



# Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte anti-érosive au Maghreb.

Une riche étude de Éric Roose, Mohamed Sabir, Mourad Arabi, Boutkhil Morsli et Mohamed Mazour.



*Erosion en pente (Algérie).*



*Seuil en pierres dans un ravin.*



*Rigoles en formation dans un champs labouré..*



*Prototype de semoir low-cost pour semis direct (Sidi Bel-Abbès).*

Une réflexion à faire connaître à toute personne intervenant en agriculture et aménagement du territoire.

Texte présenté par Djamel BELAID.

مهندس زراعي

# Un résumé pour les lecteurs pressés.

## Apparition de la gestion et conservation des eaux et des sols.

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

*Ndlr : Afin de faciliter la lecture de cet article universitaire par le plus grands nombre, nous avons :*  
-ajouter des sous-titres,  
-ôter des paragraphes,  
-supprimer les références bibliographiques.

*Pour une lecture complète de cet article, se référer à la version originale en ligne sur le net. Djamel BELAID.*

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 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**, ont été évalués les facteurs de l'érosion en nappe (USLE) à l'aide d'un simulateur de pluies. Il a été étudié les processus d'érosion sous des climats arides, semi-arides et subhumides.

**Au Maroc**, il a été démontré 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**, il a été trouvé 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), développé 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 (télédétection, 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

.

## INTRODUCTION

# Le bassin méditerranéen...

... très sensible à l'érosion sous toutes ses formes.

---

### I - Introduction

1 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). Heureusement les sols sont plutôt résistants aux pluies, grâce à la présence en surface de cailloux et d'argiles saturées en calcium.

### ZOOM

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, des climats (du désert aux climats subhumides), des reliefs jeunes, de la lithologie, des activités agro-pastorales et de la densité des populations.

### CONSEILS

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.

# Premières observations systémiques.

## Une typologie des risques d'érosion.

---

### 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, 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.

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, espérait se passer de recherche en s'appuyant sur les études américaines.

**4**En Algérie, ont été décrit les terres et leur érodibilité dans le Tell. Les géomorphologues, ont analysé les

risques d'érosion dans les moyennes montagnes méditerranéennes.

**Au Maroc**, ont été 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 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, travaux qui seront prolongés sur d'autres bassins, tandis que les agronomes relient les modes d'exploitation agricoles et l'érosion et que les hydrologues et géographes analysent l'efficacité des jessour, en particulier lors des pluies exceptionnelles de 1969.

**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.

## QUANTIFICATION

# Quantification de l'érosion (1965-1995).

## Des techniques traditionnelles mises au point au cours des siècles par les paysans.

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

5Après 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.

#### ZOOM

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. Parmi ces modèles, le modèle USLE (Universal Soil Loss Equation) de W.H. WISCHMEIER et D.D. SMITH 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).

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, il a été 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. Il a été 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 des chercheurs: 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. 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.

## EROSIVITE

# L'érosivité des pluies...

## ... et érodibilité des sols.

### a. L'érosivité des pluies.

8 Tout 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, 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.

### ZOOM

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).

### b. L'érodibilité des sols

9 Contrairement 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 ravinements. 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 fersiallitiques 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.

### CONSEILS

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.

### Des cordons de pierres

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.

# L'importance du couvert végétal.

**Le couvert végétal est le paramètre le plus efficace pour réduire les risques d'érosion des agro-systèmes.**

## **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.

## **Une lutte anti-érosive biologique**

La lutte anti-érosive 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. Il a été 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 des observations, 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**, il a été observé que lorsque le sol est couvert d'un matorral dense, d'herbes rases, de cistes ou de rocaïlles, 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. Il a été confirmé 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.

## **Réduction de l'érosion avec semis direct**

En évitant de dénuder et labourer les sols, il a été 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 (L<sup>0,5</sup>). 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. 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, alors qu'en général l'érosion augmente de façon exponentielle avec l'inclinaison sur des parcelles peu couvertes.

## **ZOOM**

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.

**En Algérie**, non seulement le ruissellement, mais aussi l'érosion, ne croissent pas systématiquement avec la pente sur vertisol sur marnes. 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. Seules les parcelles soumises à l'érosion linéaire (rigoles) perdent d'autant plus de terre qu'elles sont plus longues. 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. 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, il a été 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, et sur sols volcaniques en Équateur et en Martinique. 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).

### CONSEILS

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.

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

L'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. En respectant un seuil minimal de couverture du sol et sa cohésion, on réduit les pertes de terre et en eau.

### Sols forestiers plus perméables et plus poreux

D'ailleurs, l'expérience montre que les sols forestiers sont les plus perméables et les plus poreux ; pourtant ils ne sont jamais labourés !



## RAVINEMENT

# Ravinement, 30 à 300 t/ha/an...

...en fonction du sol, de la roche, de la pente et de la distance au réseau de drainage, des pluies et de l'humidité du sol.

### 2 ) Le ravinement

Les recherches pour quantifier le ravinement sont bien moins nombreuses, alors que les paysages méditerranéens sont souvent lacérés par le ruissellement concentré.

#### ZOOM

**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.

Photo 3 - Ravinement sur terrain gréseux dans le secteur Trara-Tlemcen (Algérie).

Photo 4 - Ravinement sur sols rouges dans la région de Tlemcen (Algérie).

Photo 5 - Ravinement sur terrain marneux dans la région de Mascara (Algérie).

### Ravinement destructeur

**En Tunisie**, il a été 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, en Tunisie semi-aride, il a été confirmé que le ravinement produit nettement plus d'érosion à l'hectare que l'érosion en nappe.

#### CONSEILS

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.

**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.

## CONSEQUENCES

# Une perte de minéraux.

## Pertes de minéraux et de séquestration du carbone.

---

### 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. 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.

### La situation au Maghreb

22Mais qu'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.

23De nombreuses données sur l'érosion et la séquestration du carbone en Afrique ont été présentées lors d'un colloque à Montpellier.

En Algérie, il a été 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, il a été 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).

24Au Maroc, dans le Rif occidental, il a été 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).

### ZOOM

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.

25Dans 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: 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 irrigués, intensément cultivées et fumées.

# Efficacité des techniques de lutte.

## RTM et CES un mariage de 2 approches.

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

26Après 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.

Photo 6 - Correction torrentielle dans la région de Tlemcen (Algérie).

27Constatant que les techniques de lutte antiérosive en Algérie (Photo 7) n'arrivaient pas à convaincre les paysans, A. MONJAUZE 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.

Photo 7 - Réseau de défense et restauration des sols (1945) dans la région de Tlemcen (Algérie).

### En Algérie, 300 000 ha de banquettes

28En Algérie, plus de 300 000 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 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).

### ZOOM

*On peut être étonné par le ton défaitiste des auteurs de cette étude. Doit-on abandonner la technique des terrasses pour le simple fait qu'elles manquent d'entretien ou qu'elles ne rapportent pas assez en matière de revenu ? Ndlr.*

Photo 8 - Réseau de banquettes dégradé dans le secteur Trara-Tlemcen (Algérie).

Photo 9 - Réseau de banquettes avec plantation d'arbres fruitiers dans le secteur Trara-Tlemcen (Algérie).

29En Tunisie, il 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.

## BARRAGES COLLINAIRES

# Durée de vie des barrages collinaires.

Seulement 5 à 40 ans.

---

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.

### ZOOM

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..

### Talus et exutoires non entretenus

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. 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.

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.

### REPERES

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.

# Les banquettes au Maroc.

## Un bilan contrasté.

Au Maroc, il a été 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. Il a été évalué l'efficacité physique et économique de huit périmètres de DRS fruitière sur des versants marneux du Pré-Rif.

### Un revenu basé sur l'huile d'olive

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.

**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.**

31À ce jour, aucune expérience n'a montré une augmentation de la production par la simple application de techniques de DRS ou de CES.

### CONSEILS

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.

### ZOOM

Il 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.

### CONSEILS

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.

# Gestion des eaux et des sols.

## Une nouvelle stratégie depuis 1985.

### 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.

### Ravine transformée en oasis linéaire

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. 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. **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 fourrage et des arbres.**

35En Tunisie, il est intéressant 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. Il a été montré l'intérêt des aménagements de petite hydraulique traditionnelle, tabias et jessour, pour freiner l'érosion. 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. Il a été montré l'effet des cordons de pierres sur les crues de l'oued Zioud.

36Au Maroc, les études de géographes, d'agronomes 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. 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. 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.

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 .

# Spatialisation des risques érosifs et importance de la sédimentation.

Dès 1980, en Tunisie élaboration d'une carte de l'érosion.

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

38 La 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.

39 Il 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.

40 Une 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. 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.

41 Les 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. Tout l'art consiste à trouver les indicateurs significatifs et à valider les résultats par une analyse détaillée du terrain. 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. 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.

42 Enfin, il faut indiquer les possibilités toutes récentes offertes par la télédétection.

## CONCLUSION

# Conclusions et perspectives.

## Pousser les recherches sur l'acceptabilité, l'efficacité et la rentabilité de structures de gestion de l'eau peu complexes.

### 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.

### CONSEILS

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, 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.

### ZOOM

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.



# Bibliographie et notes.

Pour plus de détails, consulter l'article en ligne.

## Bibliographie partielles

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.

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.

## 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

## Référence papier

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, Volume 6 | -1, 43-69.

## 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 19 septembre 2017. URL : <http://physio-geo.revues.org/2319> ; DOI : 10.4000/physio-geo.2319

## Auteurs

Éric Roose 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)