végétale est absente, engendrant, en des temps de concentrations des eaux très courts, des crues fortes, rapides et chargées de sédiments, dont les conséquences, ont des répercussions directes, tant à l'amont par des pertes de sols et des ravinements qu'à l'aval par des inondations et des dépôts de sédiments (routes, autoroutes, barrages, plages, etc.), des pertes de vies humaines et matérielles, et, bien évidemment, le détarage de stations hydrométriques. Les facteurs anthropiques ont participé de façon remarquable à la dégradation des sols par les incendies, les défrichements, le morcellement du foncier, le surpâturage, ... rendant les bassins-versants très vulnérables au ruissellement. D'après une étude faite par Avias [13], lorsque 800 moutons passent dans un champ un jour de pluie, il ne reste plus d'herbe, ni même de racines d'herbe et, si la pente est suffisante, il se déclenche une érosion par ruissellement et par ravineaux et ravins dont certains peuvent dépasser 1 m de profondeur.

### **Résultats et conséquences de l'érosion hydrique**

L'ampleur de l'érosion et ses stades d'évolution confèrent à la nature des paysages très différents les uns des autres, passant graduellement de la griffe au



ravinement. Les résultats de l'érosion pluviale se traduisent par des paysages empierrés, des glissements de terrains, des mouvements de masse, un ravinement intense et des envasements des infrastructures de mobilisation d'eau.

Les conséquences sont d'autant plus graves que l'érosion est active dans les régions exemptes d'aménagements, engendrant des pertes économiques très importantes (inondations et asphyxies des terres cultivées, envasement de barrages...) en provoquant un régime d'écoulement torrentiel. Sur le bassin d'alimentation, le transport solide provoque un colmatage superficiel des sols (sols lourds) et augmente le ruissellement aux dépens de l'infiltration. L'érosion va contribuer au changement progressif du relief, en accentuant les pentes, en provoquant des ravinements intenses et en accélérant la formation du réseau hydrographique au profit des surfaces arables. L'envasement des barrages, l'affouillement et le comblement des lits d'oueds sont spectaculaires en Algérie. La vitesse de colmatage des ouvrages d'art est variable d'un barrage à un autre selon la force de l'érosion et de la lame ruisselée [14]; la durée de vie d'un barrage est estimée à une trentaine d'années [15]. Un cas frappant de sédimentation a été étudié. Durant les mois de juin et juillet 2002, 45 000 m<sup>3</sup> de vase consolidée ont été enlevés d'un barrage de prise, après avoir mobilisé toutes les infrastructures du périmètre d'irrigation de la Mitidja ouest [16] (voir figure 1 par exemple). L'érosion par ravinement du réseau d'écoulement, qui peut représenter à elle seule plus de 50% de l'apport solide annuel, est la forme d'érosion la plus grave en Algérie. Des lâchers d'eau de barrage peuvent facilement augmenter l'apport de sédiments: c'est le cas du barrage de Bakhadda, où nous avons observé pour la seule année 1994-1995 au droit de la station de l'oued El-Abtal, un apport de sédiments représentant cinq fois l'apport moyen interannuel [17]. Vu la gravité du phénomène et pour prolonger leur durée de vie, une étude a été entreprise en 2001 [18], sur 15 barrages en exploitation (figure 2), dont la capacité dépasse 100 Mm<sup>3</sup> chacun (tableau 1). La perte de capacité au profit de la vase, sur une période d'exploitation d'une dizaine d'années, est estimée à 734 Mm<sup>3</sup>, ce qui représente 25% de la capacité totale de la totalité des barrages et touche plus de 50% de ces barrages. Sur les 15 barrages étudiés (figure 3), 7 d'entre eux ont vu leur volume mort dépassé. Il s'agit du volume qui sera rempli de sédiments pendant la période d'exploitation du barrage. Il est calculé sur une

A B

Figure 1. Photos d'envasement d'infrastructure hydraulique. A) cuvette du barrage de dérivation; B) entrée d'une station de pompage.

Figure 2. Implantation des barrages étudiés. Of: Oued

Fodda; Gh: Ghrib; Ch: Cheffia; Sm: Sidi M. Bénaouda; Gu: Guenitra; De: Deurdeur; Sy: Sidi Yacoub; Az: Ain Zada; Bo: Bouroumi; Ou: Ouizert; Hd: Hammam Debagh; Ke: Keddara; Sa: Sidi Abdelli; Ga: Gargar; Oc: Oued Cherf.

période d'exploitation donnée du barrage (en général 50 ans pour les grands barrages). C'est un volume qui ne participe pas à l'exploitation du barrage. Dans le cas de figure en question, le phénomène concerne les barrages Of, Gh, Ch, Sm, De, Sa, Bo. Pour les barrages, ayant plus de 50 années d'exploitation (Of et Gh), il est difficile de parler d'envasement, même si leur capacité utile est affectée puisque la période pour laquelle le volume mort a été calculé est atteinte. Cependant, les barrages affectés sont ceux qui ont une période d'exploitation de moins de 25 ans. Deux approches adoptées ont permis d'estimer la vase déposée dans les cuvettes de barrages: l'une se fonde sur le taux de rétention des sédiments  $Tr$  et l'autre sur l'observation. Exprimé en pourcentage de matériaux solides retenus ou décantés,  $Tr$  est défini comme étant le rapport entre la quantité de sédiment déposée et les apports solides totaux. La méthode de Brune, qui fait intervenir la capacité de la retenue et les apports liquides moyens annuels [19] et donne un  $Tr$  propre à chaque retenue dépassant les 96%, a été adoptée pour les barrages choisis. Sur la base de  $Tr$ , la quantité de sédiments déposés annuellement est corrigée. Asc corrigé, ce qui permet de calculer le volume solide  $V_{s\text{estimé},2001}$  retenu dans le barrage. En prenant le taux de rétention pour base, le volume des sédiments a été estimé et comparé, comme le montre le tableau 2. Les observations de mars 2001 ont permis, -d'une part, d'identifier le niveau de vase dans les 15 barrages pour une meilleure prise en charge du problème d'envasement, -et, d'autre part, de comparer la réalité avec les valeurs des apports solides tirées des avant-projets détaillés (APD).

La quantité de vase déposée ou volume solide  $V_{s\text{obs},2001}$  figure dans le tableau 2. La perte en capacité (tableau 2) au profit de la vase est estimée à 734 Mm<sup>3</sup>, soit environ 25% de la capacité totale. Les valeurs de l'apport solide calculées sur la base de l'observation  $A_{s\text{obs},2001}$  sont très significatives relativement à celles tirées des APD. L'écart entre les volumes solides estimés et observés est de 229 Mm<sup>3</sup>, soit une erreur de 31%, ce qui reste évidemment très appréciable. La visualisation de cet écart est représentée dans la figure 4 pour les 15 barrages. Sur la base de la valeur de l'apport solide observé annuellement  $A_{s\text{obs},2001}$  (tableau 2), le délai de service de chaque barrage est calculé (tableau 3). Pour une durée d'exploitation de moins de 30 ans, 4 barrages seront complètement envasés si une

protection n'est pas mise en place, perdant ainsi une capacité de 858 Mm<sup>3</sup>. Le barrage de Deurdeur est le plus affecté : théoriquement, en 2028, la vase devrait avoir atteint le niveau normal de la retenue, qui sera donc complètement envasée. Une étude très approfondie sur l'érosion hydrique a permis d'identifier les différentes formes d'érosion et de déterminer la plus agressive, sur différentes échelles spatiales allant de 1 m<sup>2</sup> à 5 000 km<sup>2</sup>, à savoir: simulation de la pluie sur 1m<sup>2</sup> et 87 m<sup>2</sup>, application de l'équation universelle des pertes en sol sur des parcelles de 8x22 m, les microbassins expérimentaux de l'ordre de l'hectare, les retenues collinaires, les bassins-versants au droit des stations hydrométriques et au droit d'un barrage [17]. L'estimation de l'érosion spécifique et l'identification de la forme d'érosion à différentes échelles spatiales sont récapitulées dans le tableau 4.

Tableau 1. Caractérisation des écoulements au droit des sites.

Nom du barrage	Mise en service	Surface (km <sup>2</sup> )	Apport liquide (Mm <sup>3</sup> )	Coefficient écoulement	Erosion spécifique (t/ha/an)	
Oued Fodda*	(Of)	1932	800	120,0	0,23	24,00
Ghrib*	(Gh)	1939	2 800	148,5	0,14	7,50
Cheffia*	(Ch)	1965	575	138,0	0,26	27,13
Sidi M. Be'naouda*	(Sm)	1978	4 900	120,0	0,42	3,36
Guenitra	(Gu)	1984	202	55,0	0,32	8,37
Deurdeur	(De)	1985	468	45,0	0,10	23,06
Sidi Yacoub	(Sy)	1985	920	98,0	0,17	14,90
Ain Zada	(Az)	1986	1 070	90,0	0,13	4,38
Bouroumi	(Bo)	1986	150	26,0	0,37	69,33
Ouizert	(Ou)	1987	2 100	84,0	0,07	2,60
Hammam Debagh*	(Hd)	1987	1 070	69,0	0,10	5,05
Keddara	(Ke)	1987	93	27,3	0,03	32,15
Sidi Abdelli	(Sa)	1988	1 100	70,0	0,13	2,10
Gargar	(Ga)	1988	2 900	185,0	0,16	20,62
Oued Cherf	(Oc)	1995	1 735	33,0	0,20	3,00

\* barrages présentant des levés bathymétriques (Agence nationale des barrages [ANB], rapports internes 1993 et 2000).

0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500  
Of Gh Ch Sm Gu De Sy Az Bo Ou Hd Ke Sa Ga Oc  
Barrages

Vinitial (Mm<sup>3</sup>) Vmort (Mm<sup>3</sup>) Vs 2001 observé (Mm<sup>3</sup>)

État des barrages

Volume (Mm<sup>3</sup>)

Figure 3. État d'envasement des barrages (mars 2001).

Vs: volume solide. Of: Oued Fodda; Gh: Ghrib; Ch: Cheffia; Sm: Sidi M. Bénaouda; Gu: Guenitra; De: Deurdeur; Sy: Sidi Yacoub; Az: Ain Zada; Bo: Bouroumi; Ou: Ouizert; Hd: Hammam Debagh; Ke: Keddara; Sa: Sidi Abdelli; Ga: Gargar; Oc: Oued Cherf.

## Discussion et recommandations

Les résultats d'un grand nombre d'études réalisées sur plusieurs bassins-versants sont probants: l'érosion en nappe reste la forme la plus faible, au profit de l'érosion du réseau d'écoulement par ravinement qui est la forme la plus dangereuse. Le seuil tolérable de 10 t/ha/an a été largement dépassé. En termes d'érosion spécifique, l'estimation de la quantité de matériau arraché annuellement sur une surface donnée ne peut être extrapolée quel que soit l'espace considéré en termes de surface; autrement dit, il est impossible d'extrapoler les valeurs d'érosion d'une échelle spatiale à une autre. Les infrastructures hydrauliques algériennes, notamment «les barrages», courent un vrai danger d'envasement et de sédimentation. La lutte antiérosive continue s'impose pour leur préservation et la protection des terres à l'amont. Le réseau d'écoulement est le plus affecté, le transit des lâchers sur des tronçons de cours d'eau non aménagés amplifie le sapement des berges et l'affouillement du lit, créant des dépôts importants à l'aval. Dans la plupart des études menées, dans le cadre des projets de recherche ou des travaux de thèses, du fait de l'insuffisance, voire en l'absence de données hydrométriques et de concentrations en sédiments, la quantification de l'érosion à l'échelle du bassin-versant passe par une régionalisation en identifiant les caractéristiques hydromorphométriques quantifiables des bassins étudiés, l'état du sol par rapport à sa couverture végétale, la bathymétrie des ouvrages d'art. Seules les synthèses régionales pour lesquelles des formules [20] et des abaques ont été établies afin de quantifier l'apport solide en l'absence de données hydrométriques peuvent prétendre approcher la réalité [21]. Aussi, dans le traitement des données de concentrations, vu le caractère temporel très irrégulier des écoulements liquide et solide, l'homogénéisation des données au droit d'une station hydrométrique doit se faire à l'échelle mensuelle pour la quantification des apports annuels [22]. Il s'est avéré que le modèle régressif «puissance» explique significativement la relation débit liquide-débit solide, ce qui permet de combler les lacunes pour la quantification des matériaux arrachés au bassin. L'effet de surface joue un rôle négatif dans l'estimation de l'érosion spécifique, seule

Tableau 2. Taux de rétention et volume solide estimé.

Barrages	Année de mise en service	Apport solide (Mm <sup>3</sup> )	Taux de rétention (Tr) %	Ascorigé (Mm <sup>3</sup> )	Vs estimée, 2001 (Mm <sup>3</sup> )	Vs obs, 2001 (Mm <sup>3</sup> )
Of	1932	2,70	97,0	2,62	181	165
Gh	1939	3,20	97,5	3,12	193	154
Ch	1965	0,17	96,8	0,16	6	39
Sm	1978	1,03	97,0	1,00	23	73
Gu	1984	0,13	98,0	0,13	2	3
De						

1985 0,83 98,0 0,81 13 43 Sy 1985 0,17 98,0 0,16 3  
 95 Az 1986 0,52 96,8 0,34 5 10 Bo 1986 0,80 98,2  
 0,79 12 40 Ou 1987 0,30 98,0 0,29 6 9 Hd 1987 0,05  
 98,1 0,53 4 19 Ke 1987 0,23 98,2 0,05 1 2 Sa 1988  
 0,18 97,4 0,18 2 10 Ga 1988 4,10 98,1 4,02 52 59 Oc  
 1995 0,52 98,2 0,51 3 14 Total 507 734

Of : Oued Fodda ; Gh : Ghrib ; Ch : Cheffia ; Sm :  
 Sidi M. Be 'naouda ; Gu : Guenitra ; De : Deurdeur ;  
 Sy : Sidi Yacoub ; Az : Ain Zada ; Bo : Bouroumi ; Ou  
 : Ouizert ; Hd : Hammam Debagh ; Ke : Keddara ;  
 Sa : Sidi Abdelli ; Ga : Gargar ; Oc : Oued Cherf.

Tableau 3. De 'lai de service des 15 barrages (dure 'e  
 de vie).

Barrages Asobs,2001 Mm3

De 'lai de service an

Anne 'e d'extinction

Of 2,39 95 2027 Gh 2,48 113 2052 Ch 1,08 158 2123  
 Sm 3,17 74 2052 Gu 0,18 694 2618 De 2,69 43 2028  
 Sy 5,94 47 2032 Az 0,63 198 2184 Bo 2,67 82 2068  
 Ou 0,64 156 2143 Hd 1,36 162 2149 Ke 1,21 181  
 2168 Sa 0,77 143 2131 Ga 4,54 99 2087 Oc 2,33 67  
 2062

Of : Oued Fodda ; Gh : Ghrib ; Ch : Cheffia ; Sm :  
 Sidi M. Be 'naouda ; Gu : Guenitra ; De : Deurdeur ;  
 Sy : Sidi Yacoub ; Az : Ain Zada ; Bo : Bouroumi ;  
 Ou:Ouizert;Hd:HammamDebagh;Ke:Keddara; Sa :  
 Sidi Abdelli ; Ga : Gargar ; Oc : Oued Cherf.

0

50

100

150

200

250

Of Gh Ch Sm Gu De Sy Az Bo Ou Hd Ke Sa Ga Oc  
 Barrages

Volume solide (Mm3)

Vs 2001 estimé (Mm3) Vs 2001 observé (Mm3)

Figure

4.

Écart engendré entre les valeurs estimées et observées.

Vs: volume solide. Of: Oued Fodda; Gh: Ghrib; Ch:  
 Cheffia; Sm: Sidi M. Bénaouda; Gu: Guenitra; De:  
 Deurdeur; Sy: Sidi Yacoub; Az: Ain Zada; Bo:  
 Bouroumi; Ou: Ouizert; Hd: Hammam Debagh; Ke:  
 Keddara; Sa: Sidi Abdelli; Ga: Gargar; Oc: Oued Cherf.

l'identification des zones productives en sédiment  
 peut montrer leur degré de vulnérabilité au  
 phénomène érosif. Deux courants opposés abordent le  
 transport solide des cours d'eau exoréiques en climat  
 semi-aride. Si les hydrologues souhaitent que les  
 sédiments soient freinés à l'amont pour éviter leur  
 dépôt dans les infrastructures à l'aval, les  
 océanographes préfèrent que ces derniers atteignent la  
 mer pour la stabilisation des côtes [23] et les  
 aménagements hydrauliques des cours

d'eau estentà l'origine d'un déficit du flux sédimentaire  
 qui arrive en mer [24] et participe en partie à la  
 dégradation du littoral. D'après Collins [25], une  
 régression nette des côtes méditerranéennes est  
 observée suite à une diminution du flux sédimentaire  
 arrêté par l'implantation des barrages. Seule une  
 gestion intégrée peut couvrir ces deux courants.

## Conclusion

Les travaux réalisés en zone semi-aride ont montré la  
 gravité du phénomène de l'érosion hydrique et  
 particulièrement de l'érosion par ruissellement.

À l'échelle de la parcelle, en régions montagneuses,  
 les paysans sont conscients de la gravité du  
 phénomène et tendent à mettre en valeur leur terre  
 pour une meilleure rentabilité grâce aux subventions  
 de l'État.

À l'échelle du bassin, le problème est plus  
 complexe, vu l'étendue du pays. Plusieurs études ont  
 été menées pour identifier les zones productives et  
 proposer des plans d'aménagements pour les bassins-  
 versants de barrages très touchés par l'érosion. Cette  
 synthèse reste une contribution et un appui  
 scientifique et technique à la problématique de  
 l'érosion en Algérie du Nord.

## Références

1. Roose E. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin pé dologique FAO 1994; (70) : 420 p.
2. Gomer D. E 'coulement de l'érosion dans des petits bassins-versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen. Projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de l'Oued Mina. Eschborn (Allemagne) : Coopération Algérie-Allemande ; GTZ, 1994.
3. Roose E. Evolution historique des stratégies de lutte antiérosive. Vers la gestion conservatoire de l'eau de la biomasse et de la fertilité (GCES). Bulletin Re 'seau Erosion 1999 ; 19 : 11-25.
4. Sari D. L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis en Algérie. Alger : SNED, 1977.
5. Wischmeier W, Smith DD. Predicting rainfall erosion losses: Guide to conservation planning. Agriculture Handbook, N° 232. Washington (DC) : USDA, 1978.
6. Arabi M, Kedaid O, Bourouga L, Asla T, Roose E. Bilan de l'enquête sur la défense et restauration des sols (DRS) en Algérie. Secheresse 2004 ; 15 : 87-95.
7. Heusch B. Cinquante années de banquettes de DRS en Afrique du Nord. Cah Orstom Ser Pé dologie 1986 ; 22 : 153-62.
8. Gomer D. L'aménagement des zones marneuses dans le bassin-versant des montagnes de l'Atlas Tellien semi-aride. Eschborn (Allemagne) : GTZ, 1996.
9. Kouri L. L'érosion hydrique des sols dans le bassin-versant de l'Oued Mina (Algérie). Etude des processus et types de fonctionnement des ravins dans la zone des marges tertiaires. Université Louis Pasteur, Strasbourg, 1993.
10. Touai 'bia B, Dautrebande S, Gomer D, Aï 'daoui A. Approche de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales : bassin-versant de l'Oued Mina. Hydrol Sci J 1999 ; 44 : 973-86.
11. Demmak A. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de doctorat-Ingénieur, université Pierre et Marie Curie, Paris, 1982.
12. ANRH. Note technique sur l'événement pluvieux du 9 et 10 Nov. 2001. Document interne. Alger : ministère des Ressources

en Eau, 2001.

13. Avias JV. Sur quelques mécanismes de l'érosion d'origine anthropique dans le massif du Coiron. Ardeche (étude de cas), et sur leur évolution depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Bulletin Réseau Erosion 1997 ; 17 : 76-82.

14. Touaibia B, Benlaoukli B, Bouheniche S. Approche quantitative de l'envasement au droit de 15 barrages en exploitation dans l'Algérie du Nord. Conférence Internationale « Hydrologie des régions méditerranéennes et semi-arides ». Montpellier : IRD, 2003.

15. Kadik B. L'érosion des sols en Algérie : Problèmes et perspectives. Séminaire sur le bilan de l'efficacité des techniques et l'aménagement des bassins versants. Médecia : INRF, 1987.

16.

Touaibia B, Touaibia MK, Benlaoukli B, Bessalema A, Sidi Mousa MF. Impact des lâchers du barrage El-Moustakbal sur l'envasement d'un barrage de prise d'irrigation. Blida. Algérie. VII<sup>ème</sup> Conférence internationale des sciences hydrologiques AIHS, Iguacu, Brésil, 2005. Hydrol Sci J 2005; Red Book N° 292 : 333-9.

17. Touaibia B, Gomer D, Aïdaoui A. Estimation de l'index d'érosion de Wischmeier dans les microbassins expérimentaux de l'Oued Mina en Algérie du Nord. Bulletin Réseau Erosion 2000 ; 20 : 478-84.

18. Bouhaniche S. Contribution à l'étude de l'état d'envasement des barrages de l'Algérie du Nord. Mémoire d'ingénieur d'Etat en hydraulique, ENSH, Blida, Algérie, 2001.

19. Scartascini J. A method used by agua and Energhia electrica Sociedad del estado for computer the silting-up process in impounding dams. Fourteenth ICOLD Congress, Rio de Janeiro, 1982.

20. Touaibia B, Achite MA. Contribution à un essai cartographique de l'érosion spécifique du bassin-versant de l'Oued Mina en zone semi-aride de l'Algérie septentrionale. Hydrol Sci J 2003 ; 48 : 235-42.

21. Touaibia B, Bouaichi I. Abaques pour la quantification de l'érosion spécifique en zones éparses : bassin-versant du Cheliff. Huitième congrès de l'IAHS, septembre 2009, Hyderabad,

Inde.

22. Touaibia B, Gomer D, Aïdaoui A, Achite M. Quantification et variabilité temporelle de l'écoulement solide en zone semi-aride de l'Algérie du Nord. Hydrol Sci J 2001 ; 46 : 41-53.

23.

Milliman JD. Sediment delivery from Mediterranean rivers: regional, global and temporal perspectives. "Fluxes of small and medium-size Mediterranean rivers: Impact on coastal areas". CIESM Workshop, Trogir, Croatia, 2006. Monograph 30.

24. Benmamou A. Aménagements hydrauliques des bassins exoriques de la Tunisie. Impact sur le flux sédimentaire et stabilité du littoral. "Fluxes of small and medium-size Mediterranean rivers: Impact on coastal areas". CIESM Workshop, Trogir, Croatia, 2006. Monograph 30.

25. Collins M, Sefarim P. Fluvial sediment fluxes, in the Mediterranean and Black Seas, in relation to coastal evolution: a comparison. "Fluxes of small and medium-size Mediterranean rivers: Impact on coastal areas". CIESM Workshop, Trogir, Croatia, 2006. Monograph 30.

Tableau 4. Estimation de l'érosion spécifique à différentes échelles spatiales.

Echelle spatiale Erosion spécifique Forme d'érosion Observation

Parcelle Wischmeier 0,12 à 1,09 t/ha/an Nappe Négligeable  
Mini-simulation de la pluie (1 m<sup>2</sup>) 9 à 1407 g/m<sup>2</sup>/h Nappe  
Faible Simulation géante (87 m<sup>2</sup>) 0,1 à 184 g/m<sup>2</sup>/h Nappe et  
rigoles Faible Microbassins expérimentaux de l'ordre de  
l'hectare 12,38 à 48,72 t/ha/an Toute forme d'érosion  
Appréciable Retenue collinaire 23,74 t/ha/an Toute forme d'érosion  
Appréciable Stations hydrométriques 2,12 à 3 t/ha/an Toute  
forme d'érosion Faible, du fait d'un effet de surface négligeable  
Barrage SMB d'après la bathymétrie 3,27 t/ha/an Toute forme  
d'érosion Faible d'après les stations hydrométriques 7,10  
t/ha/an Toute forme d'érosion Non négligeable

Sécheresse vol. 21, n° 1e, 2010

## SOLUTIONS ET BILANS 44

**Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Réduction des risques érosifs et intensification de la production agricole par la GCES : synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion**

Éric ROOSE (1), Mourad ARABI (2), Khaled BRAHAMIA (2), Rachid CHEBBANI(2), Mohamed MAZOUR (2) et Boutkhil MORSLI (2) (1) Orstom, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1, France. (2) INRF, BP 37, Cheraga, Alger, Algérie.

**RÉSUMÉ**

Depuis le début du siècle, la région montagneuse septentrionale de l'Algérie est soumise à de fortes pressions en hommes et en bétail qui ont contribué à une sévère dégradation des sols, de la couverture végétale et des rivières. Pour protéger les terres et réduire l'envasement des barrages, l'administration des Forêts a imposé une stratégie d'équipement hydraulique rural appelée « Défense et restauration des sols » (DRS) qui tient à la fois de la RTM (Restauration des terrains de montagne : mise en défens et reforestation de 800 000 ha de terres épuisées dans les hautes vallées et correction des ravines en amont des barrages) et de la CES (Conservation de l'eau et des sols : terrassement de 350 000 ha de terres cultivées).

Mais, dès 1980, l'échec de cette approche était patent. Malgré quarante ans de DRS, les terres continuent de se dégrader, les paysans n'entretiennent pas les dispositifs et les transports solides sont aussi préoccupants.

Deux instituts de recherche (l'INRF et l'Orstom) ont décidé, en 1985, d'unir les efforts d'une douzaine de chercheurs pour tester une nouvelle approche participative visant à la valorisation de la terre et du travail tout en réduisant les risques d'érosion en milieu rural : la estion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES).

Il s'agit d'intensifier les systèmes de culture régionaux pour mieux protéger la surface du sol contre l'énergie des pluies et du ruissellement. Cet article présente la synthèse des mesures de ruissellement, d'érosion en nappe et de production de biomasse sur un réseau de 50 parcelles (de 100 m<sup>2</sup>) réparties dans quatre régions méditerranéennes montagneuses (pentes de 10 à 45 %) s'étageant de 400 à 900 m d'altitude et recevant de 300 à 650 mm de pluie. De 1986 à 1995 furent comparés les comportements de jachères nues (risque maximal), de systèmes de production régionaux (blé, fève, vigne, fourrages, verger, parcours) et de systèmes améliorés (fertilisation, semences sélectionnées, pesticides et herbicides, rotation céréales-légumineuses, cultures associées au verger, enrichissement des parcours).

Durant cette décennie, les pluies au nord-ouest de l'Algérie ont été déficitaires et peu agressives, à part quelques orages de fréquence rare (100 à 400 mm en un à cinq jours) qui laissent des blessures profondes dans le paysage. Le ruissellement a été très modeste sous végétation naturelle ou cultivée ( $K_{ram} = 1$  à 11 VO), sauf lorsqu'une grosse averse est tombée sur des terres saturées, tassées, dénudées ou encroûtées, auquel cas il a pu atteindre 30 à 85 Yo et causer beaucoup de dégâts en aval. L'érosion a été modérée tant en milieu cultivé que naturel ( $E = 0,1$  à 3 t/ha/an) ; elle a atteint 20 t/ha sur sol fersialitique rouge sur un versant nu de 35% de pente (35 fois moins qu'en Côte d'Ivoire !). La faiblesse de l'érosion s'explique partiellement par les pluies déficitaires, mais surtout par la remarquable résistance des sols à l'érosion en nappe ( $K_{usle} = 0,002$  à 0,02) due à la richesse des sols en cailloux et en argile saturée en calcium. Curieusement, on n'a pas observé de relation étroite entre la pente, le ruissellement et l'érosion : cela remet en cause la pratique systématique des terrassements dont l'écartement est calculé d'après la pente uniquement (équations de Ramser, Saccardy, etc.). Un diagnostic approfondi sur chaque colline est nécessaire pour comprendre le fonctionnement du versant avant

d'entreprendre son aménagement. Les rendements en culture améliorée, à Ouzera, passent de 7 quintaux à plus de 45 quintaux à l'hectare pour le blé d'hiver, de 28 à plus de 40 quintaux pour le raisin, auxquels il faut ajouter 3 tonnes de blé ou de fève en culture associée. De plus, la paille et les autres résidus de culture voient leur rendement augmenter très nettement (de 2 à 22-30 quintaux à l'hectare) de telle sorte que la production animale (et la disponibilité en fumier) peut aussi se développer. Le revenu net à l'hectare est multiplié par trois à vingt selon le système de production choisi : la capacité de nourrir la population sur un terroir a donc augmenté. En définitive, l'amélioration des systèmes de culture (et la GCES) a permis d'accroître la productivité des terres et de réduire les risques érosifs, à condition qu'elles reçoivent suffisamment de pluie pour valoriser les intrants ( $P > 400$  mm).

**INTRODUCTION**

et les oueds, rivières torrentielles qui dévorent les basses Le bassin méditerranéen, berceau de civilisations brillantes et envasent les barrages en une trentaine d'années. Les activités qui

ont accompagné ces colonisations successives (défrichement, agriculture, élevage, tant si attachants ? L'homme et ses activités dévastatrices, urbanisation, guerre) ont entraîné la dégradation des cou- rarement raisonnable quand il s'agit de prendre possession vertures végétales, des sols, des rivières, du climat et fi- des ressources naturelles (LAOUINA, 1994) ? Ou bien le nalement des sociétés. Un survol rapide du nord de l'Al- milieu méditerranéen, réputé particulièrement fragile du gérie, la région la plus productive, mais aussi la plus fait de ses reliefs jeunes (alternance de roches tendres fragile, nous montrerait des montagnes Su@turées et des argileuses et de roches dures), de ses climats agressifs garrigues brûlées, des collines dénudées, des sols squelet- (pluies abondantes tombant en hiver sur des sols déjà sa- tiques cultivés, décapés par l'érosion en rigole et par le turés et orages violents à la fin de l'été torride) et du mode labour. des versants et des plaines lacérés par les ravines d'exploitation extensif des terres ?

25"

MAURITAN

'repique du C,

Mer Méditerranée

O- 150 300 km - I 00 FIG. 1. - Situation des stations de mesure en Algérie. Position of the runoff stations in Algeria.

300

- 250

Pour faire face à ces graves problèmes d'érosion, une fense et restauration des sols) tient à la fois de la RTM stratégie faisant appel à des équipements hydrauliques (Restauration des terrains de montagne) et de la CES (Con- lourds fut développée par l'administration des Eaux et servation de l'eau et des sols) et comprend : Forêts pendant la période 1940-1980 (PUTOD, 1956 ; PLAN- - la reforestation des hautes vallées (800 000 ha nÉ, 1961 ; MONJAUZE, 1962 ; GRÉCO, 1979). La DRS (Dé- depuis 1962 ; MAZOUR, 1992) ;

292 Cah. Orstom, sér. Pédol., vol. XXVIII, no 2, 1993 : 289-308

Réduction des risques d'érosion et intensification par la GCES en Algérie

- la correction torrentielle dans les périmètres de protection des barrages ;

- le terrassement des champs cultivés (350 000 ha de banquettes à un coût de 5 000 à 10 000 FF l'hectare ; HEUSCH, 1986).

Le principal objectif était de retarder l'envasement des barrages et de protéger les équipements et les terres. Mais, en 1980, l'échec de cette approche technocratique d'équi- pement hydraulique des zones rurales pour le bien public était évident. Malgré quarante années de lutte antiérosive, les terres ne cessent de se dégrader, les paysans rejettent le système des terrasses de diversion, la production de bois est

restée faible et le taux d'envasement des barrages demeure très élevé. Le programme d'aménagement des ban- quettes fut abandonné pour des raisons économiques (HEUSCH, 1986). Les forestiers poursuivent la reforestation et la correction torrentielle des ravines, mais les fermiers ne reçoivent plus d'aide pour maîtriser l'érosion sur leurs terres, à part le sous- solage des sols à croûte calcaire (RO~SE, 1987). En revanche, l'Algérie a réalisé un effort considérable pour la construction de barrages (une quin- zaine en dix ans ont été mis en service ; MAZOUR, 1992), mais ils semblent dangereusement menacés par l'envase- ment. Leur durée de vie ne dépasserait guère trente à cin- quante ans, car le taux d'érosion spécifique des bassins versants d'Algérie serait parmi les plus élevés du monde (2 000 à 4 000 t/km' par an) (DEMMAK, 1982).

Les premières mesures d'érosion sur parcelles expérimentales (de 100 m2) (KOUIDRI et al., 1989) confirmèrent l'hypothèse défendue par HEUSCH (1970) au Maroc et DEMMAK (1982) en Algérie, selon laquelle l'érosion en nappe sur les versants cultivés n'apporte qu'une très petite part (0,2 à 10 t/ha/an) aux sédiments transportés par les rivières. Cela expliquerait pourquoi les terrassements fu- rent peu efficaces pour réduire l'envasement. Cependant, le ruissellement provenant des versants peut atteindre 50 à 80 % durant les averses exceptionnelles tombant sur des terres engorgées, encroûtées ou compactées (surpâturage, pistes et routes, jachères abandonnées, toits et cours d'ha- bitation, etc.). La nouvelle hypothèse pour expliquer l'éro- sion dangereuse des bassins versants est donc le ruissel- lement exceptionnel qui dévale des pentes engorgées, mal couvertes par la végétation : il creuse les ravines, aug- mente les débits de pointe des oueds et provoque des glissements de terrain, l'érosion des berges et l'envase- ment rapide des barrages.

Actuellement, avec la crise économique, les villes industrielles connaissent des problèmes d'emploi. Le gou- vernement algérien souhaite maintenir la population à la campagne et intensifier l'agriculture en montagne, sans augmenter pour autant la dégradation des terres, ni la pollution des eaux, si essentielles pour le développement de l'irrigation et l'expansion des villes.

Depuis 1985, l'Institut national algérien pour la recherche forestière (INRF) et l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Orstom) ont uni les efforts d'une douzaine de chercheurs pour développer un programme de formation et de recherche sur les causes et les facteurs de différents processus d'éro- sion et pour tester dans les montagnes méditerranéennes semi-arides d'Algérie une nouvelle approche participative de la lutte antiérosive : la gestion conservatoire de l'eau de la

biomasse et de la fertilité des sols (GCES) (RO~SE, 1987). Ce programme comprend trois volets : - une enquête sur l'efficacité de l'approche DRS, d'abord par l'INRF et l'administration des Forêts pour situer et décrire les aménagements existants, puis par un groupe interdisciplinaire de chercheurs, pour évaluer leur fonctionnement ; - l'aménagement de micro-bassins versants (de 20 à 300 ha) près de Médéa, Mascara et Tlemcen ; - la quantification des différents processus d'érosion dans un réseau de ravines et de parcelles d'érosion. C'est de ce dernier volet dont il sera question dans cet article. L'analyse de la CES et de la DRS a montré que les terrassements n'ont guère intéressé les paysans car ces travaux exigent beaucoup de travail à l'entretien, réduisent la surface cultivable de 5 à 15%, mais n'améliorent pas la productivité des terres, ni les revenus des paysans. Cette approche des problèmes d'érosion procède d'une logique « aval » technocratique qui vise avant tout la protection des équipements et de la qualité des eaux. La majorité des aménagements ne sont donc pas entretenus par les paysans, ou sont même détruits progressivement par le labour. Si on veut que les paysans participent à la protection du milieu rural et de la qualité des eaux, il faut d'abord répondre à leurs préoccupations immédiates. C'est pourquoi la GCES aborde les problèmes d'érosion par une logique « amont ». Comment améliorer la productivité des terres et du travail, en gérant au mieux l'eau disponible, la biomasse et la fertilité des sols ? Par l'intensification de l'utilisation des intrants sur les meilleures terres, on augmente la couverture végétale et on réduit les risques d'érosion. Nos recherches visent donc, dans un premier temps, à améliorer le système de production sur des parcelles d'érosion et à vérifier qu'il est rentable d'intensifier la production de biomasse et possible de réduire les risques d'érosion et de ruissellement sur les fortes pentes, où l'on craint le plus la dégradation du milieu (RO~SE, 1987). Nous présentons ici une synthèse des résultats obtenus sur le réseau des parcelles d'érosion de l'INRF à Ouzera (KOUIDRI et al., 1989 ; ARABI, 1991 ; ARABI et RO~SE, 1992), à Ain Fares/Mascara (MORSLI, 1995), à Tlemcen (MAZOUR, 1992 ; CHEBBANI et al., 1995) et au projet Oued Mina (BRAHAMIA, 1993), soit 50 parcelles d'une centaine de mètres carrés représentant les principaux sols cultivés, leurs systèmes de production, dans une zone recevant 300 à 650 mm de pluie. On y a testé également différentes innovations en vue d'une exploitation intensive et durable des ressources naturelles des montagnes de l'Atlas depuis le centre (Médéa) jusqu'à l'ouest (Tlemcen) de l'Algérie du Nord. Les trois premières stations relèvent de la convention INRF-Orstom, et celle de Taasalet d'une convention INRF-Projet de développement de l'oued Mina (GTZ). Nous remercions ces institutions d'avoir permis à « l'équipe érosion » de réaliser ces

études, interrompues malheureusement avant terme.

## LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le réseau comprend 50 parcelles de mesure de l'érosion d'une centaine de mètres carrés (longueur : 22,2 m ; largeur : de 4,5 à 10 m) isolées par des tôles fichées en terre. Au bas des parcelles, un canal dirige les eaux de ruissellement et leur charge solide vers deux à trois cuves de stockage reliées par des partiteurs tarés sur le terrain (RO~SE, 1981 ; ARABI, 1991). Les paramètres mesurés sont la pluie (hauteur, intensité, érosivité), le ruissellement (Kram, le coefficient de ruissellement annuel moyen en % des pluies, et Krmax, le coefficient de ruissellement maximal pour une averse importante), l'érosion en nappe et en rigole (érosion totale en t/ha/an, comprenant les suspensions fines et les sédiments grossiers), la production de biomasse (rendement en q/ha/an), les revenus nets (en US \$/ha/an) et les paramètres d'état de surface (% de surface couverte, % de surface fermée par la battance, % de cailloux et d'humidité des dix premiers centimètres). Dans chaque station définie par un type de sol, une pente (longueur constante et pourcentage fort, mais typique pour le sol considéré), un système de production en place depuis plus de dix ans et une pluviosité moyenne, on compare le comportement d'un témoin absolu (sol nu travaillé dans le sens de la pente) à un témoin régional (système de production traditionnel) et à un ou deux systèmes améliorés. Le climat de la zone est méditerranéen à hiver frais. Les améliorations portent sur le travail du sol (conservatoire de l'eau), les herbicides, pesticides et graines sélectionnées, une fertilisation minérale adaptée aux sols et cultures, une jachère de légumineuses, des tentatives d'enrichissement des parcours, des rotations plus intensives et des cultures intercalaires sous les vergers. À Médéa, quinze parcelles ont été installées à proximité de la station INRF de Ouzera, à 7 km de Médéa et à 90 km au sud d'Alger. Le paysage est constitué d'une série de plateaux (de 900 à 1 200 m d'altitude), de versants raides (pentes de 12 à 40 %) et de vallées profondes où coulent temporairement des oueds instables.

Les sols sont liés à la lithologie (marnes et grès calcaires) et à la situation topographique (POUGET, 1974 ; AUBERT, 1987). Les principaux sols de la région sont : - les sols jaune clair, lithosols sur colluvions calcaires, pauvres en matière organique ; - les vertisols gris sur marnes, très argileux, bien structurés, avec 2 % de matière organique, saturés en calcium (pH 7 à 8) et résistants à la battance des pluies ; - les sols rouges fersialitiques lessivés sur grès tendres, pauvres en matière organique, instables ; - les sols bruns calcaires sur colluvions, avec 2 à 3 % de matière organique, bien structurés, mais à horizon humifère très superficiel, généralement caillouteux ; si

l'horizon humifère repose directement sur l'altérite calcaire, on parle de rendzine. Le système de production a beaucoup évolué ces dernières années. Dans cette zone montagneuse, entre 1982 et 1991, le couvert forestier a diminué de 18 à 13 %, tandis que les surfaces en vignoble et verger ont augmenté respectivement de 5 % et de 6 %. Le blé et la fève restent discrets et leur rendement médiocre (8 q/ha). Les pratiques culturales sont limitées : un labour profond (20 à 25 cm) pour contrôler les adventices à l'automne et (ou) au printemps, suivi d'un binage pour enfouir les engrais (N 33, P 45, K 90) et briser les grosses mottes. Après la récolte, les troupeaux migrant des zones steppiques viennent pâturer les résidus de culture. Le peu de fumier disponible est rentabilisé par les cultures de légumes dans les terres irrigables. Les précipitations moyennes sur quarante ans s'élèvent à 680 mm à la station météorologique de Médéa. Le dispositif permet de comparer pendant quatre années les risques de ruissellement et d'érosion sur une jachère nue cultivée à ceux dans quatre systèmes de production (ici un verger d'abricotiers de trente ans, une vieille vigne sur terrasses en courbe de niveau, un système agropastoral blé-pâturage et un matorral Su@turé), sur quatre sols représentatifs de la région. (On notera qu'un matorral est une formation arbustive à épineux soumise régulièrement aux feux, qu'on appelle « garrigue » sur calcaire ou « maquis » sur terrains acides.) À Taasalet (60 km au nord de Relizane), huit parcelles ont été installées en 1989 sur des versants convexes portant un sol brun calcaire vertique sur marnes (pentes de 9 et 21 %) et une rendzine sur roche mammo-calcaire de 30% de pente. La comparaison porte sur la jachère nue, la culture d'orge à plat et de pois sur billons perpendiculaires à la pente. Les précipitations atteignent 350 mm en moyenne sur les postes les plus proches, mais elles furent très déficitaires (plus de 250 mm) pendant les trois cycles d'observation. Le paysage très aride est constitué de collines convexes surpâturées dont les sommets sont labourés et cultivés en céréales. L'introduction d'arbustes a échoué durant ces années très déficitaires : seul le labour profond (20 cm) et le billonnage perpendiculaire à la pente ont réduit l'érosion (plutôt faible) et amélioré la production de biomasse fourragère. À Mascara, dix parcelles d'érosion ont été installées en 1992 sur le terroir de Ain Fares, à 30 km au nord de Mascara, sur un sol brun calcaire limoneux de 20 % de pente et sur un sol brun vertique très argileux de 4.5 % de pente. La comparaison a porté sur la jachère nue, la jachère non travaillée, les céréales traditionnelles ou intensives avec engrais (N 20, P 45), les légumineuses fourragères et les pois sur billons isohypses. Dans cette région, les pluies moyennes dépassent 450 mm, mais furent très déficitaires en 1993-1994 et un peu moins en 1994-1995 (P = 241 et 320 mm). À Tlemcen, dix-sept parcelles furent

installées fin 1989 près de Sidi Abdelli, dans les principales stations écologiques du bassin de l'oued Isser (1 140 km<sup>2</sup> en amont du barrage Izdihar), environ 50 km à l'est de Tlemcen. Au nord, le paysage est constitué de collines marneuses arrondies (stations de Heriz et Cherif sur sols vertiques) où furent comparés des jachères (nues, traditionnelles ou à vesce/avoine), des blés traditionnels ou intensifs. Au sud, le relief montagneux comprend des calcaires jurassiques (Madjoudj sur sol brun calcaire) et des intercalations gréseuses (Gourari sur sol rouge fersialitique) sur lesquels furent testés des jachères nues et des matorrals dégradés, enrichis ou en défens. La pluviosité annuelle moyenne varie autour de 530 mm et la pluviosité journalière de fréquence décennale peut atteindre 100 mm, généralement en avril-mai.

## RÉSULTATS

Durant deux à six ans, les risques d'érosion ont été mesurés dans le milieu naturel et dans le milieu cultivé traditionnel ou amélioré, dans 50 parcelles d'érosion sur des versants raides (10 à 45 %) de petite montagne (altitude de 400 à 900 m), en climat méditerranéen (pluies de 350 à 650 mm). Bien que les observations n'aient pu durer aussi longtemps que souhaitable en raison des événements, les répétitions pluriannuelles dans quatre zones de la même région écologique donnent des résultats cohérents. Tous les résultats annuels disponibles ont été rassemblés dans les tableaux V à XI, placés en annexe.

### Les précipitations

Toute la région a connu des années pluviales déficitaires de 60 à 280 mm par rapport aux moyennes météorologiques sur trente ans. À Médéa, 1988 et 1990 furent très secs (408 et 440 mm ; moyenne sur vingt ans, 650 mm) ; l'année 1991 fut presque normale avec une grosse averse en juillet. Les résultats sont représentatifs d'une région à 530 mm (= médiane). À Taasalet, les pluies ont été très déficitaires (188 à 44 mm ; moyenne sur vingt ans, 350 mm), à tel point que les céréales ont été échaudées : les résultats sont représentatifs d'une zone aride à 200 mm. À Mascara, les campagnes 1994 et 1995 ont tant manqué de pluie (241 et 320 mm ; moyenne sur vingt ans, 450 mm) que les semis de pois et de Su& fourrager n'ont guère couvert le sol. Les apports d'engrais et de semences sélectionnées n'ont pu être valorisés. À Tlemcen, les campagnes 1990, 1991 et 1993 furent aussi très déficitaires (354, 321, 242 mm ; moyenne sur vingt ans, 500 mm). Les observations sont représentatives d'une région à 350 mm. Non seulement la hauteur des pluies fut modeste dans toutes les stations, mais aussi leur intensité et leur agressivité. L'indice R<sub>100</sub>, d'agressivité des pluies n'a guère dépassé 50 par campagne et le rapport R<sub>100</sub>/hauteur annuelle n'atteint que 0,10 à 0,15 alors que ce rapport varie de 0,4 à 0,6



en Afrique de l'Ouest et de 0,2 à 0,3 dans les montagnes d'Afrique centrale (ROSSE et ARABI, 1994). Il y a donc une situation paradoxale. D'une part, les climats méditerranéens sont réputés agressifs : les pays- ges sont très dégradés, les versants ravinés et les inonda- tions catastrophiques nombreuses. Mais, d'autre part, les auteurs s'accordent pour constater de modestes indices d'agressivité des pluies en comparaison avec les pluies des régions tropicales humides (KALMANN, 1976 ; PIHAN, 1978 ; RO~SE, 1972,1994 ; ARABI, 1991 ; MAZOUR, 1992). Cela semble indiquer que les séries de pluies saturantes et la faible épaisseur de la couverture pédologique sont à l'origine de ces phénomènes catastrophiques plus que l'agressivité des pluies orageuses, limitées dans l'espace.

### Le ruissellement

Le ruissellement annuel fut très discret sous matorral et jachères pâturées ( $K_{ram} = 0,6$  à  $4\%$ ), modeste sous cul- tures dans toutes les stations ( $K_{ram} = 0,1$  à  $7\%$ ), mais il peut dépasser  $5$  à  $28\%$  sur sol nu, même labouré. Le ruissellement maximal lors d'une grosse averse varie beaucoup selon qu'il s'agit d'un matorral bien couvert ( $K_{rmax} = 1$  à  $9\%$ ), d'un parcours fort dégradé, tassé, surpâturé ( $K_{rmax} = 25$  à  $30\%$ ), d'une terre labourée et cultivée ( $K_{rmax} = 1$  à  $23\%$ ) ou d'une terre nue, tassée, encroûtée par la pluie, engorgée ou peu profonde ( $K_{rmax}$  peut dépasser  $50$  à  $85\%$ ). C'est lors de ces événements exceptionnels (une fois tous les cinq à dix ans) que se déclenchent les graves manifestations de ravinement, de crue des oueds, de glissement de terrain et d'envasement rapide. Le premier facteur qui explique la modestie du ruissellement en ces régions méditerranéennes, ce sont les pluies déficitaires et peu agressives observées durant les années 1986 à 1995. Lorsqu'il manque  $150$  à  $200$  mm de C'est évidemment sur sol nu et engorgé (en hiver) que pluie par rapport à la normale, ce sont les grosses averses le ruissellement est le plus fort, même si le sol a été labouré et les séries d'averses rapprochées qui manquent, et par à l'automne et sarclé tous les mois. Les cas les plus graves conséquent les occurrences d'engorgement du sol dimi- ont été observés cinq fois à Ouzera sur vertisol nu, très nuent. humide, couvert d'une croûte de battance durant des pluies Le second facteur qui réduit le ruissellement est le cou- de plus de  $80$  mm tombant en un ou deux jours. vert végétal et les techniques culturales. Sous végétation Les données du tableau 1 montrent qu'il est difficile de naturelle (matorral pâturé), le sol est couvert de  $20$  à  $80\%$  conclure sur l'aptitude des types de sols à ruisseler, car de litière et végétation basse : le ruissellement, bien qu'as- les pluies ont été très différentes d'une année à l'autre, et sez fréquent à cause des chemins tracés par le bétail, ne les observations de durée variable. De plus, les caractéris-

fut jamais dangereux. Cependant, des terres de parcours tiques de la surface des sols et leur histoire sont plus dégradées (Ouzera), des vignes non entretenues (Ouzera), importantes que le type pédogénétique. Les sols vertiques des jachères tassées (Mascara), des matorrals surpâturés sont très peu perméables une fois le profil humecté et les (Gourari) peuvent manifester des ruissellements de  $30\%$  lors des averses importantes. D'ailleurs, dans la montagne où les forêts sont surpâturées, il n'est pas rare d'observer des ravines provenant des chemins empruntés par le bétail et des parcours dégradés, ou même des plantations forestières surpâturées. souvent caillouteux.

argiles gonflées. Les sols fersialitiques rouges sont généralement perméables, mais, une fois dégradés, les horizons sableux pauvres en matière organique se tassent et le ruissellement devient aussi fort que sur les sols argileux. Les sols les plus perméables semblent les sols bruns calcaires

TABLEAU 1 Classement de l'aptitude à ruisseler des sols nus labourés ( $K_{rmax}$  % observés et pluie d'imbibition si sol sec ou humide)

Station	Pluie (mm)	Vertisol	Fersialitique	Calcaire	Rendzine
Médéa	650	80	40	33	Tlemcen
Mascara	450	30	28	Oued Mina	300
					15
					13

Pluie d'imbibition (mm)  $3$  à  $20$   $4$  à  $10$   $6$  à  $22$   $6$  à  $14$   
 La pluie d'imbibition nécessaire pour déclencher le ruissellement est de l'ordre de  $10$  à  $22$  mm sur sol sec et de  $3$  à  $6$  mm sur sol humide. Ces seuils de hauteur limite dépendent surtout de l'humidité préalable et de l'état de la surface du sol (déficit de saturation des dix premiers centimètres du sol, tassement par le bétail, fissures de dessiccation, trous de vers de terre, croûtes de battance ou de sédimentation, litière et canopée dressée, cailloux et mottes résiduelles créées par le travail du sol).

Comme d'autres auteurs, nous avons observé que le labour profond et grossier augmente temporairement l'in- filtration. Par exemple, lorsqu'on a remplacé le labour par un sarclage par herbicide sous le vignoble de Ouzera, l'ho- rizon superficiel s'est tassé et le ruissellement a été mul- tiplié par trois, alors que les pertes en terre ont diminué. Du fait de cette amélioration temporaire, le labour a réduit le ruissellement et l'érosion durant ces années déficitaires. Mais, lors des années humides (et des averses ou séries d'averses exceptionnelles), leur capacité de stockage et d'infiltration en eau peut être dépassée par l'abondance des pluies : surtout sur forte pente, les risques d'érosion sont plus élevés sur les sols travaillés, car le labour a réduit leur cohésion. L'érosion en nappe et en rigole Les pertes en terre mesurées sous végétation naturelle sont très réduites ( $E = 30$  à  $400$  kg/ha) du fait des litières et végétations

basses, et du même ordre que les observations en parcelle d'érosion sous les garrigues méditerranéennes (CLAUZON et VAUDOUR, 1969 ; MARTIN, 1975 ; DELHOUME, 1981). Cependant, sur le sol fersialitique tassé, l'érosion en nappe a atteint 2 t/ha/an la première année sous matorral dégradé, valeur peut-être surestimée à cause des perturbations de la surface lors de l'installation des tôles de bordure. Dans ces paysages surpâturés, on observe très souvent des chemins d'eau évoluant en ravines dangereuses.

L'érosion en nappe a été très modérée sur les diverses cultures testées ( $E = 0,04$  à  $3$  t/ha/an) et même sur les jachères nues travaillées ( $E = 0,7$  à  $20$  t/ha/an) malgré des pentes fortes (10 à 45 %). En effet, l'agressivité des pluies a été faible ( $RUSA < 50$ ) et les sols sont très résistants ( $K = 0,002$  à  $0,025$ ), riches en argile saturée de calcium et souvent caillouteux. à titre de comparaison, sur les sols ferrallitiques sableux très résistants de basse Côte d'Ivoire (pluie : 2 000 mm), ROOSE (1973, 1980) a mesuré sur jachère nue des pertes en terre de 500 à 700 t/ha/an sur les mêmes dispositifs. Pour des pluies quatre fois plus abondantes et vingt fois plus agressives, les pertes en terre sont trente-cinq fois plus importantes à Abidjan avec 22 % de pente qu'à Ouzera sur un versant de 35 % de pente.

L'érosion en nappe, bien que sélective vis-à-vis des particules légères (matière organique, argile et limon) et des nutriments, ne semble pas le processus le plus actif sur les versants méditerranéens : même en comptant les plus fortes pertes observées sur sol rouge et 35 % de pente à Ouzera, soit 20 t/ha/an (= 1,3 mm de sol), il faudrait vingt-cinq siècles pour décaper l'horizon humifère sur 20 cm.

L'érosion en rigole et l'érosion mécanique sèche (par les instruments aratoires), qui ne sont pas sélectives, semblent bien plus actives dans l'évolution de la couverture pédologique des versants montagnards méditerranéens : le décapage de l'horizon humifère est plus fréquent que son appauvrissement en particules fines (A + L) et peut se faire en une génération. Par exemple, il manque 30 cm de sol entre les arbres d'un verger planté il y a trente ans près de la station d'Ouzera (soit 15 cm sur toute la surface de la parcelle). Même si on cumule pendant trente ans l'érosion mesurée à la parcelle nue près de ce verger (15 t/ha/an = 1 mm), l'érosion en nappe ne dépasserait pas 3 cm, tandis que la reptation de l'horizon cultivé atteindrait 12 cm (labour croisé au tracteur deux fois l'an). Ce processus de reptation par le travail du sol (tillage erosion des Américains) est encore très mal connu (WASSMER, 1981, au Rwanda ; REVEL et al., 1989-1990, en France) et fut souvent confondu avec l'érosion en nappe : sa vitesse de décapage augmente avec la fréquence des passages et la puissance des outils aratoires ainsi qu'avec la pente (ROSE et

BERTRAND, 1971 ; ROSSE, 1994). Le travail du sol participe activement à la formation des talus en bordure des champs.

## DISCUSSION

### L'érodibilité des sols

L'érodibilité (Kusle) des quatre types de sols testés sous pluies naturelles déficitaires pendant deux à six ans (tabl. II) a été calculée d'après l'équation de WISCHMEIER et SMITH (1978) :  $K_{usA} = EIR_{0,2} \times SL \times 2,24$

L'indice d'érodibilité des sols varie de  $K = 0,002$  à  $0,033$ . L'érodibilité serait donc très faible d'après l'échelle mondiale où  $K$  augmente de 0,01 à 0,70 avec la fragilité des sols. Cependant, l'érosion augmente avec les années et avec l'agressivité des pluies : on peut donc s'attendre à une majoration de l'érodibilité des sols de Tlemcen, Mascara et Taasalet. L'érosion sur jachère nue a été la plus forte sur sol fersialitique (5 à 20 t/ha/an), moyenne sur les sols vertiques gris ( $E = 0,5$  à  $6$  t/ha/an) et faible sur les sols bruns calcaires ( $E = 0,5$  à  $3,6$  t/ha/an) et les rendzines ( $E < 2$  t/ha/an). Le classement des sols en fonction des risques (par ordre décroissant) est donc un peu différent : - risques de ruissellement : vertisols, sols fersialitiques, sols bruns calcaires, rendzine ; - risques d'érosion en nappe : sols fersialitiques, vertisols, sols bruns calcaires, rendzine. En réalité, si les vertisols sont résistants à la battance, une fois réhydratés le ruissellement est si fort qu'il provoque du ravinement.

TABLEAU II Érodibilité (Kusle x 1 000) de quatre types de sols nus travaillés soumis aux pluies naturelles  
Erodibility of four types of bare tilled soils subjected to natural rainfalls (expressed in Kusle x 1 000)

Station Fersialitique Vertisol Brun calcaire Rendzine rouge gris-brun brun + cailloux gris foncé  
Ouzera 11 a20 13à33 2à4 Tlemcen 25 25à 10 10 5  
Mascara 2 13 Oued Mina - 5à 10 2  
Cah. Orstom, sér. Pédol., vol. XXVIII, no 2, 1993 : 289-308 297

E. ROOSE, M. ARABI, K. BRAHAMIA, R. CHEBBANI, M. MAZOUR et B. MORSLI

### L'effet de pente

Il est difficile de comparer sur les versants les risques de ruissellement et d'érosion en fonction de la pente, car les sols varient en même temps que les pentes, sauf dans la zone de Tlemcen où la pente augmente de 15 à 30 % sur un sol verticale gris sur marne. Le tableau III montre clairement que, sur les jachères nues, les ruissellements moyen et maximal ont tendance à diminuer lorsque la pente augmente et que l'érosion est davantage liée au type de sol qu'à la pente. Ce résultat étonnant a déjà été observé au Maroc sur vertisol (HEUSCH, 1970) et en Côte d'Ivoire sur sol ferrallitique (ROSE, 1973). HEUSCH (1970) a aussi

montré que, sur vertisols, la position du champ dans la toposéquence a parfois plus d'importance pour l'érosion que la pente elle-même.

Or la plupart des études du risque d'érosion sont actuellement basées sur l'occupation des sols, l'érodibilité des sols ou des roches et la pente (pourcentage et longueur) (LE LANDAIS et FABRE, 1996). Nos résultats remettent en question certaines conclusions de ces études et l'utilisation classique des équations de Ramser, SACCARDY (1950), Bourgeat et autres selon lesquelles la fréquence des terrasses doit augmenter avec l'inclinaison de la pente (LEFAY, 1986).

TABLEAU III Influence de la pente et du type de sol sur le ruissellement et l'érosion sur une jachère nue. D'après ARABI et ROOSE (1992) et MAZOUR (1992) Influence of slope and of the soil type on runoff and erosion on bare soil. After ARABI and ROOSE (1992) and MAZOUR (1992)

Type de sol	surf. couv. (t/ha/an)	Pente (%)	Kram	Krmax	E par les (%)	1%)
Ouzera Vertisol gris	12	21	86	2,3	0	30
Sol fersiallitique rouge	20	57	12,0	20	35	12
Sol brun calcaire colluvial	36	2,5	16	40	11	34
Tlemcen Sol vertique gris	2,7	5	15	10	39	5,7
Sol brun calcaire sur versant	4	20	6	25	2,4	3
Sol vertique gris	30	7	27	2,5		

Influence de l'amélioration des systèmes culturaux (tabl. IV)

L'amélioration du couvert végétal (densité, fertilisation, rotation avec des légumineuses, cultures intercalaires sous la vigne et les abricotiers) a réduit plus ou moins fortement les risques d'érosion et de ruissellement. Mais le résultat le plus important concerne l'amélioration très significative des rendements des cultures et des revenus des agriculteurs.

significativement (de 0,2 à 2 ou 3 t/ha/an) : cette biomasse supplémentaire peut à son tour améliorer la production animale ainsi que la disponibilité en fumier et compost, si nécessaire pour entretenir la fertilité du sol, la stabilité structurale, la capacité d'infiltration et la résistance à l'érosion.

À Ouzera, où les expériences sont plus avancées, les rendements observés sur les parcelles d'érosion soumises aux systèmes traditionnels sont aussi médiocres que sur les champs des paysans voisins : 7 q/ha pour le blé d'hiver, 28 q/ha pour le raisin et 8 q/ha pour les abricots, les abricotiers étant malades. Sur les parcelles d'érosion situées juste à côté, grâce aux techniques culturales améliorées, les rendements ont atteint, en culture pure, 48 à 65 q/ha pour le blé, 40 q/ha pour le raisin, 10 q/ha pour les abricots, et en plus, en cultures associées, 34 q/ha de fève et 30 q/ha de blé. Il est vraisemblable que l'amélioration des rendements

ne sera pas aussi spectaculaire sur les grandes surfaces en milieu paysan que sur les petites parcelles de 100 m<sup>2</sup>, mais le premier pas est franchi qui consistait à démontrer qu'il est possible à la fois d'intensifier l'agriculture de montagne et de réduire les risques de dégradation de l'environnement rural. Des résultats similaires ont été obtenus par quelques paysans à Ouzera et à Tlemcen sur des champs d'un hectare (MAZOUR, 1992).

En même temps, la production de paille, de feuilles de légumineuses et autres résidus de culture a augmenté. L'étape suivante consiste à démontrer que ces changements sont rentables pour le paysan, condition essentielle pour que l'effort d'intensification soit accepté avec la lutte antiérosive. Si on soustrait du chiffre d'affaires le prix des intrants supplémentaires (graines sélectionnées, engrais, pesticides, herbicides, travail supplémentaire pour les soins à la culture et à la récolte), il reste au paysan un revenu net par hectare largement supérieur à celui qu'on peut obtenir avec les cultures traditionnelles : - pâturage extensif en zone forestière : 17 dollars ; - blé d'hiver traditionnel suivi d'une jachère pâturée : 250 dollars ; - rotation intensive blé-légumineuse fourragère : 2 400 dollars ; - rotation intensive blé-fève : 2 500 dollars ; - verger d'abricotiers ou vigne traditionnelle : 605 à 2 500 dollars ; - verger ou vigne intensive avec culture intercalaire : 3 000 à 5 100 dollars.

TABLEAU IV Effet de l'amélioration des systèmes culturaux sur le ruissellement, l'érosion, le rendement et le revenu annuel net à Ouzera (1 dollar US = 30 dinars). D'après ARABI et ROOSE, 1992 Effects of the improvement in trop systems on runoff; erosion, production and annual net income at Ouzera (after ARABI and ROSSE, 1992)

Systèmes	Kram	Krmax	Érosion (%)	Rendements (%)	Revenus nets (%)	Wha/an	Wha (dollars US)
Agropastoral Traditionnel	2,4	14	0,23	7	b + 2.3	p 250	sur vertisol Amélioré
Agropastoral Amélioré	0,9	5	0,05	48b+22p+70f+27rc	2 500		
Dégradé	15	25	2,0	17			Sylvopastoral Reforesté
Dégradé	2	0,05					forfait sur sol brun Enherbé
Dégradé	1,0	4	0,03				forfait
Verger Traditionnel	5,0	12	0,9	11	a	605	sur sol rouge Amélioré
Verger Amélioré	0,7	3	0,1	10a+64f+33b+lgrc	3 000		
Vigne Traditionnel	2	8	0,2	29r	2 500		sur sol brun colluvial Amélioré
Vigne Amélioré	0,2	2	0,01	37 r + 37 fi	29 b + 4 rc	5 100	

b = blé, p = paille, f = fèves, rc = résidu de culture, a = abricot, r = raisin.

Ces résultats montrent qu'en intensifiant le système de production on a multiplié par dix le revenu à l'hectare en produisant des céréales et on l'a multiplié par trois si on cultive déjà des vignes. Avec un tel bénéfice, les

paysans peuvent saisir l'intérêt qu'il y a pour eux à changer de système de production (du blé extensif à la vigne intensive avec blé intercalaire) et à adopter les techniques culturales améliorées, parmi lesquelles sont proposées les techniques antiérosives les mieux adaptées aux conditions écologiques et économiques du paysan. Bien que nous n'ayons pas développé d'action de vulgarisation, les paysans vivant à proximité de nos parcelles expérimentales ont copié avec succès nos méthodes améliorées à Ouzera. Par contre, dans les zones sinistrées par le manque de pluie ces dernières années (moins de 350 mm), le risque d'échaudage en année sèche réduit l'extension de ces pratiques intensives (coût des intrants non valorisés).

## CONCLUSION

Les résultats obtenus à partir de l'observation du ruissellement, de l'érosion en nappe, des rendements de biomasse et des revenus nets sur un réseau de 50 parcelles d'érosion réparties dans quatre sites bioclimatiques différents confirment largement les premiers résultats obtenus à la station INRF de Ouzera (ARABI et ROSE, 1992), à savoir qu'il est techniquement possible d'intensifier la production en montagne méditerranéenne et d'améliorer les revenus des paysans, sans dégrader l'environnement. Mais les résultats les plus récents montrent que cela n'est vrai qu'à condition de recevoir suffisamment de pluies (plus de 400 mm bien répartis). Or les précipitations et leur agressivité ont été largement déficitaires pendant les années 1984 à 1995 dans la région septentrionale de l'Algérie. Toutefois, même en année normale (1991), le ruissellement moyen et les pertes en terre furent modérés sous matorral pâturé, de même que sous culture ( $K_{ram} < 10\%$  et  $E < 3 \text{ t/ha/an}$ ) ; seules quelques grosses averses tombant sur un sol saturé ou tassé ont donné lieu à des ruissellements très abondants (30 % à plus de 80 % des pluies). Il se confirme donc que la source des transports solides qui menacent la durée de vie des barrages n'est pas à rechercher dans les phénomènes d'érosion en nappe, mais bien dans le ravinement des versants, les glissements de berge (en particulier autour des lacs) et l'érosion des oueds en crue. Cependant, la masse d'eau de ruissellement ne peut provenir uniquement de la surface occupée par les ravines et les oueds (moins de 10 %) : elle provient en majorité des terres saturées, soit superficielles ou décapées, soit tassées par le surpâturage (parcours dégradés ou pistes), ou encore encroûtées par la battance des pluies. On ne peut donc faire l'économie de l'aménagement de toute la surface des bassins versants d'où proviennent les eaux des crues. Mais, au lieu de concentrer les eaux superficielles excédentaires dans des canaux qui risquent de déborder ou de glisser lorsque les versants sont saturés, et de creuser des ravines aux exutoires, nous proposons d'étaler les eaux en nappes et de dissiper leur énergie sur la rugosité des

sols, grâce à des haies vives et des talus enherbés (méthode traditionnelle très répandue mais à améliorer) (ROSSE, 1994). Autre observation importante : la pente n'est pas le facteur essentiel du risque érosif. Malgré des versants très raides (10 à 45%), les risques d'érosion en nappe ont été très modestes. De plus, en région méditerranéenne, les pentes sont liées à la lithologie et au type de sol : les roches dures protègent souvent des pentes fortes et des sols résistants tandis que les roches tendres donnent des sols fragiles sur des pentes plus douces ; les pertes en terre peuvent donc être supérieures sur les pentes modérées. Les sols de montagne, souvent superficiels, sont mélangés à divers fragments de roche qui vont augmenter leur résistance à la battance des gouttes de pluie et au cisaillement du ruissellement. Par ailleurs, dans les paysages jeunes, l'érosion tend à décapier les sols cultivés plutôt qu'à appauvrir les profils en particules fines : en conséquence, les horizons superficiels sont généralement riches en argiles saturées en calcium et caillouteux, donc peu érodibles. Enfin, le bord des oueds et le bas des collines semblent souvent gravement attaqués par le ravinement remontant, le soutirage et les mouvements de masse.

Il est donc révolu le temps des « conservationnistes » qui aménageaient des bassins versants de plusieurs milliers d'hectares avec une seule méthode (la banquette et ses variantes), sans se soucier de la couverture végétale, ni des techniques culturales, en s'appuyant sur le seul facteur topographique ! Les structures de gestion des eaux de surface peuvent jouer un rôle utile, une fois qu'on a défini le système de production et les risques réels de ruissellement et d'érosion. Chaque versant exige une étude approfondie si on veut intervenir pour stabiliser durablement le paysage et valoriser le travail des hommes qui en vivent.

## BIBLIOGRAPHIE

- ARABI (M.), 1991 - influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen (Médéa, Algérie). Thèse géographie, Univ. Grenoble, 272 p.
- ARABI (M.), ROOSE (E.), 1989 - Influence de quatre systèmes de production de moyenne montagne méditerranéenne algérienne. Bull. Réseau Érosion, 9 : 39-51.
- ARABI (M.), ROOSE (E.), 1992 - « Water and Soil fertility management (GCES). A new strategy to fight erosion in Algerian mountains ». In : 7th ISCO Conference Proc. 3, 3 : 341-347.
- AUBERT (G.), 1987 - Érodibilité des sols de la région d'Ouzera. Bull. Réseau Érosion, 8 : 97-99.
- BRAHAMIA (K.), 1993 - Essai sur la dynamique actuelle dans la moyenne montagne méditerranéenne : bassin versant de l'oued Mina (zone de Taassalet), Algérie. Thèse doct. géographie, Univ. Grenoble, 241 p.
- CHEBBANI (R.), MEDEDJEL (N.), BELAIDI (S.), 1995 - Application de la GCES dans la région de Tlemcen, Algérie. Bull. Réseau Érosion, 15 : 489-497.
- CLAUZON (G.), VAUDOUR (J.), 1969 - Observations sur les effets de la pluie en Provence. Annales de Géographie, 13 (4) : 390-405.
- DELHOUME (J.-P.), 1981 - Études en milieu méditerranéen semi-aride: ruissellement et

érosion en zone montagneuse de Tunisie centrale (Djebel Semmama). Campagnes 1975 à 1979. Tunis, Orstom/DRE, 187 p. (In : Processus et mesure de l'érosion, 1987, CNRS : 487-507). 300

DEMMAK (A.), 1982 - Recherche d'une relation empirique entre les apports solides et les paramètres physico-climatiques des bassins. *AISH*, 144 : 403-414. GRÉCO (J.), 1979 - La défense des sols contre l'érosion. Paris, La Maison Rustique, 183 p. HEUSCH (B.), 1970 - L'érosion du Pré-Rif. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré-Rif Occidental (Maroc). *Annales Recherches Forestières au Maroc*, 12 : 9-176. HEUSCH (B.), 1986 - Cinquante ans de banquettes de DRS en Afrique du Nord : un bilan. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 22 (2) : 153-162.

KALMANN (R.), 1976 - Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin du Sebou. Rabat, projet Sebou, 40 p. KOUIDRI (R.), ARABI (M.), ROOSE (E.), 1989 - Premiers résultats de quantification du ruissellement et de l'érosion en nappe sur jachère en Algérie. *Bull. Réseau Érosion*, 9 : 33-38.

LAOUINA (A.), 1992 - Recherches actuelles sur les processus d'érosion au Maroc. *Bull. Réseau Érosion*, 12 : 292-299. LEFAY (O.), 1986 - Étude de l'efficacité des travaux de DRS en Algérie. Mémoire stage, Cnearc/Orstom/INRF, 50 p.

LE LANDAIS (F.), FABRE (G.), 1996 - Plan d'aménagement anti-érosif du bassin versant de l'oued Ouergha (Maroc). Risques d'érosion et système d'information géographique. *Bull. Réseau Érosion*, 16, sous presse. MARTIN (C.), 1975 - L'érosion des sols sur roches métamorphiques en milieu méditerranéen provençal. *Rev. Géomorphologie Dynamique*, 24 : 49 - 63. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVIII, no 2, 1993 : 289-308

Réduction des risques d'érosion et intensification par la GCES en Algérie

MAZOUR (M.), 1992 - Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant de l'oued Isser : Tlemcen, Algérie. *Bull. Réseau Érosion*, 12 : 300-313. MONJAUZE (A.), 1962 - Rénovation rurale : rôle et dispositifs d'infiltration. Alger, Délégation générale, département des Forêts, service de DRS, 16 p. MORSLI (M.), 1995 - Les sols de montagne et leur susceptibilité à l'érosion. Cas des monts de Beni-Chougrane. Thèse de magistère, Ina, Alger, 170 p. PIHAN (J.), 1978 - Annuaire des valeurs mensuelles de l'indice d'érosivité de Wischmeier relatives aux stations officielles de la Météorologie nationale. Rennes, Laboratoire Inral Université Haute-Bretagne, 110 p. PLANTÉ (L.), 1961 - Technique franco-algérienne des banquettes de DRS. Oran, Délégation générale, département des Forêts, service de DRS, 22 p. POUGET (M.), 1974 - Étude agro-pédologique de la région de Ouzera. Alger, ANRH, 72 p. PUTOD (R.), 1956 - La protection des vignes contre l'érosion. *Rev. Agron. Afrique du Nord*, 19 : 567-576. REVEL (J.-C.), COSTE (N.), CAVALIÉ (T.), COSTES (J.-L.), 1989- 1990 - Premiers résultats expérimentaux sur l'enracinement mécanique des terres par le travail du sol dans le Terrefort toulousain (France). *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 25 (1-2): 111-118. ROOSE (E.), 1968 - Protocole standard pour les parcelles de mesure de l'érosion en nappe en accord avec le modèle USLE de Wischmeier. Montpellier, Orstom, 12 p.

ROOSE (E.), 1972 - « Comparaison des causes de l'érosion et des principes de LAE en régions tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne ». In : Journées d'études du Génie rural, Florence, Italie : 417-441. ROOSE (E.), 1973 - Dix-sept années de mesure de l'érosion sur un sol ferrallitique sableux de Côte d'Ivoire. Thèse

doct.-ing., fac. Sciences, Abidjan, no 20, 125 p. RUSSE (E.), 1987 -Évolution des stratégies de lutte antiérosive. Nouvelle démarche proposée en Algérie : la GCES. *Bull. Réseau Érosion*, 7 : 91-96. ROOSE (E.), 1994 - Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bull. Pédol. FAO*, 70, 420 p. ROOSE (E.), ARABI (M.), 1994 - Intensification de l'agriculture sans dégradation en montagne méditerranéenne. *Bull. Pédol. FAO*, 70 : 363-370 (<< Introduction à la GCES >>). ROOSE (E.), BERTRAND (R.), 1971 - Contribution à l'étude des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'ouest. *Agron. Trop.*, 26 (11) : 1270-1283. SACCARDY (L.), 1950 - Note sur le calcul des banquettes de restauration des sols. *Terres et Eaux*, 11 : 3-19. WASSMER (P.), 1981 - Recherches géomorphologiques au Rwanda. Étude de l'érosion des sols et de ses conséquences dans la préfecture de Ibuté. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Strasbourg, 144 p. WISCHMEIER (W. H.), SMITH (D. D.), 1978 - Predicting rainfall erosion losses. A guide to soil conservation planning. Washington, USDA, Handbook no 537, 58 p. **Sources :** *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVIII, no 2, 1993 : 289-308 289 E. ROOSE, M. ARABI. K. BRAHAMIA. R. CHEBBANI. M. MAZOLJR et B. MORSLI

#### ANNEXES (voir l'article en ligne)

##### Photos :

La GCES appliquée à l'aménagement des versants cultivés et aux ravines dans les montagnes méditerranéennes semi-arides algériennes : 28%308 Photos : E. Roose

Les abricotiers ne protègent pas la terre durant les pluies les plus agressives de l'hiver et du printemps. De plus, le double labour croisé pousse les terres arables vers l'aval de telle sorte qu'au bout de 30 ans il manque 30 cm de terre entre les arbres.

Sur le versant calcaro-marneux surpâturé de Souagui, le ruissellement lors des averses exceptionnelles a creusé une série de ravines parallèles. Les transports de sédiments (100 à 300 t/hal) lors des plus grosses averses correspondent à l'arrachement des altérites (10-15 mm) formées sur les versants en V.

L'aménagement de ce verger (ban- de enherbée entre les arbres) et l'introduction d'une culture associée (blé/fève) ont réduit les pertes en terre et en eau et amélioré le couvert végétal en saison pluvieuse ainsi que les revenus nets des paysans. Cette stratégie de protection de l'environnement montagnard par l'intensification de la production est beaucoup mieux acceptée que les terrassements conventionnels.

L'équipe « érosion » de l'Inref a comparé divers types de seuils aux gabions conventionnels. Ces derniers coûtent cher et doivent être soigneusement construits et fixés par la végétation pour éviter que se forment des « renards », tunnels sous le seuil qui remobilisent tous les sédiments et peuvent détruire le dispositif de proche en proche. Ce seuil léger constitué de grillage de fer ou de plastique (maille de 1 cm), appuyé sur des fers cornières de 250 cm de long, enfoncés de 50 cm dans le sol et stabilisés par des tendeurs en fil de fer galvanisé, coûte quatre fois moins cher que les gabions. Il est plus souple à utiliser en montagne et tout aussi efficace pour piéger les sédiments. Après fixation du fond de ravine par quatre types de seuils, les versants qui tendent vers la pente d'équilibre se sont revégétalisés naturellement. La ravine stabilisée fonctionne comme une « oasis linéaire », havre de verdure dans ce milieu particulièrement aride en été.

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

B. MORSLI<sup>1</sup>, M. HABI<sup>2</sup>, M. MAZOUR<sup>3</sup>, A. HAMOUDI<sup>4</sup> & A. HALITIM<sup>5</sup> 2012

<sup>1</sup>Institut National de la Recherche Forestière (INRF), Unité d'Érosion et de Désertification, Tlemcen, Algérie, [morsli\\_boutkhil@yahoo.fr](mailto:morsli_boutkhil@yahoo.fr) <sup>2</sup>Université de Tlemcen, Faculté de l'Ingénieur, Tlemcen, Algérie, [moha.habi@gmx.de](mailto:moha.habi@gmx.de)

## Résumé

En Algérie, environ 6 millions d'hectares sont exposés à une érosion active. L'érosion spécifique varie entre 2000 et 4000 t/km<sup>2</sup>/an. Vu les enjeux prioritaires, il s'est manifesté un besoin de recherche de quantification des processus et de l'impact des facteurs conditionnels et en particulier des systèmes de gestion. Ce travail rentre dans ce cadre et a permis de contribuer à l'étude des facteurs conditionnels de l'érosion en nappe sous pluies naturelles et artificielles.

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

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

## INTRODUCTION

La zone méditerranéenne a la réputation d'être sujet à des risques érosifs très élevés (Hudson, 1991). Au Maghreb, les potentialités en eau et en sol sont sérieusement menacées (Heush et al., 1970; Demmak, 1982; Meddi, 1992; Morsli, 1996; Touaibia et al., 2000; Mazour et al., 2002; Laouina et al., 2000; Roose et al., 1993). En Algérie, 45 % des terres fertiles ont été endommagées par l'érosion (Gay, 1995). L'érosion spécifique annuelle moyenne varie entre 2 000 et 4 000 t/km<sup>2</sup> (Demmak, 1982). Environ 6 millions d'hectares sont exposés aujourd'hui à une érosion active (Heddadj, 1997). Le ministère de l'Agriculture (1984) chiffre la perte de terres entre 20.000 et 40.000 hectares par an. Les pertes annuelles des eaux dans les barrages sont estimées à environ 20 millions de m<sup>3</sup> dues à l'envasement (Remini, 2000). Les conséquences ne cessent de s'amplifier et la subsistance des populations est de plus en plus menacée, principalement dans les montagnes où se répartissent plus de 8 millions d'habitants. De grands moyens ont été déployés, mais ces efforts n'ont pas toujours atteint leurs objectifs. La maîtrise de l'érosion est devenue donc un enjeu prioritaire. Vu le manque de données chiffrées sur l'ampleur des processus et l'insuffisance sur la connaissance et la hiérarchisation de l'influence des facteurs en cause, il s'est manifesté un besoin de recherche sur les facteurs conditionnels de l'érosion et en particulier des systèmes de gestion au niveau des versants: c'est l'objet de ce travail.

## MÉTHODOLOGIE

L'approche est basée sur l'utilisation de parcelles expérimentales de 100 m<sup>2</sup> (fig.1) sur lesquelles les dynamiques érosives et les différentes situations culturales ont été analysées pendant 12 années dans le nord ouest algérien. Les principales utilisations du sol, préalablement identifiées, ont été analysées. Cette approche est complétée par l'utilisation de la

simulation de pluies pour analyser certaines situations et états de surface qu'il n'a pas été possible d'analyser sur des parcelles expérimentales de 100 m<sup>2</sup>. Le simulateur de pluie utilisé est de type ORSTOM (fig.1). Avant chaque simulation, l'état de surface des parcelles est caractérisé. Nous avons relevé le taux de surfaces fermées (pellicule, croûte, zones tassées et cailloux inclus dans la masse du sol) et de surfaces couvertes (adventices, litière et cailloux) à travers l'observation régulière par la méthode des points quadrats (Roose, 1996) ainsi que l'humidité initiale (des échantillons prélevés avant et après la simulation dans l'horizon de surface sont pesés et placés à l'étuve à 105°C pendant 24 heures). Ces mesures sont complétées par un suivi photographique (photos numériques) pour caractériser l'évolution de l'état de surface du sol. La zone d'étude est située dans les monts de Beni Chougrane-Mascara et de Tlemcen (fig.2). La zone du nord ouest algérien, où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres, est la région la plus érodée du pays. De nombreux facteurs, tant physiques qu'humains (climat, relief, lithologie, modes d'utilisation des terres), font des chaînons du nord ouest des régions de forte érosion. Les problèmes de ruissellement et d'érosion se sont aggravés et étendus à des zones jusqu'ici épargnées. L'érosion hydrique est devenue un phénomène très répandu et tellement grave qu'on peut le médiatiser de catastrophe.

Fig. 1. (a) le simulateur de pluie utilisé et ses accessoires (modèle ORSTOM), (b) parcelle d'érosion de 100 m<sup>2</sup>

Fig. 2. Situation des zones d'étude

## RESULTATS

Les pluies enregistrées dans ces zones de montagne du Nord ouest algérien, pendant la période d'étude (1993 à 2004), varient de 240 à 540 mm (coefficient de variance = 0,30). La campagne

1992/1993 présente la période la plus sèche (242 mm) et celle de 1995/1996, la campagne la plus pluvieuse (540mm). Dans le Tell algérien, la fréquence des années de grande sécheresse est de 20% dans le Tell. La répartition des pluies, à l'échelle annuelle est très irrégulière. Durant la saison des pluies, ils se présentent plusieurs épisodes secs. Les précipitations durant ces années de mesures sont en général faibles, les pluies tombées dont la hauteur est inférieure à 10 mm représentent 60 %. Les cumuls de quatre ou cinq pluies en 24 heures, les plus fortes de l'année, peuvent dépasser les 30 % des précipitations annuelles. Les pluies les plus fortes ont la même probabilité d'apparition dans les années de sécheresse que dans celles d'excédent pluviométrique.

Parmi les averses les plus graves, les pluies du 10 et 11 novembre 2001, avec plus de 100mm en deux jours.

Les épisodes pluvieux sont caractérisés par l'abondance et la violence des averses de courte durée observées le plus souvent lors des orages de fin d'été et d'automne: les intensités peuvent dépasser les 100 mm/h pour des durées de moins de 10 mn (120 mm/h en 5mn pendant la campagne 1995/1996). Pour des durées plus longues, les intensités ont atteint 75 mm/h pendant 30 mn. L'indice Rusa d'agressivité des pluies de l'équation de Wischmeier et Smith (1960) calculé sur la base de dépouillement des pluies enregistrées sur les pluviographes oscille entre 12,1 et 23,8 unités en moyenne. Ces résultats sont en concordance avec ceux obtenus par Gomer (1992), Roose et al (1993) et Touaibia et al (2000). Cela semble indiquer que les pluies saturantes, les systèmes de gestion, les sols et leur interaction sont à l'origine des phénomènes catastrophiques plus que l'agressivité des pluies orageuses. La conjugaison des caractéristiques morpho pédoclimatiques engendre des ruissellements et des érosions considérables aux exutoires des bassins versants (Lacosta, 1993).

### L'effet sol

D'après l'équation USLE, le facteur d'érodibilité varie entre 0.002 et 0.04, classant ainsi les sols de cette zone comme étant des sols résistants. Les valeurs obtenues par le nomographe de Wischmeier et al (1971) montrent par contre que les sols limoneux en particulier sont moyennement fragiles à fragiles (tabl.1). L'étude TESCULT (2004) a montré que la majorité du bassin de Fergoug-Mascara possède un facteur K variant de 0,032 à 0,065 t MJ-1mm-1 (le K a été calculé en fonction des classes des unités pédogéologiques).

L'indice d'instabilité structurale (Is) qui permet de prévoir la sensibilité du sol à l'érosion varie entre 0.6 et 4,1 pour les sols étudiés (tabl.2).

Les sols riches en limon et en sable fin (SB, SR) et

pauvres en matière organique apparaissent comme les plus sensibles à la battance ( $1.8 < Is < 4,1$ ). Les taux les plus élevés d'agrégats stables sont enregistrés sur sol brun vertique à texture argileuse. Par contre les taux les plus faibles sont ceux du sol brun sur grès de texture limoneuse, ces valeurs montrent la faible résistance des sols limoneux au phénomène d'éclatement.

Tableau1. L'érodibilité des principaux types de sols du nord ouest algérien

Types de sols	Ruissellement %	Erosion (t/ha/an)	Erodibilité Kusle	Erodibilité nomogramme Kram
Krmax Brun calcaire vertique	2,7- 9,3	32 1,5 – 6,8	0,002 – 0,008	0,11 - 0,15
Brun calcaire (limoneux)	4,1-12,2	32 2,6 – 8,5	0,018 – 0,040	0,26 - 0,40
Rouge fersiallitique	2,2 -13,6	27 2,4 – 5,2	0,014 – 0,020	0,21 - 0,34
Vertisol	3,05 – 6,8	25 1,4 – 6,5	0,04 - 0,15	
Brun calcaire colluvial	10,2 36	4,1 0,004 – 0,015	0.15 - 0.20	
Peu évolué sur grès	0,32 - 0,39			
Peu évolué sur marne	0,14 - 0,23			
Peu évolué d'apport alluvial	0.17 - 0,25			
Isohumique	0.13			

### Tableau

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

#### Caractéristiques SB CV SBV CV SR CV

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

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

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

En réalité, si les sols vertiques sont résistants à la battance, une fois réhydratés le ruissellement est si fort

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

A l'état plus au moins saturé, la pluie d'imbibition devient très faible (1 à 2 mm) (fig.3), ce qui déclenche facilement le ruissellement. Les sols argileux sont sensibles aux forces de cisaillement qui arrachent le sol au fond et sur les flancs des rigoles. Si ces sols sont résistants à l'érosion en nappe, ils restent sensibles au ravinement. La résistance d'un profil de sol au ruissellement est différente de «l'érodibilité» d'un sol à la battance des gouttes de pluie.

La résistance des sols limoneux (sols limoneux) est variable d'une situation à une autre, mais en général, elle reste faible. Ils sont instables et l'infiltration est relativement faible. Ils sont caractérisés par la présence des croûtes de battance qui ne font que diminuer le délai d'apparition du ruissellement. Ces sols, surtout ceux qui sont continuellement exploités d'une façon minière, sont pauvres en matières organiques et très instables. L'impact des gouttes de pluie attaque facilement les agrégats terreux, provoquant une diminution de rugosité, un colmatage des pores et une formation d'une croûte superficielle réduisant ainsi l'infiltration et augmentant le ruissellement. Sur les sols bruns limoneux, l'érosion se traduit par un appauvrissement des horizons humifères et par un amincissement du sol. Les croupes des collines blanchissent: les horizons supérieurs en général de couleur plus foncée, sont érodés les premiers et les horizons inférieurs, plus claire, apparaissent en surface. C'est l'aspect classique des terres érodées et régulièrement cultivées. Le rôle de la texture apparaît déterminant dans la variabilité des résultats. Les résultats obtenus (tabl.3) montrent une corrélation significative entre l'indice d'instabilité (Is) et le rapport Limon/Argile ( $r = 0.90$ ) et entre le taux d'argile et les taux d'agrégats stables ( $r = 0.9$ ).

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

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

Paramètres mesurés	Aga	Agb	Age
Is			
Limon / Argile	- 0.68	- 0.67	- 0.68 0.90
Argile	0.96	0.96	- 0.60
Limons	- 0.40	- 0.39	- 0.40 - 0.52
M. Organique	0.74	0.74	0.67 - 0.37

M.O. / A. - 0.33 - 0.33 - 0.32 0.02

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

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

### Effet des systèmes traditionnels les plus pratiqués

Les terres labourables occupent des surfaces importantes dans les monts du Nord ouest algérien. L'essentiel de l'espace labourable est consacré aux céréales (blé, orge) qui laissent peu de place aux légumineuses. La jachère occupe aussi une proportion assez importante. Les systèmes traditionnels de gestion des sols montrent que les sols labourés s'érodent moins rapidement que les terrains en jachère non travaillés. L'effet conjoint des techniques culturales et du couvert végétal sur les sols travaillés a pu réduire considérablement l'érosion par rapport à celle observée sur sol nu (tabl. 4). A l'échelle parcellaire, l'apparition du ruissellement et le déclenchement d'érosion sont souvent la conséquence d'une modification des états de surface du sol (rugosité, croûtes de battance, cailloux et taux de couverture). Les pratiques culturales et le développement du couvert végétal sur les sols cultivés ont un rôle important dans la dynamique érosive, d'une part ils stockent de l'eau et améliorent l'infiltration et d'autre part ils limitent la dégradation de l'état de surface du sol grâce à la couverture du sol. Les mesures sur les parcelles d'érosion de 100 m<sup>2</sup> indiquent que l'érosion en nappe et en rigole sur les sols cultivés de ces zones de montagne reste modeste et



ne dépasse pas les 10 t/ha/an et qu'il existe des différences de comportement entre les situations et entre les sols étudiés. Les taux d'érosion en nappe et en rigole obtenus sont proches de ceux obtenus au niveau maghrébin par Arabi et al (1991), Gomer (1992), Roose et al (1993) et Mazour (2004) en Algérie et aussi par Laouina et al (2000) et Mouffadal (2001) au Maroc. A Ouzera, en Algérie, l'érosion en nappe et le ruissellement ont atteint respectivement 20 t et 80 % (Roose et al., 1993). L'érosion globale varie quant à elle dans des proportions encore plus grandes à l'échelle du Maghreb L'érosion dans le nord ouest algérien, peut être insignifiante dans de nombreux cas, comme elle peut atteindre des chiffres records (54 t/ha/an), comparables à ceux des badlands (Benchetrit, 1972). L'érosion ravinante a atteint les 100 t/ha/an dans les monts de Beni chougane (Morsli, 2002) et peut atteindre 300 t/ha/an (Roose et al, 2000). L'érosion dangereuse pour les infrastructures d'aval (envasement de barrages, inondation...) est due principalement aux ruissellements exceptionnels qui viennent des versants. Les taux d'érosion les plus élevés et les dégâts spectaculaires sont liés aux pluies exceptionnelles (tabl.6). Mais pour les zones d'amont, tous les ruissellements qui occasionnent des exportations de terres au niveau des versants présentent des risques et participent continuellement au décapage du sol et à la dégradation de sa fertilité. Dans ces zones le ruissellement et l'érosion en nappe altèrent d'une manière continue la mince pellicule organo-minérale de la surface du sol qui est la source essentielle de la fertilité. Les pertes totales du carbone organique peuvent dépasser les 28% (Morsli et al., 2006). Ce qui ressort de l'examen des résultats obtenus sur les

Tableau 4. Effet des différents systèmes traditionnels sur le ruissellement et l'érosion (1993-2004) parcelles de 100m<sup>2</sup>, c'est l'irrégularité des pertes en terre à l'échelle annuelle, quelles que soient les parcelles. Les taux les plus élevés, sont enregistrés au début de la saison pluvieuse où les conditions optimales du ruissellement sont réunies (pluies abondantes et relativement intenses, sol nu, croûte de battance).

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

(tabl. 5).

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

Saison Expression R  
 Automne  $Lr=0.29P-2.06$   $Es=471.9P^{0.25}-6.4431$   $Es=244.65Log(Lr)+309.91$   
 0.97 0.90 0.84  
 Hiver  $Lr=0.11P+0.041IPA-0.64$   $Es=64.25P-4.53IPA-2.04$   $Es=64.25Lr+1.45IPA+33.02$   
 0.92 0.88 0.95  
 Printemps  $Lr=0.12P+0.031IPA-0.42$   $Es=3.42P+53.3$   $Es=31.69Lr+72.26$   
 0.98 0.69 0.77  
 P: pluie en mm; I: intensité moyenne de la pluie en mm/h; Lr: lame

d'eau ruisselée; E: érosion en kg/ha; IPA: indice représentant l'état d'humidité du sol (pluie des cinq jours précédant le jour considéré). En automne et en saison chaude, la pluie intense explique mieux l'érosion. Les pluies orageuses, provoquent le détachement des particules du sol et leur transport. Ces premières pluies d'automne, souvent intenses et agressives tombant sur des sols nus et compactés, permettent d'engendrer des pertes en terres très élevées et par conséquent, des incisions (apparition des griffes et des rigoles). Les crues de cette saison, généralement très violentes et de courtes durées, sont très chargées en sédiments. En hiver et au printemps, le ruissellement explique mieux le phénomène érosion (le facteur de ruissellement prédomine et conditionne le phénomène érosion). En ces saisons, les pluies sont d'intensité modérée, mais, tombant sur un sol saturé et quelquefois aplani, elles provoquent un ruissellement important mais les eaux sont relativement moins chargées (Kouidri et al. 1993, Meddi 1994; Meddi et Morsli, 2001). Les risques majeurs sont liés à des averses exceptionnelles, soit des orages très violents lors des périodes intersaisons, soit des pluies longues et saturantes provoquant des ruissellements pouvant dépasser 38 % de ruissellement et plus de 5 t/ha d'érosion sur les sols labourés (tabl.6). La hauteur pluie et l'état d'humidité du sol expliquent environ 60 % de la variance du ruissellement ( $61 < R^2 < 68\%$ ). En ce qui concerne l'érosion, la hauteur de pluie et l'état d'humidité du sol n'arrivent à expliquer que 37 à 39 %. Ceci laisse apparaître que d'autres facteurs ont une influence dans l'explication du ruissellement tel que le sol et les états de surface. L'effet du sol a été déjà discuté ci-dessus, les caractéristiques intrinsèques du sol jouent un rôle dans la variabilité des résultats. Le rôle des états de surface apparaît déterminant dans la variabilité des résultats. De bonnes relations ont été obtenues entre les pluies d'imbibition (Pi) et les surfaces fermées (Sf) ( $0,60 < R^2 < 0,95$ ) et aussi entre Pi et les surfaces

couvertes ( $0,65 < R_2 < 0,70$ ). Les surfaces fermées jouent un rôle négatif dans la dynamique d'infiltration, les  $P_i$  diminuent lorsque les  $S_f$  augmentent. Les organisations superficielles du sol sont liées aux caractéristiques intrinsèques du sol. Suivant les types de sols de structure et texture données, l'état de surface et le comportement hydrodynamique diffèrent. Les sols argileux vertiques (profondément fissurés en période sèche, mais compacts en saison humide) diffèrent beaucoup des autres sols par leur comportement hydrodynamique particulier.

Le risque de ruissellement est minime lorsque le sol est sec et rugueux. Par contre, lorsque le sol est humide et surtout quand l'état de surface est dégradé par la battance des gouttes de pluie (dégradation de structure, colmatage des pores...), le risque de ruissellement augmente. Ce risque dépend encore plus des conditions pluviométriques, topographiques et culturelles. Le seuil de hauteur limite du déclenchement du

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

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

ruissellement et de l'érosion dépend en partie des caractéristiques des pluies (intensité, mais aussi du volume de pluie), de la pente et surtout de l'état de la surface du sol. La fréquence du ruissellement sur les différents types de sol s'explique en partie par les paramètres des états de surface (taux de saturation du sol, surfaces fermées, surfaces couvertes et rugosité). Ce seuil est plus élevé sur les sols rugueux et couverts. Les résultats ont bien montré l'effet de la couverture végétale et du travail du sol dans le retardement de la genèse du ruissellement et surtout celui du travail grossier et sans retournement (travail avec matériel à dents (chisel)). La grande rugosité confère au sol une capacité d'infiltration plus élevée et une disponibilité à rester ouvert plus longtemps et corrélativement, une susceptibilité plus faible au ruissellement et à l'érosion.

## CONCLUSION

Les travaux menés, sous pluies naturelles et simulées durant plusieurs années, ont permis de mieux appréhender le phénomène du ruissellement et de l'érosion. Les résultats ont montré

que les pertes en terre sont relativement faibles, même durant les années où les précipitations n'ont pas été déficitaires ( $K_{ram} < 12\%$  et  $E < 10t/ha/an$ ). Mais ces taux d'érosion dépassent souvent ce que la pédogenèse peut produire dans les conditions actuelles. Les grandes exportations sont liées aux ruissellements exceptionnels qui sont enregistrés en automne où les conditions optimales du ruissellement sont réunies (pluies abondantes et relativement intenses, sol nu, croûte de battance). Ces ruissellements qui génèrent beaucoup de griffes et de rigoles surtout sur les sols argileux sont à l'origine de dégradations spectaculaires qui marquent souvent le paysage pour plusieurs années. Le ruissellement maximal dépasse les 30 % et peut atteindre 80% sur sol nu et tassé, ce qui explique l'importance du ravinement et de l'envasement des barrages. Les masses d'eau ravinantes proviennent, dans une large proportion des versants. Tout aménagement de versants pentus doit viser l'étalement des eaux en nappe afin d'augmenter leur infiltration et de réduire leur capacité de dégradation (par dissipation de l'énergie du ruissellement sur la rugosité du sol et des cultures). Il existe des différences de comportement entre les situations culturelles pour un même type de sol et entre les sols. Les résultats montrent le rôle majeur des systèmes de gestion dans la dynamique érosive. Ces systèmes ne doivent pas être qualifiés systématiquement comme systèmes dégradants. Certains sont efficaces (réduction du ruissellement et de l'érosion, maintien ou augmentation de la fertilité et de la production) et d'autres nécessitent des améliorations. L'exploitation continue et rationnelle des sols ne présente pas de grand risque érosif. Ce sont surtout les sols nus, épuisés et/ou abandonnés, les jachères surpâturées, ou les pistes, qui causent les dommages les plus importants lorsque le ruissellement se rassemble dans des ravines.

L'impact négatif de certains systèmes peut être corrigé de façon à ramener les effets de l'érosion à des normes admissibles comme il a été démontré par les améliorations que nous avons effectuées (jachère mise en défens et améliorée par des légumineuses, paillage, billonnage avec relief accentué, travail du sol grossier et sans retournement). Ces améliorations ont permis d'augmenter la couverture et la rugosité du sol. Les indicateurs pertinents du ruissellement et de l'érosion, sont ceux qui sont liés au sol et aux états de surface du sol: les caractéristiques du sol (effet de la texture et de la structure), la rugosité (effet travail du sol), les organisations superficielles (effet des états de surface,  $S_f$ ) et des couvertures du sol. Nous avons constaté qu'une variation d'un de ces facteurs entraîne une variation du déclenchement du ruissellement et de l'érosion. Le ruissellement peut apparaître pour des valeurs seuils faibles (2 à 10 mm

de pluie) sur les situations dégradées et jusqu'à plus 30 mm lorsque le sol est bien couvert (forêt, matorral, culture paillée, etc). Le déficit hydrique de plus en plus prolongé (fréquence des sécheresses) et les modes de gestion appliqués qui ne suivent plus l'évolution bioclimatique du milieu naturel semblent jouer un rôle prédominant dans la sensibilité du milieu. La faible pluviosité enregistrée ces deux dernières décennies a eu des conséquences négatives sur le stock d'eau dans le sol et sur la production de biomasse. Cela modifie la structure superficielle des sols, leurs états de surface et diminue leur taux de matière organique. Seule une gestion appropriée peut réduire le ruissellement qui vient des versants et compenser les pertes en fertilité et enrichir le sol (cas des jachères mises en défens). Une telle utilisation pourrait assurer un équilibre durable entre la conservation de la fertilité et la productivité du sol.

## RÉFÉRENCES

- Arabi M. et Roose E., 1991. Influence du système de production et du sol sur le ruissellement (station Ouzera, Algérie). Bulletin réseau érosion n°9, ORSTOM. 123 – 129.
- Benchetrit M., 1972. L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement de l'Algérie. Pub Univ. Poitiers XI PUF Paris 1972; 216p.
- Le Bissonnais Y. (1988). Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous la pluie. Thèse Université Orléans/INRA : 220 p.
- Demmak A., (1982). Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie. Thèse de Doc. Ing. Paris VI ; 323p.
- Gomer D., (1992). Ecoulement et érosion dans des bassins versants à sols marneux sous climat semi-aride méditerranéen. GTZ – ANRH, 207 p.
- Hudson N.W., (1991). A study of the reasons for success or failure of soil conservation projects. FAO Soils Bulletin 64, Rome, 65 p.
- Heusch B., (1970). L'érosion du Pré Rif occidental: une étude quantitative de l'érosion hydrique. Ann. de la Recherche Forestière du Maroc; 12: 9-176.
- Heddadj, D. (1997) La lutte contre l'érosion en Algérie. Bull. Réseau Erosion 17, 168-175.
- Kouidri R., Arabi M., & Roose E., (1993). Premiers résultats de quantification du ruissellement et de l'érosion.
- Morsli et al.: Erosion et ruissellement l'érosion en nappe sur Jachères en Algérie (Région de Médéa). – Annales de la Recherche Forestière en Algérie, 1er sem. 1993, pp. 43-52.
- Lacosta G., 1993. Réactualisation des courbes de traçage des stations hydrologiques de Ribeira Seca. Bilan hydrologique 1991-92. INIDA, 32p.
- Laouina A., Nafaa R., Coelho C., Chaker M., Carvalho T., Boulet AN., Ferreira A., (2000). Gestion des eaux et des terres et phénomènes de dégradation dans les collines de Ksar El Kebir, Maroc. Bull. Réseau Erosion: 256-274.
- Leprun J.C., 1986. Matière organique, propriétés physiques, pertes par érosion et production. Exemples Brésiliens. Bull. Réseau Erosion n° 6 ORSTOM, pp 16.
- Mazour, M. (2004): Etude de facteurs de risque de ruissellement et de l'érosion en nappe et conservation de l'eau et du sol dans le bassin versant de l'Isser, Tlemcen, Algérie. - Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen 2004.
- Mazour M., (1992). Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant d'Isser : Tlemcen, Algérie. Bull. Réseau Erosion 12: 300-313.
- Meddi M., Morsli B., (2001). Etude d'érosion et du ruissellement sur bassins versants expérimentaux dans les monts de Beni-Chougrane. Revue Z. Gemorph NF 2001; 45/4/443-452, Allemagne.
- Meddi M., (1994). Etude du transport solide à l'échelle de la crue dans le bassin versant de l'Oued Mina, modèle probabiliste d'estimation du débit solide, Revue «Algérie équipement» n°13.
- Monnier G. et Stengel, 1982. La composition granulométrique des sols. Un moyen de prévoir leur fertilité physique. B. T. I. 370/372: 503-511.
- Morsli B, Mazour M., Arabi M., Medejel N. and Roose E., 2006. Effet des systèmes de culture sur le ruissellement et les pertes en terre, en Carbone et nutriment dans les Monts de Beni-Chougrane NO Algérie. In "Soil erosion dynamics" E.ROOSE, R. Lal, C. Feller, B. Barthes, B, Stewart, eds, CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, USA :103 -124.
- Morsli B., Mazour, M., Mededjel, N., Hamoudi, A. & Roose E. (2004) Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nord ouest de l'Algérie. Sécheresse 15 (2), 96-104.
- Morsli B., (1996). Caractérisation, distribution et susceptibilité à l'érosion des sols de montagne - Cas des monts de Beni-Chougrane. Thèse de Magister INA El Harrach Alger.
- Mouffadal K., 2002. Les premiers résultats des parcelles de mesures des pertes en terre dans le bassin de Oued Nakhla dans le rif occidental. Bull Réseau Erosion 2001; 21: 244-25.
- Mouffadal K., 2002. Les premiers résultats des parcelles de mesures des pertes en terre dans le bassin de Oued Nakhla dans le rif occidental. Bull Réseau Erosion 2001; 21: 244-25.
- Remini B. (2000) L'envasement des barrages. Bull. Réseau Erosion 20 :165 -171.
- Roose E., 1996. Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui aide au diagnostic de terrain sur les risque de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes . Bull. Réseau Erosion 16: 87-97.
- Roose E., Arabi M., Brahmia K., Chebani R., Mazour M., Morsli B. (1993). Recherche sur la réduction des risques d'érosion par la GCES en moyenne montagne méditerranéenne algérienne Cah. ORSTOM, Ser. Pédol, Vol 28, 2: 289-307.
- Roose E. 1994. Introduction à la GCES. Bull Sols FAO, 70: 420p.
- Roose E., Chebbani R., Bourougaa L. 2000. Ravinement en Algérie: typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Sécheresse 11, 4, 317- 26.
- TESCULT (2004). Etude de la protection des bassins versants des barrages d'Ouizert, Bouhanifia et Fergoug. Phase description du milieu. Rapport ANB, Alger.
- Touaibia B., Gomer D., Aidaoui A. (2000). Estimation de l'index d'érosion de Wischmeier dans les micro bassins expérimentaux de l'Oued Mina en Algérie du Nord. Bull. Réseau Erosion n°20, Ed., IRD , Montpellier, pp 478 - 484.
- Wischmeier W.H., Johnson C.B. & Cross B.U., (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. of Soil and Water Conservation 26 ,5 : 189-192.

**Sources :** Rev. Mar. Sci. Agron. Vét. (2012) 1:33-40 Institut National de la Recherche Forestière (INRF), Unité d'Érosion et de

## Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb

Éric Roose, Mohamed Sabir, Mourad Arabi, Boutkhil Morsli et Mohamed Mazour. Physio-Géo

Volume 6 | 2012 : Varia 2012 p. 43-69

Ce document analyse l'évolution des recherches sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb. De 1945 à 1970, les développeurs observent l'importance des dégâts d'érosion : dégradation de la productivité des terres, ravinement, glissements de terrains, envasement des barrages et inondations. Peu de recherches sont menées, mais il est appliqué des techniques de lutte mécaniques (banquettes, seuils) et biologiques (mises en défens et reforestation à l'amont des barrages) utilisées aux USA et en France. Des géographes (J.M. AVENARD) régionalisent les traces des processus d'érosion et en tirent la répartition des risques futurs.

De 1965 à 1985, l'érosion est quantifiée. En Tunisie, l'équipe d'Y. CORMARY et J.M. MASSON évalue les facteurs de l'érosion en nappe (USLE) à l'aide d'un simulateur de pluies. C. FLORET, R. PONTANIER, J.P. DELHOUME et M. DELHUMEAU étudient les processus d'érosion sous des climats arides, semi-arides et subhumides. Au Maroc, l'équipe de B. HEUSCH démontre sur parcelles et bassins versants 1/ que l'érosion en nappe est moins importante que le ravinement et l'ablation par les rivières, 2/ que la pente a moins d'effet que la position topographique et 3/ que les averses exceptionnelles saturantes ont un rôle majeur sur les transports solides. En Algérie, A. DEMMAK trouve que les transports solides des oueds dépendent surtout de la superficie des affleurements de roches argileuses, de marnes et de schistes tendres dans les bassins versants.

Depuis 1985, une équipe de l'INRF et de l'IRD a réalisé, en Algérie, des enquêtes sur l'efficacité de la "défense et restauration des sols" (DRS), développée des agro-systèmes intensifs couvrant mieux le sol et valorisant mieux la terre et le travail, aménagé des ravines (seuils filtrants, puis végétalisation valorisante, pour créer un oasis linéaire), développant ainsi des techniques de "gestion et conservation des eaux et des sols" (GCES). Au Maroc, les équipes de géographes ont analysé les problèmes d'érosion au niveau régional. Les équipes de l'ENFI, de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Rabat et de l'IRD ont décrit trente systèmes traditionnels de gestion de l'eau et de la fertilité des sols sur les massifs du Rif et des Atlas (2011). L'IRD et la Faculté des Sciences Appliquées de Marrakech ont mis au point une méthodologie (télé-détection, simulation de pluies sur 1 m<sup>2</sup>, indicateurs des états de surface et SIG) pour spatialiser les risques d'érosion sur un bassin montagnard de 270 km<sup>2</sup> et pour orienter la priorité des aménagements.

## Plan

### I - Introduction

II - Premières observations systématiques sur la typologie des risques d'érosion (1945-1970)

III - Quantification de l'érosion (1965-1995)

1 ) Érosion en nappe et en rigoles à l'échelle des parcelles

a. L'érosivité des pluies.

b. L'érodibilité des sols

c. Le couvert végétal

d. Le facteur topographique (SL varie de 0,1 à plus de 20 en milieu cultivé)

e. Pratiques antiérosives (P varie de 1 à 0,1)

f. Les limites du modèle USLE

2 ) Le ravinement

IV - Érosion, pertes de nutriments et séquestration du carbone

V - Efficacité des techniques de lutte antiérosive (LAE) depuis 1976

VI - La gestion conservatoire des eaux et des sols (GCES) depuis 1985

VII - Spatialisation des risques érosifs et importance de la sédimentation

VIII - Conclusion et perspectives

## I - Introduction

Depuis des siècles, les géographes ont considéré la zone du bassin Méditerranéen comme très sensible à l'érosion sous toutes ses formes. En effet, le passage de civilisations successives a entraîné le développement de ports de commerce, le défrichement des forêts pour construire les flottes et les villes, la dégradation de la végétation par le feu et le pâturage extensif et l'extension des cultures pour nourrir les nouvelles colonies et les populations des métropoles. Fuyant les colonisateurs, les paysans se sont établis dans les montagnes, dénudant des versants de plus en plus raides et sensibles à l'énergie des pluies et du ruissellement. Pour survivre, ces sociétés rurales ont dû inventer des techniques culturelles et des aménagements fonciers adaptés aux milieux méditerranéens, particuliers, comportant, d'une part, 4 à 7 mois frais, aux pluies parfois diluviennes, aux orages intenses de début de saison et aux pluies saturantes de fin de printemps et, d'autre part, cinq mois chauds et secs, à l'exception de quelques orages brutaux mais localisés. Le relief est vigoureux vu l'alternance de roches dures (calcaires, grès, arkoses, schistes et roches granitiques) et de roches tendres (argilites, schistes et grès tendres, marnes et alluvions) (J. DESPOIS, 1956; M. BENCHETRIT, 1972; É. ROOSE et al., 2010). Heureusement les sols sont plutôt résistants aux pluies, grâce à la présence en surface de cailloux et d'argiles saturées en calcium. Cependant leur fertilité baisse très vite en montagne vu la minéralisation rapide des matières organiques du sol, l'érosion sélective des nutriments ou les remontées de sels par l'évaporation importante en zones arides. Les méfaits de l'érosion ont donc été observés très tôt,

mais les recherches sur les divers processus d'érosion et les moyens de les contrecarrer ne commencèrent que vers les années 1950 (J. GRÉCO, 1966).

2 Depuis lors, les travaux sur l'érosion dans le Maghreb ont fleuri abondamment à mesure que la mise en valeur mécanisée des versants des collines soumis aux orages et aux pluies saturantes a provoqué le développement de phénomènes spectaculaires d'érosion hydrique (décapage des horizons humifères, ravinement de versants entiers, glissements de terrain et destruction d'aménagements urbains, dégradation des berges et envasement des barrages, inondations et invasions de coulées boueuses). Aussi est-il impossible de citer tous les chercheurs (plusieurs centaines, affiliés à divers réseaux internationaux) qui ont exploré les divers thèmes liés à des processus très divers en fonction de la variabilité des agro-écosystèmes (J. ARONSON et al., 1993), des climats (du désert aux climats subhumides), des reliefs jeunes, de la lithologie (A. DEMMAK, 1981), des activités agro-pastorales et de la densité des populations. Nous tenterons dès lors de souligner l'évolution historique des recherches effectuées par les principales équipes françaises en coopération au Maghreb, d'énoncer les principaux résultats et quelques orientations pour l'avenir.

## **II - Premières observations systématiques sur la typologie des risques d'érosion (1945-1970)**

3 Dans l'ensemble du Maghreb, les colons et les agronomes ont rapidement constaté la dégradation des sols surpâturés ou labourés. Faisant confiance aux études effectuées aux USA (H. BENNETT, 1939 ; W.C. LOWDERMILK, 1953), les services techniques agricoles ont développé des techniques culturales adaptées aux zones semi-arides (labours profonds et jachère nue) et restructuré les pentes en limitant la longueur et l'inclinaison des versants par toute une série de banquettes d'absorption totale en zone semi-arides ou de fossés ou de terrasses de diversion en zones subhumides (L. SACCARDY, 1949 ; R. PUTOD, 1956 ; L. PLANTIÉ, 1961 ; A. MONJAUZE, 1961-a, 1961-b ; J. GRÉCO, 1966, 1978). Par ailleurs, un effort de restauration des ravines et de reforestation des sommets des collines et des terres non cultivables a été entrepris. Cette stratégie de défense et restauration des sols (DRS), mise en place par des services spécialisés après la guerre (L. SACCARDY, 1949), espérait se passer de recherche en s'appuyant sur les études américaines (G. AUBERT, 1986).

4 En Algérie, J. POUQUET (1952), M. POUGET (1974), puis G. AUBERT (1986) ont décrit les terres et leur érodibilité dans le Tell. Les géomorphologues, M. BENCHETRIT (1955), puis A. BELLATRÈCHE (1988), J.L. BALLAIS (1981), H. AMIRÈCHE (1984,

2001), H. TATAR (1985), F. RULLAN-PERCHIRIN (1985), A. BOUGHERARA (1986) et M. BOUROUBA (1988) ont analysé les risques d'érosion dans les moyennes montagnes méditerranéennes. Au Maroc, A. RUELLAN (1967) a décrit les processus d'encroûtement calcaire et d'érosion, tandis que les géomorphologues et géographes "physiciens" ont consacré une partie au moins de leurs travaux à la géodynamique actuelle (R. RAYNAL, 1957 ; J.M. AVENARD, 1965 ; G. MAURER, 1968 ; G. BEAUDET et al., 1968 ; P. ROBERT (1970) ; R. NAFÂA (1997) ; A. EL HARRADJI (1997) ; A. GARTET, 2010). En 1989, J.M. AVENARD a produit une cartographie de la répartition des divers processus d'érosion et analysé la sensibilité des versants aux mouvements en masse. En Tunisie, des pédologues entament l'étude de la répartition des sols et des manifestations de l'érosion sur des bassins versants des Matmata (G. MATHIEU, 1949 ; A. FOURNET, 1969), travaux qui seront prolongés sur d'autres bassins par P. ROBERT (1970), A. M'TIMET (1979), M. FERSI et P. ZANTE (1980), M. DELHUMEAU (1981), C. FLORET et R. PONTANIER (1981), A. M'TIMET et R. ESCADAFAL (1982), J.P. DELHOUME (1987), tandis que les agronomes relient les modes d'exploitation agricoles et l'érosion (G. PROST, 1954 ; Y. CORMARY et J.M. MASSON, 1964 ; J. PONCET, 1962, 1970) et que les hydrologues et géographes analysent l'efficacité des jessour, en particulier lors des pluies exceptionnelles de 1969 (J. TIXERON et al., 1961 ; B. CHABAHNI, 1964, J. BONVALLOT, 1979). Au Maroc, comme dans les deux autres pays maghrébins, plusieurs géomorphologues consacrent une partie ou la totalité de leurs travaux à l'étude de l'érosion hydrique : J.L. BALLAIS (1972, 1973), A. HAMZA (1977, 1988), H. BANNOUR et H. BOUALLAGUI (1979), P. PASCON et H. VAN DER WUSTEN (1983), A. OUESLATI (1986), A. BOUJARRA (1986), M. TAABNI, (1998), N. FEHRI (2007).

## **III - Quantification de l'érosion (1965-1995)**

5 Après une longue phase de description des processus d'érosion, de leurs relations avec le mode d'utilisation des terres et la fragilité des sols, d'analyse fréquentielle des pluies en relation avec la rupture fréquente des ouvrages de petite hydraulique, les chercheurs ont lancé des études de quantification de l'érosion à diverses échelles, des parcelles d'une centaine de m<sup>2</sup> ou des micro-bassins de quelques hectares, à de grands bassins versants de milliers de km<sup>2</sup>. L'ambition était de vérifier, dans les conditions des montagnes méditerranéennes, où il fallait commencer pour optimiser la lutte antiérosive. En effet, les techniques traditionnelles mises au point au cours des siècles par les paysans étaient supposées a priori moins efficaces que les techniques modernes de

terrassements mécanisées développées par la société occidentale.

1 ) Érosion en nappe et en rigoles à l'échelle des parcelles

6Un réseau de parcelles de taille et de mode de gestion standardisés (Photo 1) a été mis en place en Afrique pour estimer les paramètres des modèles empiriques disponibles (É. ROOSE, 1977). Parmi ces modèles, le modèle USLE (Universal Soil Loss Equation) de W.H. WISCHMEIER et D.D. SMITH (1978) a été le plus largement utilisé. D'après ce modèle empirique basé sur plus de 10000 résultats annuels de mesures en parcelles et petits bassins versants aux USA, le risque d'érosion moyenne en nappe sur un versant donné est une fonction multiplicative de cinq sous-modèles : l'érosivité des pluies et quatre facteurs de résistance du milieu (l'érodibilité du sol, un facteur topographique, le couvert végétal et les pratiques culturales antiérosives). La source d'énergie érosive est calculée à partir de la hauteur et de l'intensité des pluies durant toutes les averses, mais sans compensation pour l'énergie du ruissellement (ravinement), ni pour l'énergie de masse (glissement).

Photo 1 - Parcelles d'érosion près de Mascara (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

Photo 1 - Parcelles d'érosion près de Mascara (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

Agrandir Original (jpeg, 336k)

7Pour accélérer l'étude des facteurs du ruissellement et de l'érosion hydrique au niveau des champs, des générations de simulateurs de pluies ont été développées. En Tunisie, J. DUMAS (1965) a utilisé un simulateur de pluies arrosant 50 m<sup>2</sup> avec des intensités très fortes, ce qui a posé des problèmes d'interprétation sur l'érodibilité des sols. R. KALMAN (1967) a étudié le facteur climatique modifiant l'érosion en nappe et rigoles sur les principaux sols cultivés du Maroc. Il a développé un simulateur de pluies projetant les gouttes vers 5 m de haut, ce qui les rendait sensibles au vent. Enfin, une équipe de pédologues et hydrologues de l'ORSTOM a utilisé, en Tunisie et en Algérie, le simulateur de pluies mis au point par J. ASSELINE et C. VALENTIN (1978) : il s'agit d'un gicleur porté par un derrick de 4 m de haut et sélectionné par MEYER aux USA pour simuler des intensités de 30 à 120 mm/heure sur 10 m<sup>2</sup> dont on ne mesure au sol que la partie centrale de 1 m<sup>2</sup>. Il permet de tester des pluies de fréquence rare, mais consomme beaucoup d'eau (> 600 litres par essai), de manipulateurs et de temps. Pour réduire les exigences en eau (ramenées à 60 litres pour un test) et simplifier les manipulations, un infiltromètre manuel à aspersion est finalement développé au Maroc pour tester des surfaces très pentues dans la montagne et les zones

semi-arides (É. ROOSE, 1996 ; V. SIMONNEAU et al., 2008). Ces deux infiltromètres permettent une bonne évaluation de la dynamique du ruissellement et de sa charge solide en fonction de la stabilité structurale et du couvert végétal à la surface du sol, ainsi que des techniques culturales.

#### a. L'érosivité des pluies.

8Tout le monde admet que l'érosion en nappe dépend de l'intensité, de la hauteur, de l'énergie et de la répartition des pluies avant le test. L'indice d'érosivité des pluies de WISCHMEIER ( $R = E.I_{30}$ ) tient compte à la fois de l'énergie globale et de l'intensité maximale durant 30 minutes, facteurs en relation avec le volume du ruissellement. Il néglige l'humidité préalable du sol, car il ne vise que l'effet moyen sur 10 à 20 ans. En régions tropicales, R est lié à la pluviosité annuelle moyenne sur 10 ans que multiplie un facteur "a" qui atteint 0,60 près de l'océan, 0,50 en plaine et 0,25 en montagne. En Algérie, ce facteur "a" ne dépasse pas 0,10 en montagne (M. ARABI, 1991), ce qui signifie que par leur intensité et leur énergie, les pluies méditerranéennes sont beaucoup moins agressives que les pluies tropicales. Le facteur R en unités américaines varie de 20 à 100 au Maghreb, dans la zone étudiée, à plus de 1000 en Côte d'Ivoire. Si donc on observe des phénomènes catastrophiques d'érosion en zones méditerranéennes, c'est que lors des pluies de fréquence rare (en volume et intensité), la surface du sol est souvent peu couverte et les pluies saturantes : le ravinement et les glissements de terrain sont fréquents et marquent profondément et durablement les paysages méditerranéens (badlands – Photo 2 –, coulées boueuses et envasement des lacs).

Photo 2 - Badlands dans les monts de Beni Chougrane, près de Mascara (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

Photo 2 - Badlands dans les monts de Beni Chougrane, près de Mascara (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

Agrandir Original (jpeg, 244k)

#### b. L'érodibilité des sols

9Contrairement à l'opinion générale, les sols méditerranéens ne sont pas plus fragiles que les autres, mais ils ont tendance à se dégrader rapidement dès qu'on les dénude (labour) et qu'on les prive d'un apport régulier de litière. Les sols ferrallitiques résiduels sont généralement assez résistants : K croît de 0,01 à 0,20 entre des roches à altérites argileuses (basalte) et des roches à altérites sableuses (grès fin), celles à altérites argilo-sableuses (granite) ou à altérites limoneuses (schistes) occupant une position intermédiaire. Les lithosols caillouteux, très fréquents en montagne, sont très résistants ( $K = 0,01$  à  $0,05$ ), mais peu fertiles. Les vertisols calciques sont les plus résistants à l'érosion en nappe ( $K = 0,001$  à  $0,01$ ), mais ils sont sensibles aux glissements et aux ravinelements. Par contre, les vertisols sodiques des

plaines arides sont très sensibles à la battance des pluies ( $K > 0,40$ ). Les sols bruns calcaires sont d'autant plus résistants qu'ils ont une charge importante en cailloux (calcaire) et une forte teneur en argiles saturées en calcium ( $K = 0,01$  à  $0,10$ ). Enfin, les sols rouges ferrallitiques méditerranéens lessivés sont généralement assez fragiles ( $K = 0,20$ ), car pauvres en matières organiques. L'amélioration de la résistance d'un sol à l'érosion pluviale est difficile, car l'augmentation de 1 % du taux de matière organique (MO) de l'horizon labouré exige l'apport régulier de 5 t/ha de fumier (rarement disponible) pour compenser les pertes par minéralisation, très fortes en milieux chauds, et ne réduit que de 15 % les risques d'érosion des terres. L'épierrage, souvent recommandé comme amélioration foncière des champs cultivés, augmente en fait la sensibilité des sols à la battance et au ravinement. En revanche, l'épandage d'un tapis de cailloux à la surface du sol permet de maintenir plus longtemps une bonne infiltration et de dissiper l'énergie des pluies et du ruissellement (D. BLAVET et al., 2004). Un compromis acceptable par les paysans consiste à garder sur place les petites pierres pour protéger la terre de la battance et à rassembler les grosses pierres (qui gênent le labour et les semis) sur des cordons de pierres orientés pour ralentir le ruissellement et réduire la pente. Le défonçage profond des sols calcaires encroûtés peut améliorer l'infiltration et le stockage des eaux de pluie, mais il n'a qu'une influence passagère sur les sols instables, pauvres en matières organiques.

### c. Le couvert végétal

10 Par rapport à une jachère nue, le couvert des principales cultures du Maghreb réduit l'érosion de 20 à 60 %, en fonction de l'intensité du couvert en saison des pluies et des techniques culturales. Le facteur C diminue jusqu'à 0,01 sous culture pérenne (arbres fruitiers) avec plantes de couverture et à 0,001 sous culture bien paillée, sous matorral et sous forêt avec sous-bois et litière. Le couvert végétal est donc le paramètre le plus efficace à notre disposition pour réduire les risques d'érosion des agro-systèmes. La lutte antiérosive biologique va donc proposer de planter tôt, à forte densité, des cultures associées ou se succédant dans le temps de façon à absorber au maximum l'énergie des pluies et du ruissellement (É. ROOSE, 1977, 1994). W.H. WISCHMEIER et D.D. SMITH (1978) ont montré qu'un couvert bas ou une litière de 100 % réduit l'érosion à 1 % d'une jachère nue, tandis qu'un couvert arboré dont la canopée est à plus de 4 m de hauteur moyenne ne réduit que peu le risque de ruissellement et d'érosion. Selon les observations de J.M. MASSON (1971), en Tunisie, une plantation d'oliviers sur sol nu ne réduit l'érosion que de 10 % ; par contre, dès que le sol est couvert de plus de 60 % par une litière, un paillage ou des résidus

de récolte, l'érosion est diminuée de 80 %. Au Maroc, A. LAOUINA (1992) a observé que lorsque le sol est couvert d'un matorral dense, d'herbes rases, de cistes ou de rocailles, l'érosion ne dépasse pas 0,2 à 2 t/ha/an, mais dès que le sol est labouré pour une culture sarclée, l'érosion peut dépasser 20 t/ha/an sur des pentes de 20 % en année humide. K. MOUFADDAL (2002) confirme que l'érosion en nappe en milieu forestier, même dégradé, et sous oliviers avec couverture du sol, reste modeste malgré les fortes pentes du Rif. Sur jachère, les sédiments sont souvent piégés dans les touffes d'herbes, mais le ruissellement est abondant entre les touffes. Le parcours entraîne le tassement de l'horizon superficiel et donc l'augmentation du ruissellement, ce qui aboutit souvent au ravinement des champs en aval (M. SABIRE et al., 1994). En évitant de dénuder et labourer les sols, R. MRABET et R. MOUSSADEK (2012) ont montré, au Maroc semi-aride, que le semis direct sous une litière (résidus de culture et adventices ou plantes de couverture) couvrant plus de 30 % de la surface du sol, permet une amélioration de la structure et de la fertilité du sol en surface, une meilleure infiltration et une réduction de l'érosion.

### d. Le facteur topographique (SL varie de 0,1 à plus de 20 en milieu cultivé)

11 Dans le modèle USLE, n'interviennent que l'inclinaison de la pente (entre 2 et 25 %) et secondairement sa longueur ( $L0,5$ ). Or il existe de multiples interactions entre l'influence de la pente, la forme convexe ou concave, l'état de la surface du sol et la position topographique (B. HEUSCH, 1970). C'est donc un paramètre qui pose des problèmes, surtout en milieu de montagnes jeunes.

12 En régions tropicales, il est apparu que sur des pentes de plus de 2 %, le ruissellement diminue sur des sols ferrallitiques (N.W. HUDSON, 1973 ; É. ROOSE, 1977, 1994), alors qu'en général l'érosion augmente de façon exponentielle avec l'inclinaison sur des parcelles peu couvertes. Sur sol paillé, en revanche, l'énergie des pluies et celle du ruissellement sont dissipées par le frottement avec la litière : les pertes de terre restent donc fort modestes, même sur fortes pentes (É. ROOSE, 1994). En Algérie, non seulement le ruissellement, mais aussi l'érosion, ne croissent pas systématiquement avec la pente sur vertisol sur marnes (É. ROOSE et al., 1993). Il semble qu'au-dessus de 25 % de pente, les sols sont moins épais, plus argileux ou caillouteux et les processus en cause changent : de l'érosion en nappe, on passe aux rigoles et à des mouvements en masse (sorte de "creeping") de la couche superficielle du sol une fois saturé. L'effet de la longueur de la pente n'est pas systématique non plus (W.H. WISCHMEIER et D.D. SMITH, 1978). Seules les parcelles soumises à

l'érosion linéaire (rigoles) perdent d'autant plus de terre qu'elles sont plus longues (G. BEDIOT, 1960). Mais si le ruissellement s'écoule en nappe, son énergie est dissipée par la litière ou par la rugosité du sol et les transports solides restent faibles (É. ROOSE, 1994). En revanche, en milieu méditerranéen, on a observé, sur des versants particuliers, que la position topographique ou l'existence de ruissellement hypodermique et de sources est parfois plus importante que l'inclinaison de la pente. Par exemple, B. HEUSCH (1970) a montré que sur une colline marneuse du Pré-Rif, les eaux infiltrées dans les fissures des vertisols se concentrent à des exutoires en bas de pente et créent des ravines remontantes. Des comportements semblables ont été signalés en milieux ferrallitiques en Côte d'Ivoire (É. ROOSE, 1973, 1994), et sur sols volcaniques en Équateur et en Martinique (B. KHAMSOUK et al., 2002). Pour lutter contre l'érosion sur versants cultivés, on connaît les multiples formes de terrasses, cordons de pierres et haies vives qui réduisent à la fois la longueur et l'inclinaison de la pente. Ces systèmes sont coûteux en travail à l'installation (700 à 1500 jours/ha pour les gradins méditerranéens, 250 j/ha pour les cordons de pierres, 250 j/ha pour les banquettes et 25 j/ha pour les haies vives), mais aussi à l'entretien (30 à 50 j/ha/an). De plus, entre ces structures, il est important de fertiliser et aménager la surface du sol, afin que ces travaux soient valorisés et que les eaux des versants soient gérées efficacement (É. ROOSE, 1994 ; É. ROOSE et M. SABIR, 2002).

#### e. Pratiques antiérosives (P varie de 1 à 0,1)

13L'influence des techniques culturales peut être importante sur les pentes faibles (< 8 %) : le labour et surtout le billonnage cloisonné en courbe de niveau améliorent le stockage des eaux de surface et les rendements des cultures. Mais en montagne sur des pentes supérieures à 25 %, le ruissellement diminue tandis que les pertes de terre augmentent. Le labour en courbe de niveau et le billonnage sur fortes pentes n'ont presque plus d'influence sur l'érosion en nappe, mais augmentent l'érosion aratoire. On passe d'une érosion en nappe à une érosion en rigoles puis en ravines, voire au "creeping" et au glissement en masse. Sur les sols sableux instables ou dégradés et tassés, le labour permet un meilleur enracinement et temporairement une meilleure infiltration, tant que la surface du sol n'est pas encroutée par la battance des pluies. Cependant les sols riches en MO et en bon état structural peuvent être semés directement sous la litière en réduisant le travail du sol au minimum pour enfouir les **engrais et les graines sur la ligne de plantation** (R. MRABET et R. MOUSSADEK, 2012). En respectant un seuil minimal de couverture du sol et sa cohésion, on réduit les pertes de terre et en eau. D'ailleurs, l'expérience montre que les sols

forestiers sont les plus perméables et les plus poreux ; pourtant ils ne sont jamais labourés !

#### f. Les limites du modèle USLE

14On ne peut conclure cette revue des informations disponibles sans rappeler que tous les modèles ont des limites strictes. Le modèle empirique USLE ne s'applique qu'à l'érosion en nappe dépendant de l'énergie des pluies, sur des pentes inférieures à 25 % : au delà, l'énergie du ruissellement devient prépondérante ainsi que l'érosion linéaire. Sur des glacis avec moins de 2 % de pente, les états de surface du sol provoquent des sédimentations imprévues. Ce modèle empirique permet d'évaluer les risques moyens sur 20 ans des pertes de terre sur les versants, mais pas à l'échelle des averses, ni à celle des bassins versants. Enfin, les pertes de terre étant une fonction multiplicative de 5 facteurs, certaines interactions ne sont pas prises en compte (par exemple, les influences du couvert végétal et de la texture à la surface du sol sur les effets de la pente). L'USLE a été souvent utilisé hors de son domaine : si l'on dispose d'un minimum de mesures d'érosion représentatives des modes d'utilisation de la région, on peut arriver à caler des paramètres adaptés localement pour évaluer les pertes de terre et les techniques nécessaires pour les réduire en dessous des seuils de tolérance.

15D'autres modèles empiriques ont été proposés en Afrique, qu'il s'agisse du Revised USLE (RUSLE) dans lequel on a tenté d'affiner les paramètres pour les principaux sols et couverts végétaux du Maroc (M. YASSIN et al., 1998) ou du Modified USLE où l'énergie des pluies a été remplacée par l'énergie du ruissellement (K.G. RENARD et al., 1997).

#### 2 ) Le ravinement

16Les recherches pour quantifier le ravinement sont bien moins nombreuses, alors que les paysages méditerranéens sont souvent lacérés par le ruissellement concentré. En Algérie (Photos 3 à 5), le volume creusé par le ravinement varie de 30 à 300 t/ha/an en fonction du sol, de la roche altérée, de la pente et de la distance au réseau de drainage, des pluies et de l'humidité du sol (R. CHEBBANI et S. BELLAIDI, 1997 ; L. KOURI et al., 1997 ; É. ROOSE et al., 2000).

Photo 3 - Ravinement sur terrain gréseux dans le secteur Trara-Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

Photo 3 - Ravinement sur terrain gréseux dans le secteur Trara-Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]  
Agrandir Original (jpeg, 188k)

Photo 4 - Ravinement sur sols rouges dans la région de Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

Photo 4 - Ravinement sur sols rouges dans la région de Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]  
Agrandir Original (jpeg, 228k)



Photo 5 - Ravinement sur terrain marneux dans la région de Mascara (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

Photo 5 - Ravinement sur terrain marneux dans la région de Mascara (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

Agrandir Original (jpeg, 168k)

17En Tunisie, J. COLLINET et P. ZANTE (2002) ont comparé des nivellements au tachéomètre laser tous les deux ans pour évaluer la contribution des ravines au comblement d'un barrage collinaire. En année moyenne ( $P = 300$  mm), la ravine a produit 42 t/ha de sédiments provenant de la dégradation des berges et du "piping", mais ces sédiments se sont déposés sur le versant (cône de sédiments) avant d'atteindre le barrage. Plus récemment, V. CHAPLOT et al. (2004), J. ALBERGEL et al. (2008), A. BEN SLIMANE (2011) en Tunisie semi-aride, ont confirmé que le ravinement produit nettement plus d'érosion à l'hectare que l'érosion en nappe. Toutefois, comme cette dernière touche des surfaces beaucoup plus grandes, c'est l'érosion en nappe qui apporte finalement le plus de sédiments au barrage. Il faudrait confirmer ces résultats au cours d'années très humides où le ravinement est plus actif.

18Au Maroc, dans les marnes du Pré-Rif, B. HEUSCH (1970) avait attiré l'attention sur la contribution des divers types d'érosion en fonction de l'abondance des pluies : le ravinement et les glissements de terrain dominant largement en années excédentaires ou lors d'averses exceptionnelles, tandis que l'érosion en nappe répartie sur la majorité des surfaces des bassins méditerranéens l'emporte lors des années moyennes ou sèches. En année ordinaire, les ravines évoluent sur place (comblement du fond) ou semblent souvent endormies jusqu'à ce qu'un événement pluvial surabondant balaie les sédiments accumulés (effet de chasse). Dans le Rif occidental, M. NAIMI et al. (2001) ont suivi l'incision des ravines à l'aide de relevés topographiques dans un petit bassin de 5 ha. Parmi les facteurs du ravinement, la stabilité structurale et surtout le % de pente expliquent le mieux la variabilité des pertes par ravinement. Le ravinement dans le bassin du Nakhla est une source majeure de sédiments (36 t/ha en 6 mois), alors que l'érosion en nappe est estimée à 1,3 t/ha/an sur des parcelles expérimentales (K. MOUFADDAL, 2002 ; A. TRIBAK, 1998).

19En Afrique, le type et l'importance de l'érosion dépendent de la morphologie du paysage. Dans les basses montagnes méditerranéennes, souvent convexes puis concaves, l'érosion en ravines domine largement l'érosion aratoire et surtout l'érosion en nappe (Tab. I).

Tableau I - Importance de divers processus d'érosion (t/ha/an) en fonction de trois paysages typiques de l'Afrique (d'après É.

ROOSE et al., 2000).

Tableau I - Importance de divers processus d'érosion (t/ha/an) en fonction de trois paysages typiques de l'Afrique (d'après É. ROOSE et al., 2000).

Ér. : érosion.

#### IV - Érosion, pertes de nutriments et séquestration du carbone

20L'érosion est à l'origine du décapage des profils pédologiques, du transfert de sédiments, mais aussi d'une perte d'eau, de carbone et de nutriments pour les cultures : elle accélère la dégradation de la fertilité des sols cultivés. De plus, les sédiments qui quittent une parcelle sont généralement plus riches que le sol en argiles et limons fins, en matières organiques et en nutriments associés.

21En Afrique, l'érosion en nappe est un moteur très efficace de l'appauvrissement en particules fines et en nutriments de l'horizon superficiel de nombreux sols argilo-sableux (É. ROOSE, 1981, 1994). Ainsi, près d'Abidjan, quand on défriche une forêt ( $E = 50$  kg/ha/an) pour développer une culture de maïs ( $E = 90$  t/ha/an) sur une pente de 7 %, les pertes annuelles en nutriments passent-elles de 14 à 1866 kg pour le carbone, de 1,5 à 185 kg pour l'azote, de 0,1 à 33 kg pour le phosphore, de 0,8 à 70 kg pour le calcium, de 0,3 à 3 kg pour le magnésium et de 0,6 à 54 kg/ha/an pour le potassium. À ces pertes considérables, il faut encore ajouter les pertes de nutriments en solution dans les eaux de drainage : cela explique que les sols concernés sont généralement très acides.

22Mais en est-il de même au Maghreb ? Ici, en effet, les pluies sont beaucoup moins abondantes, les sols souvent neutres et riches en argiles gonflantes saturées en calcium, l'érosion en nappe reste faible (1 à 20 t/ha/an) tandis que l'érosion linéaire domine, laquelle est peu sélective : les sédiments reflètent bien les teneurs moyennes des dix premiers cm du sol (É. ROOSE et B. BARTHÈS, 2006).

23De nombreuses données sur l'érosion et la séquestration du carbone en Afrique ont été présentées lors d'un colloque à Montpellier (É. ROOSE et al., 2006). En Algérie, B. MORSLI et al. (2004, 2006) ont trouvé que les pertes de carbone par érosion sur des pentes de 15 à 40 % varient de 0,1 à 42 kg/ha sur des parcelles bien couvertes par la végétation et jusqu'à 136 kg/ha sur des jachères nues. En Tunisie, J. ALBERGEL et al. (2006) ont comparé les teneurs en carbone et les types de MO du sol et des sédiments de lacs collinaires. Les pertes d'un petit bassin versant cultivé sont 15 fois supérieures à celles d'un bassin forestier, mais les sédiments de ce dernier sont plus riches en carbone. La pyrolyse des MO des sédiments montre que la majorité du carbone des sédiments

provient de l'érosion des horizons superficiels des sols et non des roches (carbonatées ou siliceuses).

24 Au Maroc, dans le Rif occidental, M. SABIR et É. ROOSE (2004) ont comparé les stocks de carbone de sols sous divers couverts végétaux. Dans les 30 cm supérieurs des profils (hors litières), le stock de carbone atteint 100 t/ha sous forêt de chêne liège, mais il tombe à 74 t/ha sous matorral pâturé et à 54 t/ha seulement sous cultures sarclées (céréales ou cannabis). Le stock de carbone atteint 93 t/ha sous une plantation de pins âgée de 40 ans et 71 t/ha sous une culture agroforestière (céréales et légumineuses sous divers arbres fruitiers). On voit l'influence majeure de l'occupation des terres sur le bilan du carbone, qui dépend pour une part seulement de l'érosion mais aussi de la minéralisation des litières.

25 Dans le Haut Atlas, près de Marrakech, on a constaté que les sols colluviaux et alluviaux des hautes vallées sont riches en MO arrachées des versants par l'érosion en nappe et en rigoles (É. ROOSE et al., 2006) : l'essentiel de la production agricole se concentre sur ces zones de bas de pente enrichies par l'érosion des versants et qui sont aménagées en terrasses en gradins irriguées, intensément cultivées et fumées.

V - Efficacité des techniques de lutte antiérosive (LAE) depuis 1976

26 Après la guerre de 1940-45, les services techniques (Génie rural et Eaux et Forêts) en charge des problèmes d'érosion en milieu rural et urbain, ont tenté d'imposer à la fois la restauration des terrains de montagne (RTM = reforestation et restauration des ravines) (Photo 6) et la conservation de l'eau et des sols (CES des américains = banquettes et chemins d'eau), donc le mariage de deux approches mises au point pour des milieux physiques et socio-économiques radicalement différents de ceux des montagnes méditerranéennes semi-arides du Maghreb (É. ROOSE, 1994).

Photo 6 - Correction torrentielle dans la région de Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

Photo 6 - Correction torrentielle dans la région de Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]  
Agrandir Original (jpeg, 528k)

27 Constatant que les techniques de lutte antiérosive en Algérie (Photo 7) n'arrivaient pas à convaincre les paysans, A. MONJAUZE (1961-a, 1961-b) a lancé l'idée qu'il fallait les réaliser dans le cadre d'une rénovation globale du milieu rural : brise vents, banquettes et marchés devaient encadrer les champs paysans où un effort de modernisation devait aboutir à une augmentation significative des revenus. Malgré les actions entreprises depuis 1958 pour intégrer la

lutte antiérosive dans les paysages agricoles et malgré les moyens considérables mis à la disposition de la défense et restauration des sols (DRS), la situation n'a guère évolué depuis l'indépendance et un doute sur leur efficacité s'est développé vers les années 1970-80 (B. HEUSCH, 1970 ; D. SARI, 1977).

Photo 7 - Réseau de défense et restauration des sols (1945) dans la région de Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

Photo 7 - Réseau de défense et restauration des sols (1945) dans la région de Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]  
Agrandir Original (jpeg, 192k)

28 En Algérie, plus de 300000 ha de banquettes ont été établies, 800000 ha de pins et d'eucalyptus ont été plantés, mais la production de céréales et celle de bois d'œuvre n'ont pas augmenté. L'envasement des barrages reste très rapide et la production des cultures continue à régresser. De 1985 à 1995, une équipe associant l'INRF et l'ORSTOM a mis en place trois programmes de recherche. D'abord une enquête sur l'efficacité de la DRS, réalisée avec le concours de l'administration forestière, a montré que 20 % des banquettes ont été totalement effacées à la charrue par les paysans, tandis que 60 % n'ont jamais été entretenues et sont ravinées ou presque effacées (Photo 8). Seulement 20 % des banquettes semblent en bon état, mais celles-ci ne présentent aucune trace d'érosion ni de sédimentation et sont donc sans utilité (M. ARABI et al., 2004). En Kabylie, M. ARABI et T. ASLAA (1998) ont estimé que 50 % des banquettes sont sujettes à l'érosion, soit par ravinement suite au parcours par le bétail, soit par glissement de terrain lorsque le versant labouré est saturé par les pluies d'automne. Près de 70 % des paysans enquêtés se sont déclarés hostiles à la mise en place de banquettes sur leurs terres, car elles entraînent une perte de surface cultivable non compensée par l'augmentation du rendement des parties cultivées (Photo 9).

Photo 8 - Réseau de banquettes dégradé dans le secteur Trara-Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

Photo 8 - Réseau de banquettes dégradé dans le secteur Trara-Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]  
Agrandir Original (jpeg, 680k)

Photo 9 - Réseau de banquettes avec plantation d'arbres fruitiers dans le secteur Trara-Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

Photo 9 - Réseau de banquettes avec plantation d'arbres fruitiers dans le secteur Trara-Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]  
Agrandir Original (jpeg, 696k)

29 En Tunisie, F. BREULEUX (1976) a fait l'inventaire de l'état des travaux de CES. Il observe que pour les aménagements réalisés de 1962 à 1975 (sur 912000 ha), 18 % ont totalement disparu, 60 % sont endommagés, et 22 % sont en bon état, mais localisés dans des zones peu érodées. Par ailleurs, le grand programme "Barrage collinaire" a montré que la durée de vie des barrages est limitée (5 à 40 ans) selon

la lithologie, la surface du bassin et l'aménagement des terres en amont. Les plantations de fruitiers dans des cuvettes, l'installation de cordons de pierres sur les versants raides et la mise en place de seuils dans les ravines suppriment le ruissellement des petites averses, augmentent la pluie d'imbibition, étalent les crues et réduisent les débits de pointe et donc les transports solides qui envasent les barrages. (J. ALBERGEL et al., 2004 ; M. BERGAOUI et al., 2008). De grandes étendues de versants retiennent les eaux de ruissellement et une partie des sédiments derrière des banquettes capables de stocker 200 m<sup>3</sup> sur 100 m (S. NASRI, 2002). Cependant leur durée de vie est limitée (4 à 10 ans) si les talus et exutoires ne sont pas entretenus régulièrement : en effet, une partie des terres érodées sur le versant se dépose dans le canal qui devient moins profond et finit par déborder (É. ROOSE, 1994 ; N. BACCARI et al., 2008). Au début, les banquettes de 1,5 m de hauteur et 100 m de longueur, peuvent retenir le ruissellement de pluies journalières de 50 à 85 mm, ce qui pose du reste des problèmes pour la mise en eau des barrages (É. ROOSE, 2002). Mais au bout de quelques années, ceux-ci retrouvent des taux de remplissage en eau et (malheureusement aussi) en sédiments proches des valeurs initiales : plus de 25 % des banquettes sont alors ravinées (N. BACCARI et al., 2008).

30Au Maroc, B HEUSCH (1986) a tenté un bilan de 50 ans de banquettes : il a montré que les aménagements en banquettes sur marnes aboutissent souvent à l'accélération des transports solides, en particulier sur les pentes de plus de 30 %, que la vitesse d'envasement des barrages n'a pas diminué, que la production des cultures a été réduite du fait de la diminution de la surface cultivable, mais que certains paysans acceptent ces aménagements s'ils sont financés par l'État et donnent droit à des certificats de propriété. M. SABIR et B. BOUDHAR (1999) ont évalué l'efficacité physique et économique de huit périmètres de DRS fruitière sur des versants marneux du Pré-Rif. Après 50 ans, deux périmètres ont disparu, les autres ont un taux de réussite de 50 %. Sur fortes pentes, les banquettes ont provoqué du ravinement ou même des glissements de terrain : l'absence totale d'entretien des talus et des arbres en est une cause. Si les banquettes ont presque disparu, la production d'huile d'olive représente 60 % des revenus et les techniques culturales ont été améliorées (apport de fumier, labour en courbes de niveau, rotation blé-légumineuses), mais l'État marocain n'a pas récupéré plus de 5 % de son financement.

31À ce jour, aucune expérience n'a montré une augmentation de la production par la simple application de techniques de DRS ou de CES. Nous préconisons donc la restauration de la fertilité des sols

par un apport de fumure organique, pour revivifier l'horizon superficiel, et par un complément minéral, pour nourrir les cultures au moment où elles en ont besoin (É. ROOSE, 1994 ; É. ROOSE et al., 2010).

32Il faut cependant modérer ce jugement sévère des actions de DRS en reconnaissant la nécessité pour les gouvernements d'après guerre de réagir devant l'urgence des problèmes d'érosion et le manque d'information sur les causes profondes de ces phénomènes. Par ailleurs, les grands projets d'aménagement des bassins versants a permis d'injecter des salaires dans les zones rurales de montagne et d'encadrer les hommes qui ont participé aux guerres de libération et qui cherchaient du travail. Cet aspect social n'est pas négligeable, qui a permis de revenir progressivement à une vie civile apaisée.

## **VI - La gestion conservatoire des eaux et des sols (GCES) depuis 1985**

33Devant l'échec de cette stratégie de DRS imposée par le pouvoir technocratique des états, non seulement au Maghreb, mais dans le monde, et refusée par les paysans, car elle réduit les surfaces cultivées (de 5 à 15 % selon la pente) sans augmenter le rendement des cultures, un effort de recherche a été initié pour développer une nouvelle stratégie qui tient compte à la fois des besoins urgents de mieux gérer l'eau, de protéger la terre et d'améliorer les revenus des paysans. C'est ainsi que s'est mis en place tout un réseau de stations d'expérimentation de techniques culturales plus intensives (rotations à fertilisation raisonnée et travail réduit du sol), de structures biologiques de gestion des eaux ruisselant sur les versants (haies vives de légumineuses arbustives, bandes enherbées), d'aménagement des états de surface du sol (gestion des résidus de culture, cordons de pierres, terrasses progressives, technique du zaï ou des cuvettes, labour grossier et billonnage cloisonné), en zones soudanienne et tempérées, dans les montagnes tropicales et en zones semi-arides du Maghreb.

34En Algérie, l'équipe INRF-IRD a mis en place un réseau de 50 parcelles d'érosion et d'une douzaine de ravines expérimentales. Chez l'agriculteur, on a comparé des agro-systèmes, des techniques culturales et des aménagements permettant d'intensifier la production tout en protégeant mieux le sol, afin de mieux valoriser la terre et le travail. Il en est résulté une réduction des risques érosifs et une augmentation très nette des revenus (M. ARABI, 1991 ; É. ROOSE et al., 1993 ; M. MAZOUR et al., 2008 ; B. MORSLI et al., 2008). Sur des couples de ravines (aménagées ou pas), on a comparé des types de seuils (en gabions, en pierres sèches, en grillage, en pneus de récupération, en sacs d'engrais), planté des dizaines d'espèces

d'arbres et d'herbes utiles (R. CHEBBANI et S. BELAINI, 1997 ; ROOSE et al., 2000). La ravine s'est transformée en oasis linéaire où la biodiversité a été recréée, tandis que la dynamique de l'eau a été profondément améliorée (capture des eaux stockées dans les sédiments pour l'irrigation des fruitiers) (É. ROOSE et al., 2000). Malgré dix années de guerre civile, ces aménagements sont encore efficaces et certaines ravines produisent du foin et des arbres.

35En Tunisie, H.N. LE HOUÉROU (1965), M. KAABIA (1994), S. SLIM et F. BEN JEDDI (2010) ont montré tout l'intérêt de planter des jachères de légumineuses (luzerne, trèfle méditerranéen, sulla, etc.), non seulement pour améliorer la production fourragère, mais aussi pour réduire le ruissellement et l'érosion. J. BONVALLOT (1979, 1986) a montré l'intérêt des aménagements de petite hydraulique traditionnelle, tabias et jessour, pour freiner l'érosion. M. BOUFAROUA et K. YEMMA (2002) ont décrit les "méthodes douces", gérées par les paysans, permettant de capter les eaux de surface, comme les jessour en milieu aride, les tabias en zones sahéliennes, les cordons de pierres sèches, les cultures en courbe de niveau, le paillage, les bandes enherbées aboutissant à des terrasses progressives, en zones semi-arides. M. BERGAOUI et J. ALBERGEL, (2000) ont montré l'effet des cordons de pierres sur les crues de l'oued Zioud.

36Au Maroc, les études de géographes (H. EL ABASSI, 1998, 2000 ; A. TRIBAK, 2002 ; J. AL KARKOURI et al., 2002 ; M. CHAKER et A. LAOUINA, 2007), d'agronomes (M. NAIMI et al., 2002 ; M. SABIR, 2002) et deux programmes de recherche PRAD (ENFI-IRD) ont permis la description et l'analyse d'une trentaine de techniques traditionnelles adaptées à sept zones agro-écologiques (É. ROOSE et al., 2002, 2010). Pour valoriser ces aménagements fonciers qui ont demandé aux paysans de longues périodes de mise au point et d'entretien, il est important d'apporter à leur savoir faire, un complément de connaissances sur l'irrigation et la fertilisation raisonnée, sur le choix et l'entretien des cultures de rapport adaptées aux marchés et aux conditions locales (É. ROOSE et al., 2008-a, 2008-b). Le développement de techniques de semis direct sous litière ou de travail réduit (agriculture de protection) a amélioré la fertilité, la structure et l'infiltration de la surface des sols, et réduit les risques de ruissellement et d'érosion dans la zone semi-aride (R. MRABET et R. MOUSSADEK, 2012).

37Cette approche de la gestion durable de l'eau et de la productivité des sols (GCES) interpelle les paysans, car elle leur restitue leur liberté d'innover. Elle a permis de resituer les techniques traditionnelles de

gestion de l'eau et de la fertilité des sols de montagne dans le cadre d'un développement rural rénové, en fécondant ces techniques bien connues des paysans avec des connaissances scientifiques récentes sur l'irrigation et la fertilisation raisonnées de cultures plus rentables.

## **VII - Spatialisation des risques érosifs et importance de la sédimentation**

38La mesure ponctuelle de l'érosion sur parcelles au fil des années permet de comparer les risques sous diverses conditions de sols, pentes, occupation des terres, mais pas de spatialiser les risques sur les versants (car on isole les parcelles et supprime donc les effets cumulatifs) et encore moins sur les bassins versants (car l'énergie du ruissellement, agent du transport, peut être cumulée le long du versant ou absorbée par le couvert végétal et la rugosité du sol). De plus, la rivière développe d'autres types d'érosion (creusement linéaire et sapement des berges) qui dépendent de l'énergie des crues, de la lithologie et de l'existence de nappes alluviales.

39Il faudrait noter le caractère pionnier de la Tunisie qui, dès 1980, a publié une carte de l'érosion du Nord et du Centre du pays à l'échelle 1/200000 (H. BANNOUR et al., 1980).

40Une méthode très élégante pour spatialiser les pertes de terre et les dépôts de sédiments pour aboutir à un bilan de l'érosion à l'échelle du bassin versant s'appuie sur le dépôt homogène d'éléments radioactifs (le béryllium et surtout le césium 137) issus de l'explosion de bombes atomiques en plein air. Par rapport à une parcelle témoin qui n'a pas été érodée (une vieille forêt par exemple), le taux de césium 137 des 30 premiers cm du sol permet de déterminer la valeur des pertes de terre moyennes sur 30 ans ou de mettre en évidence des dépôts de sédiments par le ruissellement (M. MOUKHCHANE et al., 1998). Cependant le problème vient de la répartition hétérogène des vents porteurs de radioéléments en fonction du relief et des pluies, ainsi que du choix arbitraire du modèle transformant la différence de radioactivité en perte de terre (É. ROOSE et G. DE NONI, 2004).

41Les SIG sont aussi un outil précieux pour spatialiser les risques d'érosion en prenant tout à la fois en compte les facteurs et les indicateurs de l'érosion (A. TRIBAK et al., 2008 ; A. MLAOUHI, 2001). Tout l'art consiste à trouver les indicateurs significatifs et à valider les résultats par une analyse détaillée du terrain (A. CHEGGOUR et al., 2006). En réalité, la prévision des risques par le SIG n'est bonne que si toutes les couches d'information sont cohérentes. Il

faut donc développer une méthode permettant de sélectionner les bons indicateurs (simulation de pluies et étude des états de surface des sols) et mettre en place des mesures pour valider les modèles de risques dans l'espace (D. BOUDJEMLINE et al., 2008). C'est ce qui a été réalisé sur le bassin de l'Oued Rhéraya (270 km<sup>2</sup>) dans le Haut Atlas par une équipe de l'IRD et de l'Université des Sciences et Techniques de Marrakech. Un simulateur de pluies manuel a été développé qui a permis de tester 29 stations repérées sur les planches de télédétection du bassin et de sélectionner les indicateurs efficaces. Six parcelles d'érosion ont été positionnées dans les sites représentatifs et les pertes de terre ont été mesurées pendant quatre années. En combinant les pertes de terre mesurées sur les parcelles d'érosion et par le simulateur de pluie, on est arrivé à valider les exportations de sédiments en suspension observées à la sortie du bassin versant (V. SIMONNEAUX et al., 2008).

42 Enfin, il faut indiquer les possibilités toutes récentes offertes par la télédétection (M.S. GUETTOUCHE, 1992 ; A. EL GAROUANI et al., 2005).

### **VIII - Conclusion et perspectives**

43 Depuis 60 ans, la coopération entre les chercheurs français et maghrébins s'est avérée très riche, tant par la diversité des thèmes traités (pas tous présentés ici) que par les méthodes partagées et par les publications réalisées, en français et même en anglais.

44 Dans cette synthèse, nous avons regroupé les thèmes de recherche en cinq chapitres. Bien qu'on retrouve parfois le même type d'études à différentes périodes, on devine une évolution dans le temps des thèmes traités, le centre d'intérêt principal passant successivement de la typologie des risques à la quantification de l'érosion, aux effets sur les caractères des sols, à l'efficacité de la lutte antiérosive (DRS), au développement intégré et à la GCES, et à la spatialisation des risques à différentes échelles.

45 Les recherches ont souvent été effectuées dans le cadre de conventions ou de formations (thèses, stages) entre des universités et des instituts de recherche spécialisés dans la coopération. Les objectifs de développement rural ont souvent été atteints à travers de petits financements réservés en marge de grands projets de protection des sols et de l'environnement. Vu les restrictions financières de ces dernières années, il serait souhaitable que ce mode de coopération entre la recherche et les sociétés de développement soit encouragé : la recherche appliquée à la gestion durable de l'environnement est très riche d'enseignements et prometteuse de nouvelles

connaissances.

46 Suite aux difficultés que rencontrent aussi bien les grands financiers que les simples paysans, et suite à l'échec des grands projets de LAE mécanisée (N.W. HUDSON, 1991), il nous semble nécessaire de pousser les recherches sur l'acceptabilité, l'efficacité et la rentabilité de structures de gestion de l'eau peu complexes (haies vives de légumineuses, petits tabias, cuvettes en demi-lune renforcées de pierres, cordons de pierres, terrasses progressives), qui sont déjà connues des paysans et n'exigent aucun moyen mécanique lourd, et sur la mise au point de systèmes de production rentables (agroforesterie, fruitiers et maraichage, rotation avec légumineuses, cultures associées, irrigation et fertilisation raisonnés).

47 La lutte antiérosive n'arrêtant pas la dégradation des MO du sol, il est nécessaire de mettre au point des systèmes de gestion de la biomasse à la surface du sol et un programme complémentaire de fumure organique et minérale pour alimenter les cultures et restaurer la structure et les activités biologiques du sol.

48 Bien des projets ayant échoué à cause de maladies des plantes ou du manque de connaissance de l'entretien des arbres, il est important d'assurer une formation, un suivi dans les projets innovants et l'organisation de la valorisation des produits.

49 Il s'avère aussi indispensable de développer des études économiques sérieuses sur le coût de l'érosion et des diverses techniques de LAE, les bénéfices divers liés à chaque approche des problèmes d'érosion et de gestion des eaux de surface.

50 Il existe de nombreuses études sur l'érosion et la dégradation des sols : elles nous ont révélé la rapidité et la gravité de cette évolution pour l'alimentation future d'une population en pleine croissance au Maghreb, puisqu'elle double tous les 25 ans. Trop rares sont les recherches orientées vers les techniques de restauration et d'amélioration de la productivité des sols ou vers celles cherchant à rendre plus efficace l'utilisation des eaux disponibles devenues rares.

51 Pour optimiser l'aménagement des bassins versants, on aura toujours besoin de spatialiser les risques et de modéliser les flux liquides et solides. La télédétection, la simulation de pluies, les GIS et les indicateurs (césium 137 et états de surface) sont des techniques modernes élégantes, mais elles exigent une validation locale par des mesures de pertes de terre à différentes échelles.

52 ROOSE É., BLAVET D., SABIR M., OUAGGA T.,

CHEGGOUR A., SIMONNEAUX V., OLIVIER R., FERRER H., LOURI J. et CHOTTE J.L. (2008-b) - Influence de l'utilisation d'un sol brun vertique sur les stocks de carbone du sol, les risques de ruissellement et d'érosion et le devenir du carbone érodé (bassin versant de la Rhéraya, Haut Atlas, Maroc). In : Efficacité de la GCES en milieux semi-arides, É. ROOSE, J. ALBERGEL, G. DE NONI, A. LAOUINA et M. SABIR édit., Édit. AUF-IRD-ENFI, Paris, p. 317-324.

## Bibliographie

ALBERGEL J., NASRI S., BOUFAROUA M., DROUBI A. et MERZOUK A. (2004) - Petits barrages et lacs collinaires en Afrique du Nord et au Proche Orient. *Sécheresse*, vol. 15, n° 1, p. 78-86.

ALBERGEL J., MANSOURI T., ZANTE P., BEN MAMOU A. et ABDELJAOUED S. (2006) - Organic carbon in the sediments of hilldams in a semiarid Mediterranean area. In : Soil erosion and carbon dynamics, É. ROOSE, R. LAL, C. FELLER, B. BARTHÈS et B.A. STEWARD édit., Édit. CRC Press, *Advances in Soil Science*, vol. 15, p. 289-300.

ALBERGEL J., ZANTE P., COLLINET J., ATTIA R., MERZOUK A. (2008) - Ravinement et bilan hydro-sédimentaire des lacs de retenue collinaires au Maghreb. In : Efficacité de la GCES en milieux semi-arides, É. ROOSE, J. ALBERGEL, G. DE NONI, A. LAOUINA et M. SABIR édit., Édit. AUF-IRD-ENFI, Paris, p. 378-384.

AL KARKOURI J., WATFEH A. et ADERGHAL M. (2002) - Techniques de CES dans une zone semi-aride du Rif Central (Beni Bouffrah, Maroc). *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 21, p. 56-82.

AMIRÈCHE H. (1984) - Étude de l'érosion dans le bassin versant des Zardezas (Tell constantinois, Algérie). Thèse de 3ème cycle, Université Aix-Marseille II, 271 p.

AMIRÈCHE H. (2001) - L'eau, le substrat, la tectonique et l'anthropisation dans les phénomènes érosifs du Tell nord-constantinois. Thèse de Doctorat d'État, Université Mentouri, Constantine, 225 p.

ARABI M. (1991) - Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen (Médeza, Algérie). Thèse de l'Université de Grenoble, 272 p.

ARABI M. et ASLAA T. (1998) - Dégradation des banquettes en Kabylie, Algérie. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 18, p. 364-379.

ARABI M., KEDAID O., BOUROUGAA L., ASLAA T. et ROOSE É. (2004) - Bilan de l'enquête sur la DRS en Algérie. *Sécheresse*, vol. 15, n° 1, p. 87-95.

ARONSON J., FLORET C., LE FLOC'H E., OVALLE C. et PONTANIER R. (1993) - Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. A view of the South. *Restoration Ecology*, vol. 1, n° 1, p. 8-17.  
DOI : 10.1111/j.1526-100X.1993.tb00004.x

ASSELIN J. et VALENTIN C. (1978) - Construction et mise au point d'un simulateur de pluie à aspersion. *Cahiers ORSTOM, série Hydrologie*, vol. 15, n° 4, p. 321-350.

AUBERT G. (1986) - Réflexions sur l'utilisation de certains types de banquettes de "Déflexion et Restauration des Sols" en Algérie. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, vol. 22, n° 2, p. 147-152.

AVENARD J.M. (1965) - L'érosion actuelle dans le bassin du Sébou. Édit. INRA, Rabat, 114 p.

AVENARD J.M. (1990) - Sensibilité des terres aux mouvements de masse. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, vol. 25, n° 1, p. 119-130.

BACCARI N., NASRI S. et BOUSSEMA M. (2008) - Efficacité des banquettes sur l'érosion des terres, le remplissage et l'envasement d'un lac collinaire en zone semi-aride tunisienne. In : Efficacité de la GCES en milieux semi-arides, É. ROOSE, J.

ALBERGEL, G. DE NONI, A. LAOUINA et M. SABIR édit., Édit. AUF-IRD-ENFI, Paris, p. 70-73.

BALLAIS J.L. (1972) - La dépression de la Sebhket en Noual. Étude géomorphologique. Thèse de 3ème cycle, Université de Paris I, 271 p.

BALLAIS J.L. (1973) - Les inondations de 1969 en Tunisie méridionale. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, vol. 64, n° 3-4, p. 99-127.

BALLAIS J.L. (1981) - Recherches géomorphologiques dans les Aurès (Algérie). Thèse de Doctorat d'État, Université de Paris I, VII + 566 p.

BANNOUR H. et BOUALLAGUI H. (1979) - Le djebel Chambi et ses piémonts (Tunisie centrale). Aspects du milieu naturel : géomorphologie, morphodynamique, végétation. Thèse de 3ème cycle, Université de Strasbourg, 259 + VIII p.

BANNOUR H., BONVALLOT J., HENTATI A. et SELMI S. (1980) - Étude de l'érosion en Tunisie du Nord et du Centre. *Sols de Tunisie*, vol. 11, 95 p. + cartes hors-texte.

BEDIOT G. (1960) - Étude de l'érosion des sols due au ruissellement superficiel. Thèse de 3ème cycle, Université de Besançon, 471 p.

BEAUDET G., MARTIN J. et MAURER A. (1964) - Remarques sur quelques facteurs de l'érosion des sols. *Revue de Géographie du Maroc*, vol. 6, p. 65-72.

BELLATRÈCHE A. (1988) - Érosion et perspective des sols dans les bassins sédimentaires de Médéa et Béni Slimane, Algérie. Thèse de l'Université de Paris VII, 276 p.

BENCHETRIT M. (1972) - L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie. Édit. Presses Universitaires de France, Paris, 216 p.

BENNETT H. (1939) - Elements of soil conservation. Édit. MAC GRAW-HILL, New-York, 530 p.  
DOI : 10.1097/00010694-194705000-00012

BEN SLIMANE A., RACLOT D., EVRARD O., SANAA M., LEFÈVRE I., AHMADI M. et LE BISSONNAIS Y. (2011) - Quantification des sources d'érosion à l'échelle du bassin versant : illustration sur le bassin de Kamech, Cap Bon, Tunisie. Livre des résumés du colloque sur l'érosion hydrique et la vulnérabilité des sols au Maghreb : état des lieux et perspectives (Rabat), p. 34.

BERGAOUI M. et ALBERGEL J. (2000) - Effets des aménagements en pierres sèches sur la forme des crues de l'oued Zioud, Tunisie. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 20, p. 23-39.

BERGAOUI M., EL FALEH J. et HENDAOUÏ A. (2008) - Impact de l'aménagement des terres de culture par les cuvettes individuelles sur l'humidité et la fertilité des sols (Tunisie centrale). In : Efficacité de la GCES en milieux semi-arides, É. ROOSE, J. ALBERGEL, G. DE NONI, A. LAOUINA et M. SABIR édit., Édit. AUF-IRD-ENFI, Paris, p. 80-85.

BONVALLOT J. (1979) - Comportement des ouvrages de petite hydraulique dans la région de Médenine (Tunisie) au cours des pluies exceptionnelles de mars 1979. *Cahiers ORSTOM, série Sciences Humaines*, vol. 16, n° 3, p. 233-249.

BONVALLOT J. (1986) - Tabias et jessour du Sud tunisien. Agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, vol. 12, n° 2, p. 163-171.

BOUDJEMLINE D. et BENAMARA L. (2008) - Comportement hydrodynamique des horizons pédologiques superficiels. Étude expérimentale sous pluies simulées et sous plan d'eau. In : Efficacité de la GCES en milieux semi-arides, É. ROOSE, J. ALBERGEL, G. DE NONI, A. LAOUINA et M. SABIR édit., Édit. AUF-IRD-ENFI, Paris, p. 343-347.

BOUFAROUA M. et YEMMA K. (2002) - Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en zones arides et semi-arides de la Tunisie. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 21, p. 94-114.

BOUGHERARA A. (1986) - L'érosion actuelle dans le Tell algérien : le cas du bassin versant de l'oued Agrioun. Thèse de l'Université Aix-Marseille II, 414 p.

BOUJARRA A. (1986) - Recherches géomorphologiques dans le bassin versant de l'oued Sbiba (Tunisie centrale) : application à

- l'aménagement anti-érosif. Thèse de 3ème cycle, Université de Strasbourg, 173 p.
- BOUROUBA M. (1988) - Hydrologie et érosion actuelle dans le Tell oriental (Algérie) le cas du bassin versant de l'oued Djendjen. Thèse de 3ème cycle, Université de Provence, 404 p.
- BREULEUX F. (1976) - Inventaire des travaux de conservation de l'eau et des sols en Tunisie. Projet SIDA/TUN 5-13, 24 p.
- CHABAHNI B. (1984) - Contribution à l'étude de l'érosion hydrique des loess des Matmata et de la destruction des jessour (Sud tunisien). Thèse de 3ème cycle, Université de Paris IV, 187 p.
- CHAKER M. et LAOUINA A. (2007) - Pratiques et techniques de CES dans le massif de Boukouali et son piedmont steppique (Maroc oriental). In : Efficacité de la GCES en milieux semi-arides, É. ROOSE, J. ALBERGEL, G. DE NONI, A. LAOUINA et M. SABIR édit., Édit. AUF-IRD-ENFI, Paris, p. 71-92.
- CHAPLOT V., LE BISSONNAIS Y. et BERNADOU J. (2004) - Runoff, soil and SOC losses with a small sloping land catchment of Laos under shifting cultivation. Bulletin du Réseau Érosion, vol. 22, p. 263-276.
- CHEBBANI R. et BELAIDI S. (1997) - Étude de la dynamique du ravinement sur deux couples de ravines expérimentales près de Tlemcen. Bulletin du Réseau Érosion, vol. 17, p. 152-160.
- CHEGGOUR A., SIMONNEAUX V., SABIR M. et ROOSE É. (2006) - Recherche d'indicateurs de ruissellement et d'érosion par simulation de pluies sur les principaux sols du BV du Rhéraya (Haut Atlas, Maroc). In : Efficacité de la GCES en milieux semi-arides, É. ROOSE, J. ALBERGEL, G. DE NONI, A. LAOUINA et M. SABIR édit., Édit. AUF-IRD-ENFI, Paris, p. 307-311.
- COLLINET J. et ZANTE P. (2002) - Le ravinement sur marnes gypseuses en Tunisie semi-aride. Bulletin du Réseau Érosion, vol. 21, p. 301-319.
- CORMARY Y. et MASSON J.M. (1964) - Étude de CES au Centre de recherches de génie rural en Tunisie. Cahiers ORSTOM, série Pédologie, vol. 2, p. 3-26.
- DELHOUME J.P. (1987) - Ruissellement et érosion en zone de piedmont de Tunisie centrale (Djebel Semmama). In : Processus et mesures de l'érosion, A. GODARD et S. RAPP édit., 25ème Congrès International de Géographie (UGI, Paris, 1984), Édit. CNRS, Paris, p. 487-507.
- DELHUMEAU M. (1981) - Étude de la dynamique de l'eau en parcelles du bassin de l'oued Sidi Ben Naceur, Nord de la Tunisie. Édit. ORSTOM Tunis, 234 p.
- DEMMAK A. (1982) - Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Paris VI, 230 p.
- DÉSPOIS J. (1956) - La culture en terrasses en Afrique du Nord. Annales Économie, Société, Civilisation, vol. 1, p. 42-50.
- DUMAS J. (1965) - Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. Cahiers ORSTOM, série Pédologie, vol. 3, p. 307-333.
- EL ABASSI H. (1998) - Le développement de l'arboriculture dans le Rif oriental marocain : une chance pour la stabilité du milieu. Bulletin du Réseau Érosion, vol. 18, p. 380-388.
- EL ABASSI H. (2000) - Le savoir faire des populations et gestion des eaux et des sols en montagne semi-aride du Rif oriental (Maroc). Bulletin du Réseau Érosion, vol. 20, p. 399-428.
- EL GAROUANI A., MERZOUK A., JABRANE R. et BOUSSEMA M.R. (2005) - Analyse spatiale de l'érosion en nappe et de l'infiltrabilité des sols dans le Pré-Rif marocain. Télédéttection, vol. 5, n° 1-2-3, p. 69-80.
- EL HARRADJI A. (1997) - Aménagement, érosion et désertification sur les Hauts-Plateaux du Maroc oriental. Méditerranée, n° 1-2, p. 15-23.
- FEHRI N. (2007) - Les rapports entre les processus morphogéniques et les pratiques agro-pastorales dans la plaine oléicole de Sfax : exemple du bassin versant de l'oued Chaâl-Tarfaoui (Tunisie centro-orientale). Thèse de l'Université de Provence, Édit. Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités de la Manouba, 368 p.
- FERSI M. et ZANTE P. (1980) - Pluie, bilan hydrique et érosion sur une toposéquence du Djebel Dissa (Sud tunisien). Synthèse 1972-77. Rapport DRES-ORSTOM, Tunis, 131 p.
- FLORET C. et PONTANIER R. (1982) - L'aridité en Tunisie présaharienne. Travaux et documents ORSTOM, vol. 150, 544 p.
- FOURNET A. (1969) - Prospection dans les jessour du massif de Matmata. Division des Sols, Tunis, carte + notice.
- GARTET A. (2010) - Mouvements de terrain et risques environnementaux dans l'agglomération de Fès et son arrière-pays... Aménagement, gestion et prévention. Thèse de Doctorat d'État, Université de Rabat, 232 p.
- GRÉCO J. (1966) - L'érosion, la défense et l'érosion des sols et le reboisement en Algérie. Édit. Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, Alger, 303 p.
- GRÉCO J. (1978) - La défense des sols contre l'érosion. Édit. La Maison Rustique, Paris, 183 p.
- GUETTOUCHE M.S. (1992) - Cartographie de l'érosion des sols par imagerie satellitaire du bassin de Médéa. Thèse de Magister, Université Houari Boumediène, Alger, 153 p.
- HAMZA A. (1977) - Typologie des érosions à partir d'une détermination à grande échelle des divers compartiments morphopédologiques du bassin versant de l'oued El Hadjel (Tunisie centrale). Thèse de 3ème cycle, Université de Strasbourg, 409 p.
- HAMZA A. (1988) - Érosion et lutte antiérosive dans le bassin-versant de l'oued Zeroud (Tunisie centrale)... de l'approche exogène à la stratégie techno-paysanne. Thèse de Doctorat d'État, Université de Strasbourg, 1191 p.
- HEUSCH B. (1970) - L'érosion du Pré-Rif (Maroc). Annales de la Recherche Forestière au Maroc, vol. 12, p. 1-176.
- HEUSCH B. (1986) - Cinquante ans de banquettes de DRS en Afrique du Nord : un bilan. Cahiers ORSTOM, série Pédologie, vol. 22, n° 2, p. 53-162.
- HUDSON N.W. (1973) - Soil conservation. Édit. BATSFORD, Londres, 320 p.
- HUDSON N.W. (1991) - A study of the reasons for success or failure of soil conservation projects. FAO Soil Bulletin, vol. 64, Rome, 65 p.
- KAABIA M. (1994) - Effets de quelques systèmes de culture sur l'érosion hydrique, le ruissellement et la fertilité du sol dans le semi-aride tunisien. Annales de l'INRAT, vol. 67, p. 133-147.
- KALMAN R. (1967) - Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin du Sebou, Maroc. Projet Sebou, 32 p.
- KHAMSOUK B., DE NONI G. et ROOSE É. (2002) - New data concerning erosion processes and soil management on Andosols from Ecuador and Martinique. Actes du colloque ISCO XII (12th International Soil Conservation Conference, Beijing, Chine), vol. 2, p. 73-79.
- KOURI L., VOGT H. et GOMER D. (1997) - Analyse des processus d'érosion linéaire en terrain marneux, bassin de l'oued Mina, Tell oranais, Algérie. Bulletin du Réseau Érosion, vol. 17, p. 64-73.
- LAOUINA A. (1992) - Recherches actuelles sur l'érosion au Maroc. Bulletin du Réseau Érosion, vol. 12, p. 292-299.
- LE HOUÉROU H.N. (1965) - L'amélioration pastorale en Tunisie. Principes et méthodes. Édit. INRAT, Tunis, 112 p.
- LOWDERMILK W.C. (1953) - Conquest of the land through 7000 years. Agriculture Information Bulletin, vol. 99, Édit. SCS/USDA, Washington, 30 p.
- MASSON J.M. (1971) - L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Montpellier, 213 p.
- MATHIEU G. (1949) - Contribution à l'étude des Monts Troglodytes dans l'Extrême Sud Tunisien : Géologie régionale des environs de Matmata-Medenine et Fom Tataouine. Annales des Mines et de la Géologie, Tunis, 82 p.
- MAURER G. (1968) - Les montagnes du Rif marocain. Étude géomorphologique. Thèse de Doctorat d'État, Université de Paris, 500 p.
- MAZOUR M., BOUGHALEM M. et MEDEDJEL N. (2008) - La gestion de la matière organique et ses effets sur la conservation de

- la fertilité du sol dans le Nord-Ouest de l'Algérie. In : Efficacité de la GCES en milieux semi-arides, É. ROOSE, J. ALBERGEL, G. DE NONI, A. LAOUINA et M. SABIR édit., Édit. AUF-IRD-ENFI, Paris, p. 175-181.
- MLAOUHI A. (2001) - Climat et érosion par ravinement dans les bassins versants des oueds Maïz et Redjel (Hafouz), Tunisie centrale. Thèse de l'Université de Provence, 221 p.
- MONJAUZE A. (1961-a) - But et principes de la défense et de la restauration des sols en pays arides et semi-arides. Colloque sur la conservation et la restauration des sols (Téhéran, 1959), CR général, Paris, vol.3, chap. 10, p. 112-119.
- MONJAUZE A. (1961-b) - Mécanisation des travaux de DRS en Afrique du Nord. Colloque sur la conservation et la restauration des sols (Téhéran, 1959), CR général, Paris, vol.4, chap. 21, p. 257-278.
- MORSLI B., MAZOUR M., MEDEDJEL N., HAMOUDI A. et ROOSE É. (2004) - Influences de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du Nord-Ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, vol. 15, n° 1, p. 96-104.
- MORSLI B., MAZOUR M., ARABI M., MEDEDJEL N. et ROOSE É. (2006) - Influence of land use, soils and cultural practices on erosion, eroded carbon and soil carbon stocks at the plot scale in the Mediterranean mountains of Northern Algeria. In : *Soil erosion and carbon dynamics*, É. ROOSE, R. LAL, C. FELLER, B. BARTHÈS and B.A. STEWART édit., Édit. CRC Press, *Advances in Soil Science*, vol. 15, p. 103-124.
- MORSLI B., HALITIM A et MAZOUR M. (2008) - Érosion et effet des techniques culturales sur les versants semi-arides de l'Algérie (Beni Chougrane). In : *Efficacité de la GCES en milieux semi-arides*, É. ROOSE, J. ALBERGEL, G. DE NONI, A. LAOUINA et M. SABIR édit., Édit. AUF-IRD-ENFI, Paris, p. 199-203.
- MRABET R. et MOUSSADEK R. (2012) - Potentiel de restauration des qualités des sols sous semi direct sous litière au Maroc. In : *Restauration de la productivité des sols et la protection des effets des pluies cycloniques ou rares*, 14 p., DVD sous presse, Édit. IRD, Marseille.
- M'TIMET A. (1979) - Étude pédologique du bassin versant de l'oued Metameur : plaine des Ababsa. Rapport multigraphié, ORSTOM-DRES, Tunis, 132 p.
- M'TIMET A. et ESCADAFAL R. (1982) - Carte des ressources en sols de la Tunisie. Feuille de Médenine. Édit. Direction des Ressources en Eau et en Sol, Ministère de l'Agriculture, Tunis, carte avec notice, 18 p.
- MOUFADDAL K. (2002) - Premiers résultats des parcelles d'érosion dans le bassin de Nakhla, Maroc. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 21, p. 244-254.
- MOUKHCHANE M., BOUHLASSA S et BOUADDI K. (1998) - Évaluation de l'érosion des sols du BV El Hachef, par le Césium 137 (Tanger, Maroc). *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 18, p. 106-118.
- NAFÂA R. (1997) - Dynamique du milieu naturel de la Mâamora et de ses bordures. Paléoenvironnements et dynamique actuelle. Thèse de Doctorat d'État, Université Mohammed V, Rabat, 275 p.
- NAIMI M., TAYAA M., OUZIZI S., CHOUKR-LLAH R. et KERBY M. (2001) - Estimation du ravinement dans le bassin versant du Nakhla, Rif occidental, Maroc. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 21, p. 232-243.
- NASRI S. (2002) - Impact hydrologique des banquettes mécaniques sur les apports liquides et solides dans les lacs collinaires en zones semi-arides de Tunisie. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 21, p. 115-129.
- OUESLATI A. (1986) - Jerba et Kerkna (îles de la côte orientale de la Tunisie). Leur évolution géomorphologique au cours du Quaternaire. Publications de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Tunis, 2ème série, vol. XXI, 210 p.
- PASCON P. et VAN DER WUSTEN H. (1983) - Les Beni Bouffrah : essai d'écologie sociale d'une vallée rifaine (Maroc). Édit. Institut Universitaire de la Recherche Scientifique (IURS) et Institut Agronomique et Vétérinaire (IAV), Rabat, 297 p.
- PLANTIÉ L. (1961) - Technique française algérienne de banquettes de défense et de restauration des sols. Colloque sur la conservation et la restauration des sols (Téhéran, 1959), CR général, Paris, vol. 4, chap. 20, p. 237-266.
- PONCET J. (1962) - Les rapports entre les modes d'exploitation agricoles et l'érosion des sols en Tunisie. Édit. Secrétariat d'État à l'Agriculture, Tunis, *Études et Mémoires*, vol. 2, 169 p.
- PONCET J. (1970) - La catastrophe climatique de l'automne 1969 en Tunisie. *Annales de Géographie*, vol. 435, p. 581-591. DOI : 10.3406/geo.1970.15175
- POUGET M. (1974) - Étude agro-pédologique de la région de Ouzera (Algérie). Rapport ANRH, Alger, 72 p.
- POUQUET J. (1952) - Les Monts du Tessala (chaînes sud-telliennes d'Oranie). Essai morphogénétique. Thèse de Doctorat d'État, Édit. SÉDES, Paris, 351 p.
- PROST G. (1954) - Utilisation de la terre et production dans le sud tunisien. *Cahiers de Tunisie*, vol. 5, p. 28-66.
- PUTOD R. (1956) - La protection des vignes contre l'érosion. *Revue Agronomie d'Afrique du Nord*, vol. 19, p. 567-576.
- RAYNAL R. (1957) - L'érosion des sols au Maroc. *Annales Scientifiques de l'Université de Halle*, vol. 6, n° 5, p. 855-893.
- RENARD K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A., MAC COOL D.K. et YODER D.C. (1997) - Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised RUSLE. Édit. US Department of Agriculture, Washington, vol. 703, 123 p.
- ROBERT P. (1970) - Comportement des systèmes antiérosifs des Eaux et Forêts dans le Pré-Rif. *Bulletin de Liaison des Ingénieurs Forestiers du Maroc*, vol. 2, p. 33-46.
- ROOSE É. (1973) - Dix-sept années de mesure expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. Thèse de Docteur Ingénieur, Université d'Abidjan (Côte d'Ivoire), Édit. ORSTOM, Abidjan, n° 20, 125 p.
- ROOSE É. (1977) - Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles. Édit. ORSTOM, Paris, série Travaux et Documents, n°78, 108 p.
- ROOSE É. (1981) - Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Édit. ORSTOM, Paris, série Travaux et Documents, n° 130 (Thèse de Doctorat d'État, Université d'Orléans), 569 p.
- ROOSE É. (1994) - Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *FAO Soils Bulletin*, vol. 70, Rome, 420 p.
- ROOSE É. (1996) - Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain, des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. *Bull. Réseau Érosion*, vol. 16, p. 87-97.
- ROOSE É. (2002) - Banquettes mécaniques et techniques traditionnelles de GCES pour la zone méditerranéenne semi-aride de Tunisie. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 21, p. 130-154.
- ROOSE É., ARABI M., BRAHAMIA K., CHEBBANI R., MAZOUR M. et MORSLI B. (1993) - Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne. Réduction des risques érosifs et intensification de la production agricole par GCES. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, vol. 28, p. 289-308.
- ROOSE É., CHEBBANI R. et BOUROUGAA L. (2000) - Ravinement en Algérie : typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. *Sécheresse*, vol. 11, p. 317-326.
- ROOSE É. et SABIR M. (2002) - Stratégies traditionnelles de GCES dans le bassin méditerranéen. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 21, p. 34-44.
- ROOSE É., SABIR M. et DE NONI G., sous la direction de (2002) - Techniques traditionnelles de GCES en milieu méditerranéen. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 21, 524 p.
- ROOSE É. et DE NONI G. (2004) - Recherches sur l'érosion hydrique en Afrique : revue et perspectives. *Sécheresse*, vol. 15, n° 1, p. 121-129.
- ROOSE É. et BARTHÈS B. (2006) - Soil carbon erosion and its selectivity at the plot scale in tropical and Mediterranean regions. In : *Soil erosion and carbon dynamics*, É. ROOSE, R. LAL, C.



- FELLER, B. BARTHES et B.A. STEWARD édit., Édit. CRC Press, *Advances in Soil Science*, vol. 15, p. 55-72.
- ROOSE É., LAL R., FELLER C., BARTHÈS B. et STEWART B., sous la direction de (2006) - *Soil erosion and carbon dynamics*. Édit. CRC Press, TAYLOR and FRANCIS, Boca Raton (Floride, USA), *Advances in Soil Science*, vol. 15, 352 p.
- ROOSE É., ALBERGEL J., DE NONI G., LAOUINA A. et SABIR M. (2008-a) - Efficacité de la GCES en milieux semi-arides. Édit. IRD-AUF-ENFI, Montpellier, 403 p.
- ROOSE É., SABIR M. et LAOUINA A. (2010) - Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc. Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes. Édit. IRD-ENFI-AUF, Montpellier, 343 p.
- RUELLAN A. (1967) - Individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts quaternaires du Maroc. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, vol. 5, p. 421-462.
- RULLAN-PERCHIRIN F. (1985) - Recherches sur l'érosion dans quelques bassins du Constantinois. Thèse de 3ème cycle, Université de Paris I, 356 p.
- SABIR M. (2002) - Quelques techniques traditionnelles de GCES dans le bassin de Sidi Driss, Haut Atlas, Maroc. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 21, p. 224-231.
- SABIR M., MERZOUK A. et BERKAT O. (1994) - Impact du pâturage sur les propriétés hydriques du sol dans un milieu pastoral aride : Aarid, Maroc. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 14, p. 444-462.
- SABIR M. et BOUDHAR B. (1999) - Efficacité de la DRS fruitière sur versants marneux du Pré-Rif, Maroc. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 19, p. 297-310.
- SABIR M., BARTHÈS B. et ROOSE É. (2004) - Recherche d'indicateurs des risques de ruissellement et d'érosion sur les principaux sols des montagnes du Rif occidental (Maroc). *Sécheresse*, vol. 15, n° 1, p. 105-110.
- SABIR M. et ROOSE É. (2004) - Influence du couvert végétal et des sols sur le stock de carbone et les risques de ruissellement et d'érosion dans les montagnes méditerranéennes du Rif occidental, Maroc. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 23, p. 144-154.
- SACCARDY L. (1949) - Nécessité de la lutte contre l'érosion. Méthodes modernes de conservation de l'eau et des sols. *Bulletin Technique des ISA*, n° 42, *Revue Terres et Eaux*, Alger, n°9, p. 3-19.
- SARI D. (1977) - L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). Édit. SNED, Alger, 624 p.
- SIMONNEAUX V., CHEGGOUR A., SABIR M. et ROOSE É. (2006) - Spatialisation de l'érosion dans le bassin versant de la Rhéraya (Haut Atlas, Maroc) Comparaison de simulation de pluies et d'exportation à l'exutoire du bassin. In : Efficacité de la GCES en milieux semi-arides, É. ROOSE, J. ALBERGEL, G. DE NONI, A. LAOUINA et M. SABIR édit., Édit. AUF-IRD-ENFI, Paris, p. 312-316.
- SLIM S. et BEN JEDDI F. (2011) - Protection des sols des zones montagneuses de Tunisie par le sulla du Nord. *Sécheresse*, vol. 22, n° 2, p. 117-124.
- TAABNI M. (1998) - Aménagements, lutte antiérosive et pratiques paysannes dans le Tell algérien. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 18, p. 348-363.
- TATAR H. (1985) - Les milieux et l'occupation du sol dans le bassin versant du Ksob. Thèse de 3ème cycle, Université de Caen, 294 p.
- TIXERON J. (1961) - Note sur la mise en valeur hydraulique des territoires du Sud tunisien. Édit. Secrétariat d'État à l'Agriculture, Tunis, 113 p.
- TRIBAK A. (1998) - Fonctionnement actuel d'une ravine d'érosion dans une zone de marnes miocènes (région de Tarmast, Pré-rif oriental, Maroc) : modèle d'évolution et distribution saisonnière des processus. *Revue de Géographie Alpine*, vol. 86, n° 3, p. 37-48.
- DOI : 10.3406/rga.1998.2890
- TRIBAK A. (2002) - Stratégies et techniques de LAE dans les montagnes du Pré-Rif oriental, Maroc. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 21, p. 45-55.
- TRIBAK A., EL GAROUANI A. et ABAHROUR M. (2008) - Cartographie et évaluation quantitative de l'érosion hydrique dans un espace montagnard marocain : cas du sous-bassin versant de l'Oued Tetla (Pré-Rif oriental). In : Efficacité de la GCES en milieux semi-arides, É. ROOSE, J. ALBERGEL, G. DE NONI, A. LAOUINA et M. SABIR édit., Édit. AUF-IRD-ENFI, Paris, p. 339-342.
- WISCHMEIER W.H. et SMITH D.D. (1978) - Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Edit. US Department of Agriculture, Washington, vol. 537, 58 p.
- YASSIN M., EL BAHI S., RENARD K. et EL WARTITI M. (1998) - Application du modèle de perte de terre "RUSLE" aux terrains forestiers du plateau central du Maroc. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 18, p. 196-205.

#### Table des illustrations

Titre Photo 1 - Parcelles d'érosion près de Mascara (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/2319/img-1.jpg>

Fichier image/jpeg, 336k

Titre Photo 2 - Badlands dans les monts de Beni Chougrane, près de Mascara (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/2319/img-2.jpg>

Fichier image/jpeg, 244k

Titre Photo 3 - Ravinement sur terrain gréseux dans le secteur Trara-Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/2319/img-3.jpg>

Fichier image/jpeg, 188k

Titre Photo 4 - Ravinement sur sols rouges dans la région de Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/2319/img-4.jpg>

Fichier image/jpeg, 228k

Titre Photo 5 - Ravinement sur terrain marneux dans la région de Mascara (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/2319/img-5.jpg>

Fichier image/jpeg, 168k

Titre Tableau I - Importance de divers processus d'érosion (t/ha/an) en fonction de trois paysages typiques de l'Afrique (d'après É. ROOSE et al., 2000).

Légende Ér. : érosion.

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/2319/img-6.jpg>

Fichier image/jpeg, 120k

Titre Photo 6 - Correction torrentielle dans la région de Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/2319/img-7.jpg>

Fichier image/jpeg, 528k

Titre Photo 7 - Réseau de défense et restauration des sols (1945) dans la région de Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/2319/img-8.jpg>

Fichier image/jpeg, 192k

Titre Photo 8 - Réseau de banquettes dégradé dans le secteur Trara-Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/2319/img-9.jpg>

Fichier image/jpeg, 680k

Titre Photo 9 - Réseau de banquettes avec plantation d'arbres fruitiers dans le secteur Trara-Tlemcen (Algérie). [cliché : B. MORSLI]

URL <http://physio-geo.revues.org/docannexe/image/2319/img-10.jpg>

Fichier image/jpeg, 696k

**Pour citer cet article. Référence électronique** Éric Roose, Mohamed Sabir, Mourad Arabi, Boutkhil Morsli et Mohamed Mazour, « Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb », *Physio-Géo* [En ligne], Volume 6 | 2012, mis en ligne le 03 mai 2012, Consulté le 26 septembre 2015. URL : <http://physio-geo.revues.org/2319> ; DOI : 10.4000/physio-geo.2319

IRD (DR émérite), BP 64501, F 34394, MONTPELLIER Cedex 5, FRANCE. Courriel : [Eric.Roose@ird.fr](mailto:Eric.Roose@ird.fr)  
Mohamed Sabir

ENFI, BP 511, SALÉ, MAROC. Courriel : [sabirmohamed@menara.ma](mailto:sabirmohamed@menara.ma)  
Mourad Arabi INRF, BP 193, AÏN DHEB, 26001 MÉDÉA, ALGÉRIE.  
Courriel : [almouraddz@yahoo.fr](mailto:almouraddz@yahoo.fr)  
Boutkhil Morsli INRF, TLEMCCEN, ALGÉRIE. Courriel : [morbinrf@yahoo.fr](mailto:morbinrf@yahoo.fr)  
Mohamed Mazour Université de Tlemcen, Centre Universitaire de Ain Témouchent, TLEMCCEN, ALGÉRIE. Courriel : [mohamed\\_mazour@yahoo.fr](mailto:mohamed_mazour@yahoo.fr)

## LA DEGRADATION 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.

### Gestion durable des eaux et des sols au Maroc

#### 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.

*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.*

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'enfoncent 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 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'aire 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'accroissent 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 déchaînement 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 (BERGSMAN 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 caril 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<sup>2</sup> 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 glaciers 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<sup>2</sup>) 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<sup>2</sup>/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<sup>2</sup> et les transports solides à l'exutoire de l'oued Rhéraya (225 km<sup>2</sup>) 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 (morphogénèse) ( $E < 1$  t/ha/an) tout en permettant le développement d'une couverture pédologique issue de l'altération des roches en place, des colluvions et alluvions (pédogénèse). On dit que les paysages sont stables quand il y a équilibre entre la vitesse d'altération des roches et l'érosion (Kn., IAN 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 morphogénèse 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 détrempe 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, I. 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<sup>2</sup>, sur une pente de 7 % (environ 150 millions de m<sup>3</sup>). 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<sup>2</sup>.

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<sup>2</sup>), 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<sup>3</sup>), 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 citoyens, 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.

## RAVINEMENT EN ALGERIE. TYPOLOGIE, FACTEURS DE CONTROLE, QUANTIFICATION ET REHABILITATION

Par ROOSE E.\*, CHEBBANI R.\*\*et L. BOUROUGAA \*\*\* \* IRD, Réseau Erosion, BP 5045

Montpellier, F 34032 France, Fax : (33).467.41.62.94 ; E-mail : roose@mpl.ird.fr \*\*INSID, BP. 185 Alger Gare, Algérie, fax : (213) 272.23.17 \*\*\*Station INRF, 26000 Aïn D Heb, Medea, Algérie

**Résumé :** Les problèmes d'érosion sont fréquents en Afrique, mais l'importance relative des différents processus varie d'une région à l'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 NW du Tell algérien et des mesures de l'évolution de couples de ravines (aménagées ou non), de l'altération des roches dégagées sur les versants des ravines, et de l'efficacité des techniques de réhabilitation 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

godantes 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 les routes. Deux facteurs principaux contrôlent la dynamique du ravinement : la vitesse du ruissellement (qui dépend de la pente, de la rugosité de la surface du sol et du couvert végétal) et le volume ruisselé (en relation avec les pluies, la capacité d'infiltration des sols, le déficit de saturation et l'encroûtement de la surface du sol). 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 dan), 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 arbustifs, arborescents ou herbacés. La réhabilitation commence

par la fixation mécanique du fond des ravines avec des microbarrages perméables pour éviter la pression hydraulique exercée par les eaux de crue. 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 (Roose, 1994). Dans les zones méditerranéennes à fortes pentes, le ravinement déplace dix fois plus de terre que l'érosion en nappe, ce qui n'est pas vrai en zone tropicale. Cette étude a été effectuée entre 1986 et 1995 dans le cadre d'un projet de coopération entre l'Institut Algérien de Recherche Forestière (INRF) et l'Institut français de Recherche pour le Développement (IRD-ex-ORSTOM).

**Mots-clés :** Algérie, Ravinement, Facteurs, Typologie, Quantification, Réhabilitation

A Gully erosion in Algeria. Typology, controlling factors and rehabilitation N

Abstract : This paper is a synthesis of naturalistic observations and measurements on gully erosion in Algeria between 1986 and 1995. Methods were adapted to local conditions. Observations were recorded on the evolution of longitudinal and cross sections, fine sections of the surface of gully embankments, transfer of measured and colored stones of various diameters, trapping of eroded sediments. Five types of gullies were observed in relation to their functioning and to the cohesion of the soil mantle or rock : 'I V I' shape (if homogenous material like marl, clay or schist), 'I U' shape (if calcareous B horizon or heterogenous rock or soil), (< tunnelling >) (if swelling clays or soluble salts in marl), gullies in relation to landslide on very steep slopes, (( regressive )) and complexe gullies developed in deep colluviums, near the rivers or roads. Two main factors are modifying the gully dynamic : the runoff velocity (depending on slope gradient, roughness and vegetative cover) and the runoff volume (related to rains, soil surface infiltration capacity, soil moisture before rains and sealing crusts on the surface). The gully erosion varies from 90 to 300 t/year depending on rainfall patterns, weathering velocity of rock material (8 to 17 t/year), slope and surface roughness. Many experimental techniques for gullies management from 1 to 10 meters depth on non torrential gullies have been tried in Algeria. Gully rehabilitation begins by fixing mechanically the bottom of the gully with permeable microdams (to avoid hydraulic pressure) and when the dams are filled with sediments, to fix them with grasses and trees around the embankment. The observation of dozens of successes and failures of gully managements in various circumstances allowed us to develop guidelines to be

respected when gullies have to be managed to stop sediment transport to water storage dams (Roose, 1994). In conclusion, gully erosion is often much more active than sheet erosion to transport sediments in mediterranean dams. But, gullies can also grow on sahelo-sudanian glacis of less than 2% slope, because rainstorm intensities are very high and the soil surface is quite impermeable due to various crusts (Casenave and Valentin, 1989). In tropical steep slopes of ferrallitic red soils, gully erosion is also very active, chiefly on basaltic or volcanic material, even if soil aggregation is very high : in that situation where sealing crusts are rare, runoff can be high on pads and fields because of topsoil compaction by animals, cultural practices or by man.

Key-words : Algeria, Gully erosion, Typology, Factors, Rehabilitation.

### La problématique

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, des périodes de surélévation des montagnes ou des changements climatiques ou socio-économiques (Sari, 1977 ; Laouina et al., 2000). Certaines ravines sont très récentes et agressives, en relation avec des averses exceptionnelles (Rapp, 1972 ; Mathys et al. 2000), l'implantation d'habitations ou de routes (Tchotsua et Bonvallet, 2000), la dégradation du couvert végétal par le feu ou le surpâturage (Sari, 1977 ; Boardman et al., 2000), l'extension de cultures peu couvrantes sur des sols fragiles ou l'imperméabilisation de surfaces par le piétinement du bétail et des hommes (Boutrais, 2000). Toutes ces interventions de l'homme augmentent le ruissellement et les risques de ravinement (Roose, 1994).

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 (griffe 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 (Roose, 1994). 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 rigole en fonction de l'érosivité des pluies, du sol, de la pente et du système de culture (Roose, 1994). \* Par contre, 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, des pollutions des nappes en aval et les inondations par les effluents en provenance des champs cultivés dans les rivières poissonneuses et les lacs. L'Etat charge les ingénieurs des services publics de surveiller les forêts et les eaux douces contre toutes ces pollutions. En fonction de la formation et de la zone écologique, deux écoles de pensée ont développés des approches complémentaires de lutte antiérosive. Bennet (1939) 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. Heusch (1970) 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 ravine à quelques centaines de t/ha/an et l'érosion en masse à des milliers de m<sup>3</sup>. 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 (Roose et al., 1993), et 90 à 300 t/ha/an pour le ravinement (Chebbani et Belaidi, 1997). Mais dans le sud de la Côte d'Ivoire, Roose (1973-80) a montré que l'érosion en nappe et rigoles peut atteindre 700 t/ha/an sur une pente déclinée 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 (1993) a souligné le rôle du type de marne et de la distance au réseau de drainage naturel. Kouri et al., (1997) a 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 ce papier, les auteurs présentent les résultats des observations et des expérimentations sur la quantification et la restauration des ravines, effectuées dans le Tell du nord-ouest de l'Algérie par l'équipe Erosion de l'INRF et de l'ORSTOM dans les années 1986-95.

### 1. 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 (Rindex annuel -GO). 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 paysages déjà engorgés et les champs peu protégés (de décembre à la fin du printemps) (Roose & 1982). Les sols sont étroitement dépendant de la lithologie (alternance de roches calcaires dures et de roches tendres "me 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 (Mazour 1992 ; Roose et al, 1993 ; Morsli, 1995). Les zones ravinées naissent souvent dans les parcours où persiste un matorral de quercus, de palmier Chamaerops humilis, de Genista, de cistes, de Ziziphus mmntraca et de diverses graminées (aiss). Dans les fonds de ravines, on observe parfois des Tamaris, lauriers roses, peupliers blancs et noirs, des cannes de Provence et des roseaux, des saules et des frênes fourragers. Des mesures quantitatives ont été faites durant 3 à 4 ms sur une dizaine de couples de ravines (l'une aménagée d'une autre pas) moyennes développées sur marnes dans le Tell algérien (Bourougaa et 1989 ; Chebbani et Belaidi, 1997). Il s'agit des hauteurs et intensités des pluies et l'évolution du volume des ravines à l'aide de béton filetés enfoncés de 80 cm dans le sol pour résister aux jeux des bergers) 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 captifs par les seuils à l'exutoire des couples de ravine et de 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 (Roose, 2000).

Fig. 1 .méthodologie d'étude du ravinement en Algérie (ROOSE,2000).

### 2. Les paramètres contrôlant le développement des ravines.

Le ravinement dépend de l'énergie du ruissellement, laquelle dépend de la masse du ruissellement multiplié par le carré de sa vitesse (Roose, 1994). - 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 (Rapp, 1972 ; Mathys et al.,

\* La lithologie : les argilites, marnes, schistes, basaltes et gneiss sont très vulnérables au ravinement (Roose, 1994). 2000).

\* Le sol : la capacité de stockage de l'eau des vertisols est 4 fois plus forte que celle des sols ferrallitiques et des sols ferrugineux tropicaux (par cm de sol) ; d'après Heusch (1970), il faut environ 300 mm de pluie pour que les fissures des vertisols à argiles godantes se ferment. 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 de 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 (Roose, 1994).

\* 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 plus ou moins stables qui aèrent le sol et augmentent nettement leur capacité d'infiltration (Roose, 1975). 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. A moins de 1% de pente, les eaux s'étalent et n'arrivent à creuser de ravines. A 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, (2000), 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 (1978) a mesuré l'érosion sur 66 ravines sur des sols colluviaux salés très instables. Il analyse 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 : 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.  $Erosion\ en\ ravine = 6.87 \times 10^{-7} \cdot P^{1.34} \times AC \times H$

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

\* l'école de Bennet (1939) 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 (1944) et Wischmeier (1978) qui tente de réduire le volume ruisselé et son énergie en couvrant la surface du sol des champs (systèmes de culture intensifs et couvrants).

### 3. Résultats

#### 3.1. 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.

#### 31.1. 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 (appelés fites). 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 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 par m<sup>3</sup> (GTZ, 1996). 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 (Olivry et Horelbeck, 1990). Pour stabiliser ces ravines il suffit d'empêcher l'évacuation des sédiments détachés des berges par un seuil 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 facile à réaliser, et revégétaliser la ravine et ses environs immédiats.

**2/ Les ravines en « V » 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

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

verticalement en décapant le fond jusqu'à rencontrer une couche cohérente qui la 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 laissent 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 (HOEBLISCH JM., 1992).

**3/ Les ravines en tunnel** se forment dans des matériaux riches en argiles godantes ou en sels solubles (cas des marnes gypseuses)(Hudson, 1973, Stocking, 1976 ; Boix-Fayos et al., 2000). Les eaux circulant 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 facile (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 raviné 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. Par contre si l'infiltration domine, les risques de glissement augmentent ))(Rapp et al., 1972). 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'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, 2000, 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) (Coelho-Netto, 2000). La différence de fonctionnement est importante mais il n'est pas toujours facile sur le terrain de l'observer, sauf 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.

**31.2. 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** (Hudson, 1960). Il s'agit le plus souvent d'une rigole drainant le ruissellement de l'impluvium situé en amont. C'est le cas fréquent dans le Maghreb où les sommets de collines, souvent rocailloux ou tout au moins couverts de sols peu profonds, sont consacrés aux parcours. Le (sur)pâturage 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 (creusé 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 drainilles 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 Koochafkan (1987) ont défini trois stades de développement des ravines auxquels correspondent trois modes de réhabilitation.

\* Au stade juvénile, il reste encore du sol et quelques végétations 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 (Hudson, 1973 ; Heusch, 1988 ; Meunier, 1989, Mura, 1990 ; Combes, 1992 ; Deymier, 1992). Etant donnée 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).

### 3.2. Quantification des processus d'érosion

Il existe peu d'études quantitatives et comparatives des différents processus d'érosion en &que (Rapp, 1972 ; Hudson, 1973, Roose, 1994 ; Kouri, 1997). Au tableau 1, nous avons comparé l'importance de l'érosion en nappe et rigole, du déplacement de terre par les façons culturales et le 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 1. Importance de divers processus d'érosion en zones méditerranéenne, soudanienne et tropicale humide en Afrique. (Roose, 1994)

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 donnée la richesse de la surface des sols en argile et/ou en cailloux (souvent calcaire), la stabilité des agrégats saturés en calcium (Roose et al., 1993 ; Kouri et al., 1997)). Heusch

(1970) arrivait aux mêmes conclusions dans le Prérif 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. Par contre le ravinement y est très actif, même sur des pentes de 1% car les versants sont très longs et le ruissellement élevé (Roose, 1994). 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 (Roose, 1994).

### 3.3. Réhabilitation des ravines en Algérie

#### 3.3.1. 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 (Sabir, 1994). 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 d'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'a donc amené à tester l'efficacité de différents types de seuils et de la revégétalisation des ravines et de leur environnement immédiat. (Voir en annexe)

#### 3.3.2. Expérience concernant l'efficacité de divers types de seuil (tableau 2)

Tableau 2. Efficacité de trois types de seuils sur le ravinement.

Les gabions fixent très vite les sédiments (en 2 ou 3 crues), mais ils peuvent aussi être rapidement détruits par la formation de (< renards D, 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 FFm) 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 (Heusch, 1990). 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, 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 du 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.

### 33.3. 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 (Combes, 1992). 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. Par contre de nombreuses espèces d'arbres (fruitiers, fourragers ou forestiers) tirent bénéfice de l'eau stockée dans les sédiments et peuvent 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 sédiments étant moins riches que les sols, il est bon de les enrichir avec un peu d'engrais. 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 (Bourougaa, Monjengue, 1992). **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 alentours.

La meilleure réaction consiste à empierre les têtes des ravines **ou mieux encore de creuser une mare à cet emplacement où se réunit beaucoup d'eau de ruissellement relativement claire** avant de creuser les ravines (boulis du Yatenga) (Roose, 1994). Seules certaines tribus des Monts Mandara au Cameroun construisent des seuils rabaissés 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. A 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 cause d'échecs et à établir dix règles à respecter pour optimiser leur efficacité (voir annexe 1).

## 4. Discussion

### 4.1. 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 (Tchotsua et Bonvalot, 2000). Les ravines acquièrent des tailles impressionnantes lors des événements exceptionnels (Castro et al., 2000).

\* Dans les paysages 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 Amérique 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 (Boardman et al., 2000).

\* 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).

#### **4.2. 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 (1945) a montré

que la vitesse nécessaire pour déplacer des particules de grosses tailles 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 antiérosive 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.**

#### **4.3. 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).

#### **5. Conclusion:**

La réhabilitation des ravines est une oeuvre de longue durée. Les paysans ont leur propre mode d'appréhender des problèmes posés par la lutte antiérosive. 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 autours de la Méditerranée) ou une rizière (ce 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, de protéger les sédiments par une végétalisation herbacée et arborée raisonnée et productive et enfin de réhabiliter le réseau de drainage en créant un milieu très particulier semblable à une forêt galerie ou un oasis linéaire. La stratégie de lutte antiérosive récemment développée pour valoriser au mieux la terre et le travail (GCES,

voir ROOSE, 1994), est donc également applicable pour lutter contre l'érosion ravinante et restaurer la productivité de la surface abandonnée aux ravines.

## Bibliographie

BENNET H.H., (1939). Elements of soil conservation. New York, Mc Graw-Hill, 564 p. BOARDMAN J., HOLMES P.J., HOLLAND R.&PARSON A.J., (2000). Development of badlands and gullies in the Sneewberg, Great Karoo, South Africa. Int. Symposium (( Gully erosion under Global Change )) Leuven, Belgium, abstract 3 1 BOIX-FAYOS C., CALVO-CASES A., SORIANO-SOTO MD., (2000). Piping and gulling dynamics on agricultural terraces. Evolution aRer land abandonment. Int. Symposium G Gully erosion under Global change )) Leuven, Belgium, abstract 33. i  
BOUROUGAA L., MONJENGUE S., (1989). Fixation biologique et mécanique des ravines Bulletin Réseau Erosion, ORSTOM, Montpellier, No 9 : 19-29. BOUTRAIS J., (2000). Elevage et érosion en Adamaoua (Cameroun). Bulletin Réseau Erosion 19, 14 p., sous presse. BRAHAMIA K., (1993). Essai sur la dynamique actuelle dans la moyenne montagne méditerranéenne : bassin versant de l'Oued Mina (Zone de Taassalet) Algérie Thèse de Géographie Univ. Grenoble, France, 241 p. CASTRO N., AUZET AV., CHEVALLIER P., LEPRUN J.C., (2000). Influence of extreme rainfall events (I31 Nino) on a gully system typical of the basaltic plateau of Southern Brazil. Int. Symp. (( Gully erosion under global change >>. Leuven , Belgium, abstract 44 COELHO-Netto AL., (2000). Recurrent gully and valley development in SE Brazil. Int.Symp. (( Gully erosion under global change )) Leuven, Belgium, abstract 45. CHEBBANI R.et S. BELAIDI (1997). Etude de la dynamique du ravinement : suivi de deux couples de ravines expérimentales près de Tlemcen. ORSTOM, Montpellier, Bull. Réseau Erosion 17 : 152- 160. DEMMAK A., (1 982). Recherche d'une relation empirique entre les apports solides et les paramètres physico-climatiques des bassins algériens. AISH., 144 : 403-414. DESCROIX L., DIGONNET S., GONZALES BARRIOS E., VIRAMONTES D., BOLLERY A, (2000). Local factors controlling gully or areal erosion in the Western Sierra Madre (Northern Mexico) Int Symp. >>Gully erosion under global change D Leuven, abstract 53. COMBES F., (1992). Les plantations RTM. Bull. Réseau Erosion 12 : 52-56. DEYMER Ch. (1992). Les outils de génie civil dans la lutte contre l'érosion torrentielle. DUCHAUFOR H., LEBRETON M., BIZIMANA M., LECUYER J., =ORO C., SINDAKIRA E , (1993). Aménagement d'une ravine en association avec les agriculteurs : Bull. Réseau Erosion 12 : 28-39. ravine de Sagara (Burundi) Etude du fonctionnement hydraulique. ORSTOM Montpellier, Bull. Réseau Erosion 13 : 84-97. ELLISON.W.D., (1944). Studies ofraindrop erosion. Agric.Eng., 25 : 131-181. GTZ, (1 996). L'aménagement des zones marneuses dans les bassins versants des montagnes de l'Atlas tellien semi-aride, GTZ, Rossdorf, Allemagne, 142 p. HEUSCH B., (1970). L'érosion du Pré-Rif Une étude quantitative . Annales de la Recherche Forestière du Maroc, Rabat, 12 : 9 - 176. HEUSCH B., (1988). Aménagement d'un terroir. Techniques de lutte contre le ravinement. CNEARC, Montpellier, 199 p. HJULSTRÖM F., (1945). Studies on the morphological activity of rivers. Bull. Geo.Inst. Univ;Uppsala 25 :293-305 et 442-452. HOEBLISH J.M., (1992). Le lavaka malgache, une forme d'érosion utilisable. Bull. Réseau Erosion 12 : 255-268. HUDSON N.W., (1960). Gully control in Mopani soils. Rhodesian Agric.J.2180 : 1-12. HUDSON N.W., (1973).Soil conservation. Batsford, London, 320 p. KOUIDRI R., ROOSE E., MUXART T., (1989). Quantification de l'érosion en ravine. Projet d'approche dans le temps et dans l'espace. Bull. Réseau Erosion 9 : 52-54. KOURI L., VOGT €3, GOMER D. (1997). Analyse des processus d'érosion linéaire en terrain marneux, bassin de l'oued MINA, Tell oranais, Algérie. BullRéseau Erosion 17 : 64-73 LAOUINA A., (1992). Recherches actuelles sur les processus d'érosion au Maroc. Bull.Réseau Erosion 12 : 292-299. LAOUINA A., NAFAA R.et M. CHAKER .

(2000). Gestion des eaux et des terres et dégradation dans les collines de Ksar el Kebir, Maroc. Bull. Réseau Erosion 19, 18 p. LILIN CH., KOOHAFKAN P., (1987). Techniques biologiques de conservation des sols en Haïti. FAO Rome, 36 p. 1 \ 135

MATHYS N., BROCHOT S., MEUNIER M., (2000). Erosion quantification and rainfall- runoff-erosion modelling in small marly mountainous experimental catchment of Draix, Alpes, France. Int. Symp. << Gully erosion under global change D. Leuven , Abst. 91 MAZOUR M., (1992). Les facteurs de risque de l'érosion dans le bassin versant de l'oued ISSER, Tlemcen, Algérie. Bull. Réseau Erosion 12 : 300-313. MEUMERM., (1992). Erosion torrentielle. Bull. Réseau Erosion 12 : 21-27. MORSLI M., (1995). Les sols de montagne et leur susceptibilité à l'érosion. MURA R., (1990). La correction torrentielle. CEMAGREF.Grenoble, 9 p. OLIVRY J.C. et HOREILBECK J., (1990). Erodabilité des terres noires de la vallée du Buech (France). Cah. ORSTOM Pédol. Spécial érosion, 25, 1-2 : 95-1 10. POESEN J., (1989). Conditions for gully formation in the Belgian loam belt and some ways to control them. Soil Technology 1 : 39-52. RAPP A., (1972). Conclusions fi-om the DUSER soil erosion project in Tanzania. Geografiska Annaler 54 , A : 377-379. RAPP A., AXELSSON V., BERRY L., MURRAY-RUST D., (1972). Soil erosion and sediment transport in the MOROGORO river catchment, Tanzania. Geografiska haler 54, A : 125-156. ROOSE E., (1972). Comparaison des causes de l'érosion et des principes de LAE en régions tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne. In << Journées d'étude du Génie Rural. Florence , Italie : 4 1 7-44 1. ROOSE E., (1973). Dix-sept années de mesure de l'érosion en nappe sur un sol ferrallitique sableux de Côte d'Ivoire. Thèse doct-ing.Fac. Sciences Abidjan, n020, 125 p. ROOSE E., (1976). Etude de l'influence de la mésofaune sur la pédogenèse actuelle en milieu tropical. ORSTOM, Abidjan, Côte d'Ivoire, 56 p. ROOSE E., (1980). Dynamique des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux. Thèse Sciences de la Terre, Univ. Orléans, 642 p. ROOSE E., ARABI M., BRAHAMU K., CHEBBANI R., MAZOUR M., MORSLI By (1993). Erosion en nappe et ruissellement en montagne algérienne. Cahier ORSTOMPédo1.28,Z : 289-308. Cas des Beni Chougranes. Thèse de Magistère, INA Alger, 170 p. ROOSE E., (1994). Introduction à la GCES. Bull. Pédologique FAO no 70, Rome, 420 p. ROOSE E., (2000). Gully erosion in Africa. In (( Gully erosion under global change )) SABIR M., (1 994).Impact du pâturage sur certaines propriétés physiques et hydrologiques Leuven, Belgium, 16- 19 April, abstract 1 1 1. d'un sol brun calcaire en milieu pastoral aride : Aarid, Haute Moulouya, Maroc. Thèse Doctorat en Sciences Agronomiques, IAV HU, Rabat, 196 p. SARI D., (1977). L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). Alger, SNED, 624 p. STOCKING M., (1976). Tunnel erosion. Rhodesian Agric.J., 73,Z : 35-39. STOCKING M., (1978). Examination of the factors controlling gully growth. In << Assesment of erosion )) De Boodt and Gabriels Edit., Wiley, 505-520. TCHOTSUA M. et J.BONVALLOT (2000). L'érosion urbaine au Cameroun : processus, causes et stratégies de lutte. Bull. Réseau Erosion 19 , 8 p. WISCHMEIER WH., SMITH DD., (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to soil conservation planning. USDA-ARS, Handbook n°537, 58 p.

## Annexe : DIX COMMANDEMENTS POUR L'AMENAGEMENT DES RAVINES

1-Tant qu'on n'a pas amélioré l'infiltration sur le bassin versant, il ne faut pas tenter de reboucher la ravine (sinon elle trouvera un autre lit): mais prévoir un canal stable capable d'évacuer les débits de pointe de la crue decennale (au minimum).

2-L'aménagement mécanique et biologique d'une ravine peut être réalisé progressivement en 1 à 6 ans, mais il doit concerner tout le bassin dès la première année. La fixation biologique d'une ravine vient consolider les versants et le fond de ravine stabilisé par différents types de seuils; si on inverse l'ordre, les plantes sont emportées avec les terres lors des crues.

3-L'emplacement des seuils doit être choisi avec soin selon l'objectif visé. Si on cherche seulement à rehausser le fond de ravine pour que les versants atteignent la pente d'équilibre naturel, il faut choisir un verrou, 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 les zones à faible pente, les confluent 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 ravine) qui peut s'observer sur place (zone stable sans creusement ni sédimentation). Dans un premier temps on peut doubler cet écartement et construire les seuils intermédiaires dès que la première génération de seuil est comblée de sédiments : stabiliser immédiatement les sédiments piégés avec des plantes basses dans l'axe d'écoulement et des arbres sur les versants.

5-Pour éviter la pression hydrostatique des coulées, il vaut mieux drainer les seuils (grillage, 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 sol limono-argileux et les pierres des seuils, il faut prévoir une couche filtrante de sable et de gravier pour éviter que les sous-pressions n'entraînent les particules fines et la formation de renards.

7-Le courant d'eau doit être bien 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 et cimentées ou par des ferrailles pour résister à la force d'arrachement des sables, galets et roches qui valent à vive allure au fond des ravines.

8-L'énergie de chute de l'eau qui saute du déversoir doit être amortie par une bavette (enrochement, petit gabion, grillage + touffes d'herbes) ou par un contre-barrage (cuvette d'eau) pour éviter les renards sous le seuil ou le basculement du seuil.

9-Tenir le bétail à l'écart de l'aménagement : il aurait vite fait de détruire les seuils et de dégrader la végétation. En compensation, on peut permettre des prélèvements de fruits, de fourrages et plus tard de bois, en échange de l'entretien de l'aménagement.

10-L'aménagement mécanique n'est terminé que quand on a éteint les sources de sédiments, stabilisé les têtes de ravine et les versants. La végétalisation doit alors se faire naturellement si on a atteint la pente d'équilibre, mais on peut aider la nature en couvrant rapidement les sédiments (herbe) et en les fixant à l'aide d'arbres choisis pour leurs aptitudes écologiques et leur production. Il faut passer de la simple gestion des sédiments à la valorisation des aménagements.

*Les ravines peuvent devenir des "oasis linéaires".*

## LA LUTTE CONTRE L'ÉROSION EN ALGÉRIE

D. HEDDADJ (INRA, Alger, Algérie)

### RESUME

Face au problème de l'érosion qui affecte les sols en Algérie, les différentes tentatives à travers les programmes de "défense et de restauration des sols (DRS)" d'abord, puis de "rénovation rurale" ensuite, ont globalement échoué. Une stratégie alternative orientée vers l'intégration de la lutte anti-érosive dans une démarche agronomique a créé un début d'adhésion des populations. Mais les programmes engagés sont loin d'être à la mesure de l'ampleur des phénomènes érosifs et de leurs conséquences. Une nouvelle doctrine, "la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)", produit de la recherche et des expériences pilotes menées, semble constituer pour l'avenir la réponse la plus appropriée au problème de la dégradation des sols de montagne. Les actions à mener, à l'échelle du bassin versant, devront viser à la fois la maîtrise du ruissellement au sein des parcelles agricoles et la limitation des transferts de charges solides au niveau des zones ravinées et des berges de cours d'eau. Toutefois, ces actions n'atteindront pleinement leurs objectifs que si elles sont intégrées dans une politique d'aménagement de la montagne. MOTS CLES : Algérie - montagne - dégradation des sols - érosion -



## ABSTRACT

### EROSION CONTROL IN ALGERIA

The different evolutions attempted to control erosion in Algeria, that is first the "soil defence and restoration (DRS)" then the "rural renovation", globally failed. An alternative strategy turned towards integration of erosion control in agronomic approach is encountering adhesion of farmers. But the implemented programmes are far from overcoming the importance and the consequences of erosion. A new doctrine, "the sustainable management of water, biomass and soil fertility (GCES)", which is the result of research and leading experiences, seems to be the most appropriate reply to mountain soils degradation. The actions to develop should aim at controlling runoff at agricultural plot scale and limiting solid transport from gullied areas and river edges. However, these actions will completely reach their objectives if only they are integrated in a mountain development policy. KEYWORDS : Algeria - mountain - soil degradation - Erosion - Runoff - Agriculture - Dam silting - GCES strategy - desertification - Development

### INTRODUCTION

L'Algérie consacre depuis une décennie, en moyenne, 2 milliards de dollars annuellement pour approvisionner la population en denrées alimentaires et agricoles de base. Cela représente 20% des importations totales et fait du pays l'un des plus gros importateurs mondiaux de produits agricoles. Face à cette situation, l'agriculture algérienne s'est assigné comme objectif d'assurer une sécurité minimale des approvisionnements alimentaires du pays. La réalisation du principe de sécurité alimentaire exige aujourd'hui l'orientation du système productif agricole en priorité vers l'accroissement des productions de céréales, de légumes secs et de lait car ces produits occupent une place prépondérante dans l'équilibre alimentaire de la population en fournissant les 2/3 de la ration calorifique et protéinique. Si l'atteinte d'un tel objectif nécessite la mise en oeuvre de réformes globales de nature à inciter les agriculteurs à améliorer leurs performances pour les productions prioritaires, le problème de la préservation des ressources demeure une préoccupation majeure. En effet, il est illusoire de fixer des objectifs de production si dans le même temps les ressources en sols régressent quantitativement et qualitativement. L'Algérie, à l'instar d'autres pays méditerranéens, dispose de ressources en sols limitées. Face au défi alimentaire que se propose de relever le pays, la gestion de ces ressources pour un développement agricole durable est une nécessité. L'objectif de cette contribution est de présenter un état de ces ressources et de livrer quelques réflexions sur les orientations possibles pour leur préservation.

### L'ETAT DES RESSOURCES EN SOLS

Sur l'ensemble du territoire la surface agricole utile est de 7.6 millions d'ha et ne représente que 3 % du territoire. La SAU par habitant est passée durant ces 30 dernières années de 0.6 à 0.3 hahab ; au rythme de l'accroissement démographique actuel, ce ratio ne sera plus que de 0.15 en 2010. Ces ressources en sols déjà limitées en surface sont soumises à une série de dégradations. En effet, elles sont menacées par plusieurs facteurs naturels mais aussi par les pratiques liées à l'homme. Parmi les principales atteintes au patrimoine foncier, il convient de citer : l'érosion hydrique et la désertification.

#### L'érosion des sols : un phénomène chronique

La situation particulièrement dégradée de l'espace montagnard n'est pas récente. Elle est l'héritage d'une histoire mouvementée qui a poussé à l'extensivité de l'agriculture dans des régions surpeuplées. L'espace cultivé, à l'échelle du pays, est passé en l'espace d'un siècle de 2 à plus de 7 millions d'hectares. Les écosystèmes forestiers et steppiques ont été bouleversés ; les surfaces forestières sont passées dans le même temps de 7 à 2.5 millions d'hectares. Si le phénomène pouvait être amorcé ici ou là, c'est surtout entre 1880 et 1920 que le grand mouvement de défrichement atteint son apogée (COTE, 1983). Ce mouvement qui a continué jusqu'à nos jours a fragilisé à la fois les sols de versants et ceux des hauts plateaux. La sensibilité de ces milieux est favorisée dans des zones fragiles qui sont principalement des pâturages excessivement exploités, des zones forestières dénudées, des terres en jachère, des bassins versants comportant des ravines et des rigoles et des terres marginales cultivées en céréales.

En conséquence, environ 6 millions d'hectares sont exposés à une érosion active ; la dégradation spécifique dans les bassins versants atteint 2000 tonnes/km<sup>2</sup>/an. Ce sont donc, en moyenne, 120 millions de tonnes de sédiments qui sont emportés annuellement par les eaux. Les conséquences directes d'un tel phénomène, sont d'une part la diminution de la fertilité des sols et la perte de surface cultivable et d'autre part l'envasement des barrages. La diminution annuelle de la capacité de stockage est actuellement évaluée à 20 millions de m<sup>3</sup>. On estime qu'en 2010, les barrages aujourd'hui en exploitation totalisant une capacité d'environ 3900 milliards de m<sup>3</sup> verront leur capacité diminuer de 24 % (BENBLIDIA, 1993).

#### La désertification

Elle concerne spécifiquement les hauts plateaux qui sont actuellement dans un état de dégradation

particulièrement avancé. En effet, un diagnostic sur l'état des parcours (CHETOUI et al, 1993) fait apparaître que leurs capacités productives ont nettement régressé particulièrement ces dernières années du fait de l'utilisation irrationnelle des terres et des moyens inadaptés pour leur exploitation. Les facteurs en cause sont bien connus ; ce sont : - La surexploitation des parcours par un cheptel ovin conduit selon le système de la vaine pâture qui induit une forte régression du couvert végétal. - Une céréaliculture aléatoire qui progresse de manière anarchique sur de larges étendues par suite de défrichements incontrôlés facilités par le développement de la mécanisation : au moins le quart de la steppe exploitable a déjà été défriché.

Les effets cumulatifs de ces différents facteurs ont fini par produire des conséquences spectaculaires représentées par des phénomènes d'ensablement liés à l'érosion éolienne et qui engendrent ainsi la stérilisation de milliers d'hectares. Ces effets se sont aggravés par une succession d'années sèches qui ont fortement altéré les possibilités de régénération de la végétation. L'extension de paysages désertifiés se perçoit aujourd'hui par endroits par la formation de cordons dunaires mobiles qui menacent à la fois les terres agricoles et pastorales mais aussi les infrastructures (agglomérations, routes, voies ferrées, etc. .). Ce diagnostic global sur l'état des ressources fait apparaître des tendances lourdes à leur dégradation. Face à cette situation, la mise en oeuvre de solutions est indispensable pour la sauvegarde des terres agricoles, compte tenu de l'exigüité de la SAU et de sa non extensibilité. Dans cette contribution, la réflexion sera exclusivement orientée sur la prise en charge des problèmes liés à l'érosion des sols, dans les régions montagneuses.

## **LES SOLUTIONS TENTÉES POUR LA MAITRISE DE L'ÉROSION**

### **La DRS et la rénovation rurale**

Le problème de l'érosion a été pris en charge depuis 1945 avec la création d'un service chargé de remettre en état les sols et de construire des ouvrages anti-érosifs dans des périmètres déclarés "d'utilité publique" pour la protection des infrastructures (barrages et ports), des agglomérations et des plaines agricoles. A l'époque, ce sont près de 8 millions d'hectares qui devaient être traités. La stratégie adoptée consistait à combiner la réalisation de banquettes destinées à dériver les eaux de ruissellement vers des exutoires et des techniques culturales au niveau des parcelles. Dans les faits, la priorité a été donnée aux aménagements à l'échelle des versants. Une telle décision était motivée par le fait que ces réseaux étaient considérés comme un moyen direct de réduction du ruissellement. Les techniques au niveau des parcelles devaient suivre par un effet de conditionnement des agriculteurs (TAABNI

et KOUTI, 1993). Malgré les investissements lourds consentis, l'érosion a poursuivi son oeuvre de destruction des sols. Les raisons de l'inefficacité de cette stratégie sont liées d'une part à l'indifférence des agriculteurs, car non associés à ces programmes, et d'autre part à l'introduction et la généralisation d'une technique d'aménagement sans aucune expérimentation préalable (AUBERT, 1986). Le constat d'échec de la DRS a été à l'origine d'un programme de rénovation rurale lancé en 1960. Ce programme se fixait comme objectifs de traiter 13 millions d'hectares en 15 ans ; les actions proposées étaient plus diversifiées et concernaient à la fois l'agriculture, l'élevage et les forêts dans des périmètres bien circonscrits (les zones d'organisation rurale). Le programme dans son ensemble n'a connu qu'une phase expérimentale dont la première opération a été le défoncement des sols pour en accroître la profondeur utile. Au delà des considérations techniques tout à fait discutables, la critique principale formulée à l'égard de ce programme est sa nature autoritaire (COTE, 1983).

Une stratégie alternative testée : l'agriculture de montagne

Les actions de DRS et de rénovation rurale ont été progressivement abandonnées compte tenu de leur inadéquation au contexte physique et socio-économique. Il faut dire que les opérations réalisées ont rarement donné les résultats attendus par leurs promoteurs et ont d'ailleurs fait naître un certain scepticisme. A partir des années 1980, une nouvelle démarche a été mise en place. La stratégie proposée a été le fruit d'une réflexion associant les décideurs, les chercheurs et les praticiens ; cette réflexion a pris en compte :

- les analyses de cas sur des réalisations en essayant de dégager les éléments positifs et négatifs de la démarche appliquée (ex : cas de Béni Slimane et de Zériba) ;
- l'analyse et la prise en considération des résultats des pratiques anti-érosives traditionnelles ;
- les premiers résultats de la recherche dans ce domaine.

Concrètement, la nouvelle approche s'est traduite par l'abandon des programmes coercitifs tels que les réseaux de banquettes et leur substitution par des actions à caractère agronomique prenant en compte la conservation des sols et des eaux, notamment par l'aide au développement de l'arboriculture et de la viticulture, les améliorations foncières, la création de réserves fourragères et la réalisation de retenues collinaires. Sur cette base, une stratégie ciblée sur l'intégration de la lutte anti-érosive dans une démarche de développement de l'agriculture de montagne a été progressivement engagée. L'amorce de cette politique s'est faite par la mise en oeuvre d'un programme test sur une dizaine de périmètres recouvrant la diversité de ces milieux, durant le plan 1985-89. Les programmes ont été

élaborés sur la base d'un plan directeur d'aménagement agro-sylvo- pastoral auquel devaient être rattachées des réalisations d'infrastructures et d'équipements pour l'amélioration des conditions de vie des populations. Malgré la modestie des objectifs quantitatifs visés et l'insuffisance d'intégration spatiale des actions, il est certain qu'un mouvement d'adhésion s'est nettement manifesté parmi les populations concernées. La difficulté majeure rencontrée dans la mise en oeuvre des projets a été l'insuffisance de coordination inter-sectorielle. Cette fonction devait être assurée par des offices d'aménagement et de mise en valeur créés à cet effet et qui n'ont pas eu les moyens suffisants pour assurer cette fonction. Leur dissolution ultérieure repose à nouveau le problème de la coordination à l'échelle d'entités dont les limites chevauchent le plus souvent sur 2 à 4 entités administratives. En complément à ces actions orientées vers les populations, de grands travaux de reboisement et de correction torrentielle visant à assurer la protection des ouvrages hydrauliques ont été réalisés par l'administration. Dans le même temps des actions à moyen terme de nature à améliorer à la fois l'efficacité des techniques mais aussi la démarche globale ont été mises en oeuvre :

- Le bilan de 40 années de DRS : Entrepris dans le cadre d'un programme de coopération entre l'W et l'ORSTOM, il vise à tirer les enseignements de ces expériences et à aboutir à des conclusions objectives par une enquête nationale à 2 niveaux :

- L 'enquête administrative en vue d'un inventaire exhaustif pour préciser la localisation des aménagements, leur état actuel, leur coût, la surface couverte ;

- L'enquête scientifique pour l'analyse plus fine des réussites et des échecs concernant les différents types d'aménagements.

- La mise en oeuvre d'un projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de Oued Mina en coopération avec la GTZ ; Lancé en 1984, ce projet avait pour objectifs de rechercher les méthodes adéquates pour lutter contre l'érosion des terres et l'envasement du barrage, de mettre en place des chantiers de démonstration en vue de sensibiliser des groupes cibles et enfin d'élaborer une planification intégrée pour la préservation des ressources en eau et en sols.

- La réalisation d'un programme de recherches portant sur la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols : mené en liaison avec l'ORSTOM dans le cadre d'une convention, ce programme a été confié en 1985 à une équipe de chercheurs de l'INRF.

Dans son contenu, le programme s'articulait autour de trois axes :

- l'observation et la quantification des processus d'érosion ;
- l'étude des systèmes de production et des pratiques culturelles ;
- la mise au point de techniques anti-érosives.

Malgré tous les efforts engagés sur le terrain, la dégradation des ressources se poursuit à un rythme effréné. Cela tient d'une part à la modestie des programmes face à l'ampleur des phénomènes érosifs et d'autre part à la faible intégration d'une démarche de conservation des sols et des eaux au niveau des terres agricoles et pastorales. Face à cette situation, il est nécessaire et urgent de réfléchir à une stratégie à la mesure des enjeux actuels et futurs.

## **ELEMENTS DE REFLEXION POUR LA MAITRISE DE L'EROSION**

Une prise en charge efficace de la lutte anti-érosive nécessite une intervention à deux niveaux :

- à la mise en oeuvre d'une démarche appropriée à l'échelle du bassin versant ;

- à la maîtrise de l'espace montagneux, à travers une politique d'aménagement du territoire.

### **L'aménagement des bassins versants**

Les programmes de recherches et d'expérimentation réalisés entre 1986 et 1995 permettent aujourd'hui de disposer de solutions permettant à la fois d'intensifier la production en montagne et de préserver les sols des phénomènes d'érosion (ROOSE et al., 1993). Les données issues de ces travaux montrent la nécessité d'agir dans deux directions distinctes et complémentaires : - La maîtrise du ruissellement à l'échelle des parcelles agricoles et des pâturages. Les techniques préconisées visent l'amélioration de la couverture végétale et l'augmentation de la rugosité de surface, afin de favoriser l'infiltration de l'eau et de dissiper l'énergie des eaux de ruissellement. Il s'agit donc d'amener les agriculteurs à modifier leurs pratiques à travers une meilleure gestion de leur espace et des itinéraires techniques appropriés. - La réduction des transports solides par l'aménagement des ravines et des berges des cours d'eau, car il est établi aujourd'hui que les sédiments emportés par les eaux proviennent essentiellement du ravinement et du sapement des berges. Les aménagements viseront la maîtrise de la torrencialité par des constructions de seuils et la stabilisation des berges de ravins mais aussi celles des cours d'eau. Ces actions sont nécessairement à la charge de l'administration compte tenu de leur localisation, de leur nature et de leur finalité.

### **La maîtrise de l'espace**

La prise en charge de l'érosion est indissociable de l'aménagement de la montagne. Pensé longtemps en termes d'aménagements techniques, le problème de

l'érosion est posé aujourd'hui en termes beaucoup plus larges de développement global d'une partie du territoire. La montagne doit être perçue à la fois comme "réservoir hydraulique" pour le nord du pays mais aussi comme "espace de vie". Cette approche s'impose car les conséquences de la dégradation des sols sont désastreuses non seulement pour la montagne elle-même mais également pour le territoire dans sa globalité.

#### **- La montagne réservoir hydraulique" :**

L'eau est un facteur limitant dans beaucoup de régions en Algérie. De ce fait, la construction de barrages est une nécessité pour l'approvisionnement en eau potable des populations et pour la satisfaction des besoins de l'agriculture et de l'industrie. Mais par la construction de barrages, on provoque une concentration dans l'utilisation de la ressource en eau et en conséquence une concentration des pôles de développement. Cela engendre bien souvent des conflits d'usage entre les utilisateurs en aval des ouvrages. Mais vis-à-vis du problème de l'érosion, la réalisation des ouvrages a tendance à provoquer le renforcement de la marginalisation des populations situées en amont de l'ouvrage et cela peut conduire à une accélération de la dégradation du milieu (HONERMA", 1992). Du fait du grand nombre de barrages construits, en cours de réalisation ou projetés, c'est quasiment tout l'atlas tellien qui sert de bassin versant et donc de château d'eau pour le nord du pays. C'est la raison pour laquelle, les problèmes posés prennent une dimension régionale, d'autant qu'il y a un grand nombre de barrages construits nécessitant la prise en charge du problème de l'envasement et que les sites disponibles pour la construction de ces ouvrages sont limités. Le rôle stratégique des barrages dans l'économie nationale justifie pleinement que soit accordée la priorité à l'aménagement des bassins versants alimentant les barrages, en établissant une hiérarchie sur la base du rythme annuel d'envasement. Comme il est clairement établi que les sédiments proviennent pour l'essentiel des zones en ravinement et non des zones cultivées ou des parcours (ROOSE et al., 1993 ; KOURI, 1993), il est nécessaire et urgent de développer des travaux de correction torrentielle et de stabilisation des berges. De tels programmes ont été engagés depuis longtemps avec un niveau d'efficacité fort appréciable parmi lesquels on peut citer les bassins versants de Sly (Chleff) et celui d'Isser-Sikkak (Tlemcen).

#### **-La montagne "espace de vie"**

L'analyse historique de la dégradation des milieux montrent clairement qu'elle a été la conséquence d'une paupérisation des populations montagnardes. C'est pourquoi, la montagne mérite également d'être considérée pour elle-même, c'est à dire comme un espace

de vie . A ce titre, cet espace territorial doit bénéficier d'investissements pour le maintien des populations qui, à leur tour, pourront dans le cadre d'une politique agricole spécifique préserver et valoriser au mieux les ressources. Les orientations d'un tel développement restent à consacrer dans le cadre d'une politique d'aménagement du territoire qui visera non seulement à promouvoir une agriculture de montagne moderne intégrant le souci de conservation des sols et des eaux mais aussi à diversifier les activités économiques de nature à créer des revenus complémentaires pour les populations qui y vivent.

#### **CONCLUSION**

La sauvegarde des terres agricoles est vitale pour l'avenir compte tenu de l'exigüité de la SAU. Il est essentiel de redonner à la terre agricole sa valeur de facteur rare et d'assurer sa gestion de manière rationnelle. Les différentes actions tentées sur le terrain, avec leur cortège de succès et d'échecs, et les données acquises par la recherche mais aussi dans le cadre de projets pilotes permettent aujourd'hui d'avoir le recul suffisant pour proposer les éléments nécessaires à l'élaboration d'une nouvelle stratégie de lutte anti-érosive basée sur une gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (la GCES). Cette nouvelle doctrine semble constituer la réponse la plus appropriée pour une gestion durable des sols en milieu montagnard. Mais, l'acteur des changements attendus étant ici l'agriculteur, une démarche de partenariat associant la profession agricole, les agriculteurs et l'administration est indispensable pour engager les changements nécessaires. Cependant, cela ne sera sans doute pas suffisant pour atteindre les objectifs recherchés, si une telle démarche n'est pas accompagnée d'une politique de développement de la montagne.

#### **BIBLIOGRAPHIE**

- ARABI (M.), 1991 - Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen (Médéa, Algérie). Thèse géographie, univ. Grenoble, 272 p. AUBERT (G.), 1986 - Réflexions sur l'utilisation de certains types de banquettes de "Défense et Restauration des Sols" en Algérie. Cah. Orstom, ser. Pédol., 22 (2) : 147- 151  
BENBLIDIA (M.), 1993 - "Eau et développement durable". In : Colloque Maghrébin Eau et Développement Durable, Alger, Algérie. CHETOUÏ (Z.), BENREBIHA (A.), HEDDADJ (D.), 1993 - Présentation de la steppe algérienne. In : Compte Rendu de la Réunion sur la steppe Nord-Africaine, IAM, Saragosse.  
COTE (M), 1983 - L'espace algérien. Les prémices d'un aménagement. Alger, OPU, 278 p. HONERMA" (H.), 1992 - "La socio-économie et l'érosion". In : Séminaire de planification du projet pilote d'aménagement intégré du bassin versant de l'Oued Mina, Relizane, Algérie.  
KOURI (L.), 1993 - L'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'Oued Mina (Algérie). Thèse géographie, univ. Strasbourg, 238 p. MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, 1995 - "Demain l'Algérie". L'état du territoire. La reconquête du territoire. Alger, OPU, 432 p. ROOSE (E.), 1994 - Introduction à la gestion

conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bull. Pédol. FAO, 70,420 p.  
ROOSE (E.), ARABI (M.), BRAHAMIA (K.), CHEBBANI (R.), MAZOUR (M.), MORSLI (B.), 1993 - Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Cah.

Orstom, sér. Pédol., 28 (2) :289-308. TAABNI (M.), KOUTI (A.), 1993 - Stratégies de conservation, mise en oeuvre et réactions du milieu et des paysans dans l'ouest algérien. Bull. Réseau Erosion, 13 : 215-229.

## ETUDE DE CAS AU MAGHREB 94

**Contribution à l'évaluation du maintien en état de fonctionnement des aménagements de conservation des eaux et du sol en banquettes (Tunisie littorale semi-aride)**

Rajouene Majdoub<sup>1\*</sup>, Youssef M'Sadak<sup>1</sup>, Asma Ben Saleml<sup>1</sup>, Kamel Gazzeh<sup>2</sup>, Emna Dhakouani<sup>1</sup> <sup>1</sup>Département du Génie des Systèmes Horticoles et du Milieu Naturel. Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem, Sousse, Tunisie <sup>2</sup>Arrondissement de Conservation des Eaux et du Sol. Commissariat Régional au Développement Agricole de Sousse, Tunisie E-mail : rmajdoub@yahoo.com

Revue des Régions Arides - Numéro Spécial - n° 35 (3/2014) - Actes du 4ème Meeting International 'Aridoculture et Cultures Oasisennes : Gestion des Ressources et Applications Biotechnologiques en Aridoculture et Cultures Sahariennes : perspectives pour un développement durable des zones arides, 17-19/12/2013 957-964

**RESUME** Les banquettes sont des ouvrages antiérosifs amplement répandus dans le Sahel Tunisien, zone côtière semi-aride. Elles sont aménagées en vue de capter les eaux de ruissellement et d'améliorer la fertilité du sol et la production agricole. Ce travail vise l'étude du fonctionnement des banquettes au niveau du bassin versant de Sabkhet El Kelbia (délégation de Sidi El Heni, gouvernorat de Sousse). Trois sites ont été identifiés pour déterminer les anomalies détectées à l'échelle du bassin versant observé, caractérisé par la faiblesse de son couvert végétal et la nature dégradée de certaines terres. Des prélèvements de surface ont été accomplis aux emplacements de tels dysfonctionnements surtout pour caractériser les sels solubles. Les résultats relevés relatifs au maintien en état de fonctionnement des aménagements considérés seront présentés et analysés. Des défaillances diversifiées, réduisant les performances des banquettes étudiées, méritent d'être dévoilées, à savoir : les trous de suffusion, le dessèchement de la banquette, l'affaissement, le ravinement, ainsi que l'affleurement des sels. Les facteurs responsables de leur apparition résident particulièrement en la présence importante du gypse et à la forte alcalinité du sol due à sa richesse en ions sodium. L'épandage raisonné des margines selon des doses bien étudiées pourrait constituer une alternative efficace pour la restructuration du milieu et la gestion durable des ressources naturelles. Mots Clés : Banquettes, dysfonctionnements des ouvrages, eaux de ruissellement, fertilité du sol, milieu semi aride, Tunisie littorale.

**SUMMARY** The benches are an anti-erosion structure widely used in the Tunisian Sahel, semi-arid coastal zone. They are equipped to capture runoff and improve soil fertility and agriculture production. This work aims

to study the functioning of the benches at the watershed Sabkhet El Kelbia (zone of Sidi El Heni, Sousse region). Three sites have been identified to determine anomalies across the observed basin, characterized by the weakness of its vegetation and degraded nature of some land. Surface samples were performed at locations of such dysfunctions; especially to characterize the soluble salts. The observed results related to the operating conditions are presented and analyzed. Diverse failures, reducing performance of the studied benches need to be revealed, namely the holes suffusion, drying benches, subsidence, gully, and the flush salts. The responsible factors for their emergence were particularly the significant presence of gypsum and strong alkalinity of the soil due to its high sodium ions content. The rational application of vegetable waters with reasonable doses could be an effective alternative for the environment restructuring and the sustainable management of natural resources. Keywords: Benches, dysfunctional structures, runoff, soil fertility, semi-arid, coastal Tunisia.

**1. INTRODUCTION**

Au Sud de la Méditerranée, les ressources en eau et en sol sont rares et vulnérables. Cette zone est caractérisée par une érosion hydrique très sévère (Al Ali, 2007). Face à ce problème de dégradation du milieu rural, une politique volontariste d'aménagement a été instaurée pour assurer une gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols. De ce fait, dans les milieux aride et semi-aride de la Tunisie, les aménagements de conservation des eaux et du sol jouent un rôle important dans la collecte et le stockage sur les versants des eaux de ruissellement (Nasri et al, 2004; Majdoub et al., 2011). Ces aménagements antiérosifs ont pour objectifs la protection des terres, la lutte

contre l'érosion, la mobilisation et la maîtrise des eaux de ruissellement ainsi que l'amélioration de la production agricole (Oweis et Taimeha, 1994 ; Al Ali, 2007 ; Ben Salem et al., 2012).

Parmi les aménagements rencontrés, les banquettes mécaniques sont les plus courantes dans les zones méditerranéennes semi-arides de l'Afrique du Nord. Selon Al Ali (2007), une banquette est une levée de terre aménagée perpendiculairement à la pente du terrain pour intercepter et stocker les eaux de ruissellement, améliorer l'infiltration et réduire l'érosion. Plus de 1,5 millions d'hectares de terres agricoles ont été aménagés de cette façon dans les trois pays du Maghreb (Tunisie, Algérie, Maroc). Les banquettes mécaniques devraient être bien situées et bien construites (Roose, 2002). En Tunisie, l'aménagement des banquettes représente la plus grande part de l'effort procuré pour faire face à l'érosion et protéger les terres arables en pente (Nasri et al, 2006). Cependant, la présence de certaines anomalies peut réduire leurs performances malgré l'apport positif enregistré au niveau des banquettes en termes de conservation des eaux et du sol (Khlifi et al., 2010). Le présent travail se propose d'analyser le système des banquettes mécaniques en évaluant le maintien de son état de fonctionnement (observations sur le terrain complétées par des échantillonnages et des analyses chimiques) dans la région de Sousse, zone littorale semi-aride de la Tunisie, plus précisément, au niveau du bassin versant de Sabkhet El Kelbia.

## 2. MATERIELS ET METHODES

La zone d'étude est le bassin versant de Sabkhet El Kelbia (Figure 1). Ce bassin couvre une superficie de 485 km<sup>2</sup>. Il est localisé dans la délégation de Sidi El Heni, située à une trentaine de km au SudOuest de Sousse et une vingtaine de km à l'Est de Kairouan. Ce bassin constitue l'exutoire principal des oueds Zeroud, Merguellil et Nabhana et que depuis l'aménagement des séries de barrages sur ces oueds, la sebkha draine essentiellement la zone aval à ces barrages pour les années à pluviométrie moyenne. Ce bassin versant reçoit un volume des apports moyens annuels estimé à 1 025 570 m<sup>3</sup> (CNEA, 2009).

Figure 1. Carte de localisation du bassin versant de Sabkhet El Kelbia Le bassin versant de Sabkhet El Kelbia est caractérisé par la faiblesse de son couvert végétal ainsi que par la nature dégradée de certains sols. De point de vue hydrologique, ce bassin versant est caractérisé par un réseau hydrographique très dense. Le coefficient de compacité de ce bassin ( $K_c$ ) est égal à 1,4. Cette valeur est supérieure à 1,12 ; d'où, le bassin versant est allongé. La pente du bassin versant est faible (0,67%). Cette valeur est inférieure à 2%. Selon la classification des classes de pentes, le bassin versant

de Sabkhet El Kelbia appartient à la classe de pente C1 (Bahri et al., 1995). Le site d'étude est un sous bassin localisé dans le bassin versant Sabkhet El Kelbia (Figure 2). Ce bassin versant regroupe un ensemble d'exploitations agricoles privées qui ont été abandonnées par leurs propriétaires, en raison de l'inaptitude des terres à produire au niveau de cette zone. Le choix de ce bassin versant a été dicté par le fait qu'il manifeste une présence pertinente de plusieurs anomalies affectant les aménagements de conservation des eaux et du sol essentiellement les banquettes.

Figure 2. Situation des anomalies essentielles relevées dans le bassin versant étudié Le travail in situ, relatif au diagnostic des défaillances de fonctionnement des banquettes, a été accompli au niveau de trois sites, le premier est choisi au niveau de la crête, le deuxième au milieu du bassin et le troisième à côté de l'exutoire (Figure 2). Afin de ressortir les éventuelles causes affectées aux anomalies de fonctionnement détectées au niveau du bassin d'étude, des échantillons de sol ont été prélevés au niveau des trois sites. L'échantillonnage a été effectué à l'aide d'une pelle au niveau de la couche superficielle (0-25 cm). Chaque échantillon a subi le dosage des sels, à savoir : calcium ( $Ca^{2+}$ ) et magnésium ( $Mg^{2+}$ ) par la méthode de dosage des alcalineux-terreux (complexométrie) ; sodium ( $Na^+$ ) et potassium ( $K^+$ ) par la méthode de spectrométrie d'émission à flamme ; sulfates ( $SO_4^{2-}$ ) et chlorures ( $Cl^-$ ) ; carbonates et bicarbonates ( $HCO_3^-$ ) ; calcaire total ( $CaCO_3T$ ) par le calcimètre de BERNARD ; gypse. La conductivité électrique CE (mmhos/cm) a été également évaluée.

## 3. RESULTATS

### 3.1. Diagnostic in situ des dysfonctionnements des banquettes

Les anomalies identifiées in situ sont particulièrement : les trous de suffusion, le dessèchement, l'affaissement, le changement de vocation, le ravinement au niveau de l'impluvium de la banquette et l'affleurement des sels au niveau de la banquette et de son impluvium. Les photos de 1 à 8 ci-après dévoilent l'ensemble des défaillances constatées au niveau des banquettes (cas par cas). Ces incidents de fonctionnement seront énumérés et analysés dans ce qui suit.

#### 3.1.1. Trous de suffusion

Les trous de suffusion ont été aperçus au niveau des banquettes (Photo 1). Ce phénomène est dû essentiellement à la nature du sol. En effet, avec la stagnation des eaux retenues dans le canal, l'eau arrive à pénétrer dans la banquette provoquant ainsi la dissolution du gypse. Ceci a pour conséquence la création du vide à l'intérieur de la banquette, et par suite, sa rupture plus ou moins complète.

Photo 1. Trou de suffusion  
Banquette desséchée

Photo 2.

fréquence des pluies que par la mauvaise stabilité structurale du sol.

Photo 3. Banquette affaissée

Photo 4. Banquette modifiée par l'Agriculteur

Photo 5. Exemple de ravinement

Photo 6.

Affleurement des sels à la surface du sol

Photo 7. Affleurement localisé des sels

Photo 8. Entrepôt des sels en profondeur

3.1.6. Affleurement des sels

L'une des plus remarquables constatations au niveau du bassin versant Sabkhet El Kelbia est l'apparition d'une grande étendue des sels couvrant une superficie plus ou moins importante du bassin versant (Photo 6). Le problème d'affleurement paraît hasardeux, vu l'abondance des activités agricoles au niveau de cette zone. Ce phénomène est prononcé par la présence de la Sebkha. Au niveau du site d'étude, le phénomène d'affleurement salin n'étant pas limité aux couches superficielles du sol. En effet, des dépôts de sel sont perçus également au niveau des banquettes. Ces dépôts sont répartis de part et d'autre de ces dernières. La Photo 7 montre bien la forte couverture de la banquette par les dépôts de sel ainsi que l'absence de la végétation au niveau de la zone examinée. Outre au niveau de la surface et de part et d'autre des banquettes, les couches de sel s'aperçoivent au niveau des forts ravinements creusant le sol en profondeur (Photo 8). Cette constatation est témoinnée par l'absence de végétation. En effet, la présence excessive des sels inhibe l'absorption des éléments nutritifs par la plante.

### 3.1.2. Dessèchement des banquettes

La majorité des banquettes sont caractérisées par la détérioration de leur structure. En effet, des fentes de retrait sont réparties partout sur les banquettes examinées. Ces fentes sont essentiellement rencontrées au niveau des talus (Photo 2). Les fentes continuent à s'élargir avec le temps pour aboutir ensuite à des trous qui viennent percer la banquette. Ceci entraîne la fissuration de la banquette, et par suite, la réduction du rôle joué par cet ouvrage. Cela pourrait être expliqué par la texture argileuse du sol dont elle est formée et par la présence des sels qui contribuent à leur tour à l'accentuation du phénomène observé.

**3.1.3. Affaissement des banquettes** Les eaux pénètrent à travers la banquette entraînant ainsi le sol avec elles, ce qui provoque la formation du vide, et par l'effet du poids, la banquette s'affaisse (Photo 3). Ce fléchissement peut être dû, en premier lieu, à l'âge des banquettes (20 ans), leur abandonnement et le manque d'entretien. Ainsi, sur la majorité des surfaces aménagées en banquettes, la technique de consolidation biologique est très rare, voire même inexistante. En second lieu, une autre cause semble être responsable de ce phénomène qui est l'instabilité structurale du sol ainsi que sa texture argileuse causant, par la suite, sa fragilité et son incapacité de se tenir.

### 3.1.4. Changement de vocation

Les banquettes dont le but primordial est d'intercepter et retenir le maximum d'eau ont été rompues ou transformées en banquettes semi-culturales, suite à l'intervention de l'Agriculteur qui a tendance à labourer le canal de la banquette pour l'exploiter. Ainsi, à chaque opération de labour, les quantités d'eau de ruissellement retenues grâce aux banquettes diminuent, suite à la réduction de la hauteur de la banquette (Photo 4).

### 3.1.5. Ravinement au niveau de l'interbanquette

Le bassin versant d'étude souffre d'une forte ravine constatée sur la totalité de la superficie de la zone d'étude (Photo 5). Malgré l'existence des aménagements de conservation des eaux et du sol, ce phénomène persiste encore avec des degrés de gravité croissante de l'aval vers l'amont du bassin considéré. Ceci pourrait être expliqué tant par l'intensité et la

## 3.2. Diagnostic chimique des dysfonctionnements des banquettes

Les résultats au niveau des trous de suffusion (Tableau 1) ont révélé que le sol est fortement calcaire avec un taux moyen de 33,9%. La teneur en calcaire est expliquée par la forte présence de calcium et de carbonates (formation de  $\text{CaCO}_3$ ). En outre, les fortes concentrations en calcium entraînent la libération des ions  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$  du complexe absorbant qui seront perdus par lessivage. Ceci est confirmé par les faibles taux prouvés par les analyses. Les fortes concentrations en sulfates et en calcium expliquent le taux moyen de gypse trouvé, soit 6,2%. C'est une valeur très importante pour un sol agricole. Ceci montre que les fortes teneurs en gypse sont à l'origine de la suffusion des banquettes. Ces résultats confirment ceux trouvés par Baccari et al. (2005) qui ont montré que suite au phénomène de suffusion, des ruptures au niveau des bourrelets des banquettes ont été provoquées. Ce phénomène rend les banquettes incapables de retenir les eaux de ruissellement. Baccari et al (2007) ont rapporté que ce type d'aménagement n'est pas efficace sur les sols gypseux, qui en contact avec l'eau, provoquent la création d'une macroporosité qui facilite la circulation de l'eau à l'intérieur des banquettes. Tableau 1. Analyse des sels et du gypse au niveau de trois trous observés de suffusion

Les résultats au niveau des banquettes desséchées (Tableau 2) ont dévoilé, comme dans le cas des suffusions, la présence pertinente des ions  $\text{Ca}^{2+}$ . Une



telle existence inhibe la disponibilité des éléments nutritifs tels que le magnésium et le potassium. Quant aux ions sodium et chlorures, leurs taux sont considérables entraînant ainsi la salinisation du sol. Le taux des ions carbonates confirme la forte alcalinité du sol, étant donné que le sol s'alcalinise d'autant plus que la teneur en  $\text{HCO}_3^-$  augmente. Le taux du calcaire total moyen est estimé à 32,5%. Ainsi, le dessèchement est causé principalement par la forte présence des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , qui sont responsables de la destruction de la structure du sol. Tableau 2. Analyse des sels et du gypse au niveau des banquettes desséchées

Les résultats au niveau du ravinement observé (Tableau 3) ont montré des fortes teneurs en calcium enregistrées, soit 18 mg/100 g. Ceci souligne la forte richesse en calcium de ce sol (Gallali, 2004). Pour le magnésium, le seuil de déficience est de l'ordre de 0,7 mg/100 g. Cette valeur est largement inférieure à 83 mg/100 (établie par les analyses), d'où, le sol est fortement riche en magnésium. Concernant le potassium, il est présent en grande quantité, soit 2 mg/100 g qui est une valeur supérieure à 0,1 mg/100 g, considérée comme seuil de carence. Ainsi, le sol est riche en bases échangeables. Le ravinement pourrait être justifié par la forte présence des ions sodium avec une teneur de 200 mg/100 g, ce qui explique la forte conductivité électrique trouvée. Cependant, des fortes teneurs en sulfates, soit 476 mg/100 g et en ions chlorures, ont été discernées. La forte teneur en ions carbonates pourrait expliquer la mauvaise infiltration des eaux, étant donné que fortement présents dans le sol, ces ions précipitent les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , d'où la diminution de l'infiltration de l'eau. Le taux du calcaire total (34,5%) indique qu'il s'agit d'un sol fortement calcaire. Or, dans les sols calcaires, les sulfates subissent une altération et une oxydation pour former le gypse (FAO, 1990). Daoud et Halitim (1994) ont mentionné qu'un sol est considéré gypseux, si sa teneur en gypse dépasse 5%. Pour le ravinement étudié, le taux de gypse est estimé à 6,0%. Il s'agit bien d'un sol gypseux.

Tab 3. Analyse des sels et du gypse au niveau du ravinement observé

Les résultats au niveau des zones présentant un affleurement des sels (Tableau 4) ont dévoilé de fortes teneurs en ions sodium et en ions chlorures, soient 30 mg/100 g et 45,5 mg/100 g de façon respective. Les sulfates (56,5 mg/100 g) et le calcium (11,0 mg/100 g) sont également présents en fortes quantités. Ces deux ions entrent en réaction pour former le gypse. Ceci a été confirmé par le taux moyen de gypse estimé à 7,0%. Au niveau des zones contrôlées, le taux moyen de calcaire est évalué à 32%, ce qui consolide la salinité du sol ainsi que son alcalinité.

Tableau 4. Analyse des sels et du gypse au niveau des affleurements salins relevés

#### 4. CONCLUSION

Les résultats acquis du diagnostic entrepris, à propos du maintien en état de fonctionnement des banquettes mécaniques aménagées au niveau du bassin versant de Sabkhet El Kelbia (Sidi El Heni, Sahel Tunisien), ont montré l'existence de plusieurs dysfonctionnements relevés qui sont principalement dues à une concentration élevée en gypse dans le sol ainsi qu'à sa forte alcalinité. A titre indicatif, pour les suffusions, il s'est avéré que le percement des banquettes est causé par la présence du gypse. Pour la salinisation du sol, les fortes teneurs en ion sodium sont à l'origine de l'affleurement des sels. Ceci, et en combinaison avec les fortes teneurs en calcium, entraîne le blocage du phénomène des échanges cationiques et diminue le taux des cations échangeables dans le sol, d'où la structure fragile du sol remarquée au niveau d'un tel bassin versant. Il en résulte que dans la région considérée, les banquettes ne sont plus une solution efficace pour la lutte antiérosive et l'amélioration qualitative du sol. A cet égard, ces ouvrages contribuent, dans leur état actuel, à accentuer les dégâts de ruissellement, amplifiant ainsi le phénomène de l'érosion hydrique. Devant cette situation, l'hypothèse d'explorer des alternatives aux banquettes doit être saisie. Parmi les techniques conservatrices douces envisageables, l'épandage raisonné des margines, largement disponibles, pourrait constituer une investigation à entreprendre dans l'avenir.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES** -Al Ali Y. (2007) : Les aménagements de conservation des eaux et des sols en banquettes : Analyse, Fonctionnement et essai de modélisation en milieu méditerranéen (El Gouazine, Tunisie Centrale). Thèse, Université Montpellier II, Sciences et techniques du Languedoc, France, 178 p. -Baccari N., Nasri S., Boussema M.R. et Snane M.H. (2005) : Nécessité de développement d'une méthodologie d'inventaire basée sur des photographies aériennes numérisées, la réalité de terrain et un SIG : le cas des aménagements de conservation des eaux et du sol en Tunisie. Télédétection, 5, 3-18. -Baccari N., Nasri S., Boussema M.R., Lamachère J.M. et Nasri S. (2007) : Identification du risque de brèche des banquettes antiérosives en région semi-aride tunisienne à l'aide d'ortho-images aériennes et de données multisources dans un système d'information géographique. Télédétection, 7, 405-417. -Bahri C., Mizouri M., Aoiuna S., Khaldi R. et Laribi M. (1995) : Guide de conservation des eaux et des sols. Projet PNUD/FAO, TUN86/020, 274 p. -Ben Salem A., Majdoub R., M'Sadak Y., Khelifi S., Boujnah D. et Gouiaa M. (2012) : Evaluation de l'efficacité du système Meskat envers le comportement fructifère d'une oliveraie conduite en mode pluvial. Revue des BioRessources, 2 (2), 59-69. -CNEA (2009) : Rapport de la première phase d'étude d'impact des travaux de CES dans le gouvernorat de Sousse. CRDA, Sousse, Tunisie, 137 p. -Daoud Y. et Halitim A. (1994) : Irrigation et Salinisation au Sahara Algérien. Sécheresse, 5(3), 151-160. -FAO. (1990) : Soil map of the world. FAO-UNESCO. Revised legend. Soils Bulletin 60, Rome, 119 p. -Gallali T. (2004) : Clés du Sol. Centre de Publication Universitaire. Tunis, 366 p. -Khelifi S., Arfaa H., Ben Dhiab D'beya L., Ghedhouid S., Baccouche S. Effects of Contour Ridge Benches on Several Physical and Chemical Soil Characteristics at the El Ghrifettes Site (Zaghouan, Tunisia). -Majdoub R., Ben Salem A., Khelifi S. and M'Sadak Y., (2011) : Aménagement antiérosif traditionnel (Meskat) : exploitation des eaux de ruissellement et

amélioration des caractéristiques du sol. Actes du Congrès Scientifique Euro Méditerranéen d'Ingénierie. Algeciras, Espagne. ISBN13: 978-84-6944025-4) : 159-165. -Nasri S., Lamachère J.M. et Albergel J. (2004) : Impact des banquettes sur le ruissellement d'un petit bassin versant. Revue des Sciences de l'Eau, 17 (2), 265-289. -Nasri S., Laaroussi M., Al Ali Y. et Habaieb H. (2006) : Impacts hydrologiques des Banquettes Antiérosives sur le Versant Semi-Aride en Tunisie centrale. 14<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Conference (ISCO 2006), May 14-19 Marrakech, Morocco, 4 p. -Oweis T. and Taimah A. (1994) : Overall Evaluation of On-Farm Water Harvesting Systems in the Arid

Regions. In: Lacirignola C. and Hamdy A. (eds). Proceedings, CIHEAM Conference. 4-8 September, Valencano (Bari), 3, 763-781. -Roose E. (2002) : Analyse du système des banquettes mécaniques : Propositions d'améliorations, de Revue des Régions Arides - Numéro Spécial - n° 35 (3/2014) - Actes du 4<sup>ème</sup> Meeting International "Aridoculture et Cultures Oasisennes : Gestion des Ressources et Applications Biotechnologiques en Aridoculture et Cultures Sahariennes : perspectives pour un développement durable des zones arides, 17-19/12/2013

## **Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc. Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes**

Éric ROOSE Mohamed SABIR Abdellah LAOUINA avec la participation de Fayçal BENCHAKROUN, Jamal AL KARKOURI, Pascal LAURI, Mohamed QARRO

IRD Éditions INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT  
Marseille, 2010

### **Photos :**

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).

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

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**

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

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

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

Plantation d'oliviers en cuvettes dans une ravine.

Des petits cordons de pierres ralentissent le ruissellement (Rif).

### **Influence de l'élevage**

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

Colleae dans le matorral et transport à la ferme de branchages d'arbustes

fourragers (Rif).

Versant encaissé et surpâturé entraînant le ravinement du chemin

et des glissements de terrain (« pas-de-vaches ») sur les versants raides (Rif).

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).

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).

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

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).

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.

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

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.

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

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

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

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

«Aménagement d'une vallée du Haut Atlas (Maroc): cordons de pierres, terrasses en gradins irrigués et agroforesterie. »

## L'ENVASEMENT DES BARRAGES 98

### L'ENVASEMENT DES BARRAGES: QUELQUES EXEMPLES ALGERIENS

Par REMINI Boualem Maître de conférences Université de BLIDA Algérie

#### RESUME

L'Algérie enregistre une pluviométrie moyenne annuelle évaluée à 1 00 milliards de m<sup>3</sup> sur lesquels les eaux de ruissellement ou écoulements superficiels représentent environ 123 milliards de m<sup>3</sup>, le reste des précipitations se partage entre évaporation et infiltration dans le sol. Aujourd'hui, l'Algérie dispose de plus de 110 barrages en exploitation totalisant une capacité de 4'5 milliards de m<sup>3</sup> et permettant de régulariser un volume annuel de Zmilliards de m<sup>3</sup> utilisées pour l'A.E.P., l'industrie et l'irrigation. Or du fait de l'érosion assez sensible (pluie de courte durée, de forte intensité, absence du couvert végétal et relief assez jeune ...), l'Algérie perd annuellement une capacité estimée à 20 millions de m<sup>3</sup> par le dépôt des sédiments dans les retenues. La majorité des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'années. Il est rare cependant, que l'on puisse admettre à l'issue d'une période aussi courte, l'abondons d'un aménagement hydraulique particulièrement lorsqu'il s'agit de réservoirs destinés à l'adduction en eau potable ou l'irrigation dont les intérêts socio-économiques justifient une garantie de service illimitée. Il importe donc, non seulement de prévoir le rythme de comblement de la retenue de façon aussi précise que possible, de manière à prendre les dispositions économiques et sociales qui s'imposent mais aussi et surtout de sauvegarder au maximum l'existence de la retenue en luttant contre ce phénomène. Nous avons abordé dans cette étude, l'importance de l'envasement dans les retenues de barrages en Algérie, et la mise en évidence du rôle joué par la dégradation du bassin versant amont dans ce comblement, les problèmes posés par ce phénomène sont abordés à partir d'exemples Algériens. La réduction de la capacité de la retenue et l'obturation des organes de vidange sont des menaces qui pèsent lourdement sur la rentabilité des infrastructures hydrotechniques quand ce n'est pas sur la sécurité même de l'ouvrage. Mots clés: Envasement - Barrage - Algérie - Obturation - Vidange.

#### INTRODUCTION

Barrages

Fergoug

Zardezas

Oued El Fodda

Ghrib

K sob

Dans de nombreux pays du monde, le transport des sédiments dans le réseau hydrographique des bassins versants et leur dépôt dans les retenues pose aux exploitants des barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse. Non seulement la capacité utile est progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue mais encore l'enlèvement de la vase est une opération délicate et difficile, qui bien souvent exige que la retenue soit hors service, ce qui est pratiquement impossible dans les pays arides et semi-arides. Dans l'un et l'autre cas, il en résulte des dommages considérables à l'environnement et une mise en péril de l'économie du projet.

(106 m<sup>3</sup>) 2010 ( 1 0 ~ ~ ~ )

18 31

31 37

228 82

280 227

11.6 11.1

#### REDUCTION DE LA CAPACITE DE LA RETENUE

Cette réduction de la capacité de stockage de l'eau est sans aucun doute la conséquence la plus dramatique de l'envasement: chaque année le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue. La quantité de sédiments déposés dans les 110 barrages Algériens était évaluée à 560 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 1995 soit un taux de comblement de 12,5 %; elle sera de 650 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en l'an 2000, soit un taux de comblement de 14,5 %. A titre d'exemple, la capacité initiale du barrage de GHRIB (Médéa) était de 280 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 1939 et n'était plus que de 109 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 1977. Une projection a été faite pour l'an 2010, d'où il ressort que certains barrages comme par exemple ceux du FERGÚUG et des ZARDEZAS finiront par @iii si des dispositifs radicaux ne sont pas prises. Les barrages de OUED EL FODDA, GHEUB,

Capacité initiale Quantité de vase en

BOUHANIFIA, K'SOB et FOUM EL GHERZA ne pourront plus garantir les quantités d'eau potable et d'irrigation nécessaires (tableau 1).

Tableau 1. Capacités de certains barrages Algériens en l'an 2010.

1 Foug El Gherza I 47 I 39.5 I

‘ Nous avons étudié l'évolution de la capacité utile de l'eau en fonction de la hauteur dans les retenues des barrages de BOUHANIFIA, FOUM EL GHERZA, OUED EL FODDA, FERGOUG.

166

#### a) Barrage de FERGOUG

L'envasement de la retenue du barrage de FERGOUG I (ancien barrage: 1885-1926) a réduit la capacité utile de 27.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> à 14.106 m<sup>3</sup> durant les 31 ans d'exploitation, soit un volume de vase égal à 13.1 06 m<sup>3</sup>. Concernant la retenue du barrage de FERGOUG actuel, la capacité utile se trouve ainsi réduite de 17.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 1970 12.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 1973 et à 4.106 m<sup>3</sup> en 1985, ce qui représente respectivement un volume de vase de 5 et 13.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> équivalent en définitif à un taux de comblement de 80 % ce qui a amené les services concernés à dévaser le barrage à partir de l'année 1986, par le procédé de dragage.

#### b) Barrage de FOUM EL GHERZA

La sédimentation accélérée de la retenue a été évidente dès le début de la réalisation du barrage, le batardeau amont ayant été complètement comblé en deux ans (1948-1950); par la suite, elle a provoqué une montée rapide du toit de vase, soit plus de 35 mètres en 40 années d'exploitation qui représente un volume de vase égal à 18,5.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Nous estimons la capacité de la retenue en 1995 à 24.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, soit un comblement de plus de 50 %.

#### c) Barrage de OUED EL FODDA

Du fait de l'envasement intensif qui affecte la retenue de OUED EL FODDA, la capacité initiale évaluée à 228.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 1932 s'est retrouvée à 130.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 1986 et 112.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 1994. Le toit de la vase près des vannettes est à environ 36 mètres du fond, soit un taux de comblement évalué à 50 % en 1994.

#### d) Barrage de BOUHANIFIA

C'est dans le but de réduire la vitesse de comblement et ainsi prolonger la durée de vie du barrage de FERGOUG que le barrage de BOUHANIFIA a été réalisé à l'amont. Malheureusement ce barrage s'est retrouvé face à une sédimentation accélérée qui a réduit sa capacité de 73 à 47.106 m<sup>3</sup> durant la période 1940-1986, soit une vitesse moyenne de sédimentation égale à 0,56.106 m<sup>3</sup>/an. Nous estimons le dépôt des sédiments à 31.106 m<sup>3</sup> en 1995, soit un volume d'eau restant de 42. lo6 m<sup>3</sup> et un taux d'envasement de 42 %.

## OBTURATION DES ORGANES DE VIDANGE

Un autre danger présenté par l'envasement est celui du non fonctionnement des organes de vidange de fond. Le cas du barrage de OUED EL FODDA (Chlem peut servir d'exemple: en effet, la vanne de fond a été bloquée depuis 1948 et elle se trouve maintenant sous plus de 40 mètres de vase; toute opération de vidange de la retenue est de ce fait impossible. Un autre cas à signaler pourrait être celui du barrage de FOUM EL GHERZA (Biskra) où la vanne de fond a été bloquée de 1982 à 1989.

a) le reboisement, la restauration des sols la formation des banquettes. la plantation de végétation à longues tiges dans les oueds. Il est à noter que les tamaris qui ont poussé à l'amont des barrages de Bouhanifia, du Fergoug, de Cheurfas constituent de véritables pièges à sédiments. Dans le cadre de la protection des bassins, un programme spécial a été lancé par les services des forêts. Il s'agirait de traiter une superficie de 1,5 millions d'hectares d'ici l'an 2010. Soit un rythme de réalisation de 67000 hdn. Les coûts sont évalués à environ 16 milliards de DA.

#### b) Réalisation de barrage de décantation

Il existe un cas en Algérie, c'est le cas du barrage de Bougezoul qui est exploité partiellement comme bassin de décantation du barrage de Ghrib. Ce barrage a permis de retenir depuis sa création environ 35 lo6 m<sup>3</sup> de vase. Il réduit l'envasement de Ghrib de près de 24 %.

#### c) Surélévation des barrages:

Cette technique a été réalisée sur cinq barrages: Fergoug, Mefiouch, Bakhada, K'sob, Zardézas. La surélévation des barrages permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser la valeur envasée.

#### Barrage du Hamiz (wilaya de Boumerdes)

Barrage construit en 1879 en vue de l'irrigation du périmètre de Mitidja est. L'envasement accéléré de la retenue a permis à l'administration en 1883 de surélever de 7 m pour porter sa capacité à 23 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

#### Barrage des Zardézas

Il a été mis en eau en 1945, sa hauteur de 37 m lui permet d'assurer un volume de 14,9 lo6 m<sup>3</sup>. Du fait de l'envasement accéléré, la capacité du barrage est passé de 7'5 lo6 m<sup>3</sup> en 1974. En 1977, la hauteur du barrage a été portée à 45 m (12, 5 m de plus). Le volume ainsi obtenu est de 3 1 1 06m<sup>3</sup>.

#### Barrage de K'sob

Barrage de capacité de 11,5 lo6 m<sup>3</sup> pour une hauteur de 32 m construit en 1939 pour l'irrigation du

périmètre de K'sob. Du fait de la progression de l'envasement de la retenue, la capacité a été réduite à moins de 4 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. En 1975, la hauteur du barrage a été portée à 43 m (15 m de plus) pour porter sa capacité à 3 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

#### d) Chasses dites à l'Espagnole

Méthode utilisée pendant les premières crues pour les barrages de moindre importance (tel que barrage du barrage Hamiz, Beni Amrane, K'sob, ...). Cette méthode est efficace quand elle est possible. Elle consiste à vider complètement le barrage au début de l'automne et à le laisser vide, toutes vannes ouvertes, jusqu'aux premières pluies. La première crue enlève sans difficulté les vases de l'année non encore consolidées.

#### e) Soutirage des courants de densité

Le soutirage des courants de densité a donné des résultats spectaculaires en Algérie. Cette méthode est utilisée aux barrages d'Ighil Emda et Oued El Fodda.

#### Barrage d'Ighil Emda

Le barrage d'Ighil Emda est de capacité 156 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> à la cote 532 m au-dessus du niveau de la mer. Il a été mis en eau en 1953. Notons que près de 50 % de vases ont été soutirés grâce au système de soutirage à savoir sur 88.773.564 m<sup>3</sup> d'apports solides jusqu'à l'année 84. Seulement 45.657.458 m<sup>3</sup> ont réussi à se décanter et se consolider alors que 43.1 16.106 m<sup>3</sup> ont été soutirés.

#### Barrage

Capacité théorique du barrage

Capacité avant dévasement

Volume de vase

Volume dévasé (d = 1,6)

Profondeur maximale de

Barrage de Oued El Fodda

Il a été mis en service en 1932 avec une capacité initiale de 28 M de m<sup>3</sup>. Devant la progression de l'envasement de la retenue et ce qui a entraîné le blocage de la vanne de fond, le barrage a été percé de 04 vannettes de dévasement (opérationnelles en 1961). Ce système a permis d'évacuer de 1961 jusqu'à 1993 environ 12 M de m<sup>3</sup> de vase.

Fergoug

18 M de m<sup>3</sup>

3,9 M de m<sup>3</sup>

14,1 M de m<sup>3</sup>

6,5 M de m<sup>3</sup>

16 m

0 Barrage de Foug El Gherza

Grâce à la vanne de fond 600 000 m<sup>3</sup> de vase ont été évacuées de 1989 jusqu'à 1993. Notons que de 1982 jusqu'à 1989, la vanne a été bloquée par la vase. dévasement

#### Quantité d'eau utilisée

#### f) Dragage des barrages

A travers l'expérience algérienne, le dragage s'est avéré une solution sûre mise à part les difficultés de mise en dépôt et le coût. Jusqu'à maintenant, l'Algérie a procédé à 8 dragages sur quatre barrages:

Le barrage des Cheurfas (10 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>), le barrage de Sig (2 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) 2 barrage de Fergoug et Hamiz.

L'Algérie a acquis en 1989 un matériel complexe de dragage à savoir une drague suceuse refouleuse baptisée (( Rezoug Youcef N.

Cette drague, d'un poids total de 300 t est conçue pour refouler à une hauteur de 28 m dans une conduite de 700 mm avec un débit maximum de mixture (vase -l'eau) de 1600 Vs et pour draguer à une profondeur de 3 à 16 m.

Le tableau 2 résume le volume total de vase extrait du barrage de Fergoug jusqu'à 1992.

7M de m<sup>3</sup>

Tableau 2. Vase évacuée par le dragage 1992

#### CONCLUSION

L'importance du transport solide en Algérie se traduit par un comblement rapide des retenues diminuant considérablement leur durée de vie. Il importe donc, non seulement de prévoir le rythme de comblement de la retenue de façon aussi précise que possible de manière à prendre les dispositions économiques et sociales qui s'imposent mais aussi et surtout de développer certaines techniques d'études pour améliorer les méthodes de lutte contre l'alluvionnement. Notre intention était, dans cette présentation rapide de donner une idée sur l'ampleur de ce phénomène particulièrement spectaculaire en Afrique du Nord. Il est devenu actuellement une réelle menace pour l'infrastructure hydrotechnique, tant au niveau de la réduction rapide de la capacité utile du barrage qu'à celui de la sécurité de l'ouvrage lui-même. Ce phénomène doit être une partie prenante dans la préparation d'un projet de faisabilité d'un barrage en Algérie.

#### REFERENCES

GRAF.W.H -1983- (( The hydraulics of réservoir sédimentation )) .Water power et dam construction .April. pp. 45-52.

TOUAT M.-1991- Contribution à l'étude de la sédimentation des barrages en Algérie. Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. Alger 1-3 décembre. 7 pages.

SAIDI -1991- Erosion spécifique et prévision de l'envasement des barrages. Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. Alger 1-3 décembre. pp.204-226.

HEUSH.B et MILLIES.L -1 971- Une méthodologie pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin: application au Maghreb. Revue mine et géologie (Rabat) No 99. PP. 21-30.

CHADI A. -1990-((L'envasement des retenues de barrages )) .Séminaire :Stratégie de gestion des eaux. Horizon 2010. Alger 28- 29 et 30 Mai. 7 pages.

HADJI.T et CHADI.A -1991- Quelques aspects sur l'envasement

des retenues Algériennes. Colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages. Alger les 1<sup>er</sup> et 3 Décembre. 18 pages.  
BOUVARD M. -1983- Ouvrages de dérivation et transport solide. Revue la Houille blanche No 5 pp.247-253.  
REMINE B., KETTAB A., HMAT H. 1995-. Envasement du barrage d'IGHIL EMDA (Algérie). Revue Internationale de l'eau: La Houille Blanche no 2/3, pp.23-28

REMINE B. , AIENARD J-M. KETTAB A. - 1996 - Le barrage d'IGHIL EMDA (Algérie) I- Les courants de densité dans la retenue. Les Annales Maghrébines de l'Ingénieur, Tunis, avril, Vol. 10 . 9 fig., 7 photos, pp.53-67.  
REMINE B. , AIENARD J-M. , KETTAB A. - 1994 - Mesures de l'envasement dans la retenue du barrage d'IGHIL EMDA (Algérie). Revue Marocaine de Génie Civil, . 14 p., 6 fig., 4 photos.