An aerial photograph of a village built on a hillside in Morocco. The houses are built on terraced levels, and the surrounding landscape is covered in green terraced fields. The sky is a clear, bright yellow.

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



# Gestion durable des eaux et des sols au Maroc

## Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes

Éric ROOSE

Mohamed SABIR

Abdellah LAQUINA

avec la participation de

Faiçal BENCHAKROUN, Jamal AL KARKOURI,

Pascal LAURI, Mohamed QARRO

**IRD Éditions**

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

Marseille, 2010

Préparation éditoriale  
Marie-Odile Charvet Richter

Mise en page  
Bill Production

Maquette de couverture  
Michelle Saint-Léger

Maquette intérieure  
Pierre Lopez

Coordination, fabrication  
Marie-Odile Charvet Richter

**Photo de couverture**

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

La loi du 1<sup>er</sup> juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article L. 122-4). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© **IRD, 2010**

ISBN : 978-2-7099-1683-7

# Sommaire

<b>Remerciements</b> .....	07
<b>Avant-propos</b> .....	11
<b>Introduction générale</b> .....	15
É. ROOSE	
<b>Partie 1</b>	
<b>ASPECTS GÉNÉRAUX DE LA LUTTE ANTIÉROSIVE</b> .....	19
Chapitre 1	
<b>La dégradation des terres et l'érosion des sols</b> .....	21
É. ROOSE	
Chapitre 2	
<b>Évolution historique des stratégies de lutte antiérosive</b> .....	33
É. ROOSE	
Chapitre 3	
<b>La lutte antiérosive conventionnelle en fonction des processus et des facteurs de l'érosion hydrique</b> .....	47
É. ROOSE	
Chapitre 4	
<b>Les aspects socio-économiques de la lutte antiérosive</b> .....	79
F. BENCHACROUN, É. ROOSE	
<b>Partie 2</b>	
<b>LE MAROC, TERRE DE TRADITION AGRICOLE</b> .....	101
Chapitre 5	
<b>Le contexte de la lutte antiérosive au Maroc</b> .....	103
A. LAOUNA	
Chapitre 6	
<b>Les techniques traditionnelles de gestion de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols</b> .....	117
M. SABIR, É. ROOSE, J. AL KARKOURI	

Chapitre 7	
<b>Intégration des structures de GCES à l'échelle du versant, du terroir ou du bassin versant</b> .....	195
A. LAOUNA, M. SABIR, É. ROOSE	
<b>Partie 3</b>	
<b>AMÉLIORATIONS DES TECHNIQUES TRADITIONNELLES</b> .....	233
Chapitre 8	
<b>Zones de culture :</b>	
<b>amélioration des techniques culturelles traditionnelles</b> .....	235
É. ROOSE	
Chapitre 9	
<b>Zones de parcours</b> .....	261
M. QARRO, É. ROOSE, M. SABIR	
Chapitre 10	
<b>Zones forestières : l'arbre et la GCES</b> .....	277
M. SABIR, É. ROOSE	
Chapitre 11	
<b>Les milieux imperméables, urbains et routiers</b> .....	291
É. ROOSE	
Chapitre 12	
<b>Choix de techniques de GCES par zone agro-écologique au Maroc</b> ....	297
M. SABIR, É. ROOSE	
<b>Conclusion générale</b> .....	313
<b>Bibliographie des parties 1, 2 et 3</b> .....	317
<b>Glossaire des termes techniques</b> .....	335

# Remerciements

Ce manuel n'aurait pu aboutir sans le soutien de l'IRD, département DEV, UR SeqBio dirigée par Christian Feller, puis Jean-Luc Chotte, qui ont permis à Éric Roose de travailler en Algérie pendant dix ans, puis au Maroc pendant neuf années (projets PRAD du ministère des Affaires étrangères et de la Coopération français et du ministère de l'Agriculture du Maroc), en coopération avec Mohamed Sabir, professeur d'agroforesterie et d'aménagement des bassins versants, devenu depuis 2004 le directeur de l'ENFI (École nationale forestière d'ingénieurs de Salé) : grâce à son appui, nous avons eu des contacts avec nombreux forestiers (responsables des travaux de DRS-CES), encadré des stagiaires de France et du Maroc et enquêté en milieu rural sur les problèmes posés par la gestion des ressources en eaux et en sols en montagne.

Nos études auraient été bien incomplètes sans la coopération de nombreuses équipes de géographes qui ont mené leurs travaux dans des régions spécifiques du Maroc, qui ont observé les techniques modernes ou traditionnelles mises en œuvre par les sociétés rurales bien avant la venue des ingénieurs chargés du développement rural.

Ces études ont été menées dans le cadre du programme de recherche du réseau Érosion-GLES de l'Agence universitaire de la francophonie (AUF).

Cette recherche n'aurait pu avoir lieu sans le financement des projets PRAD (04/99 pour le Rif et 14/04 pour le Haut Atlas) qui a favorisé l'échange de stagiaires marocains et français, à la fois pour les enquêtes sur les coûts et avantages des diverses techniques dans les villages et les recherches en laboratoire

pour mieux comprendre les relations entre divers indicateurs (carbone et indice de stabilité des macro-agrégats des horizons de surface des sols) et l'érodibilité des sols, les risques de ruissellement et d'érosion (simulation de pluies).

Enfin de nombreux géographes, forestiers et agronomes, œuvrant dans diverses contrées du Maroc, nous ont transmis leurs observations sur les stratégies traditionnelles régionales de gestion de l'eau et de la fertilité des sols en paysage montagnard. Nous remercions chacun des nombreux contributeurs à ce travail et citerons leur nom au cours des divers chapitres.

*Personnes ressources*

Dr Aderghal M., géographe, professeur à l'université de Tétouan,  
Dr Ait Hissain A., géographe, professeur à l'université d'Agadir,  
M. Ait Oukharaz M., ingénieur forestier, Service Ait Baha,  
Dr Al Karkouri J., géographe, professeur à l'université de Kénitra,  
Mlle Aouatif Cheggour, doctorante à l'université de Marrakech,  
M. Azanfar M., ingénieur forestier, directeur régional, Agadir,  
Dr Badraoui M., agronome pédologue, professeur à l'IAV HII, Rabat,  
M. Beff L., étudiant de l'université Catholique de Louvain-la-Neuve, Belgique,  
M. Belleville R., stagiaire de l'IUT de Saint-Étienne, génie biologique, France,  
Dr Benchakroun F., socio-économiste, professeur à l'IAV Hassan-II, Rabat,  
Mme Bensalah N., doctorante à la faculté de Lettres et des Sciences humaines de l'université de Rabat,  
M. Bessenay B., stagiaire de l'IUT de Saint-Étienne, génie biologique, France,  
M. Boudhar F., étudiant forestier, ENFI, Salé,  
M. Boukil A., ingénieur forestier, Service aménagement, Tétouan,  
M. Boussaid M., étudiant forestier, ENFI, Salé,  
Dr Chaker M., géographe, professeur à la faculté de Lettres et des Sciences humaines de Rabat,  
M. Deschamps C., étudiant de l'université Catholique de Louvai-la-Neuve, Belgique,  
M. Drevon E., étudiant de l'université Paris-XII, France,  
Mlle Dugué F., étudiante, faculté Jean Monnet, université de Paris-Sud,  
Dr El Abassi H., géographe, professeur à l'université de El Jadida,  
Dr El Harradji, géographe, professeur à l'université de Oujda,  
Dr El Fasskaoui, géographe, professeur à l'université de Meknès,  
M. Etesse V., stagiaire de l'IUT de Saint-Étienne, génie biologique, France,  
M. Ilmen R., ingénieur forestier, Centre recherche forestière, Rabat,  
M. Jullien B., stagiaire de l'IUT de Saint-Étienne, génie biologique, France,  
M. Laghlam M., ingénieur forestier, Service forestier de Nador,  
M. P. E. Lauri, agronome, Inra, Montpellier,

Mme Machouri N., géographe, assistante à la faculté de Lettres et des Sciences humaines de Rabat,  
M. Merminod F., stagiaire de l'IUT de Saint-Étienne, génie biologique, France,  
M. Metery F., stagiaire de l'IUT de Saint-Étienne, génie biologique, France,  
M. Moufaddal K., ingénieur forestier à Tétouan,  
M. Mouhib A., forestier, étudiant, ENFI,  
Dr Nafaa R., géographe, Doyenne de la FLSH, université de Mohamadia,  
Dr Naimi M., agronome pédologue, professeur à l'Institut agronomique et vétérinaire de Rabat,  
M. Nouri A., ingénieur forestier, Service des aménagements, Oujda,  
M. Ouagga T., forestier, étudiant à l'ENFI, Salé,  
M. Ouchkif J., ingénieur forestier, Service aménagement, Meknès,  
M. Oufkir A., ingénieur forestier, Service aménagement, Agadir,  
M. Papet G., stagiaire de l'IUT de Saint-Étienne, génie biologique, France,  
Dr Y. Pépin, hydrologue, IRD, Montpellier,  
Dr Qarro M., professeur de sylvo-pastoralisme, ENFI, Salé,  
M. Stitou H., ingénieur agronome, projet Oued Srou, Khénifra,  
Dr Tribak A., géographe, professeur à la FSLH de l'université de Fès,  
Mlle Van den Eynde C., étudiante de l'université Catholique de Louvain-la-Neuve, Belgique,  
M. Simonneaux V., spécialiste de télédétection, ingénieur à l'IRD, universités de Toulouse et Marrakech,  
Dr Watfeh A., géographe à l'université FSLH de Rabat.



# Avant-propos

Cette étude s'enracine dans une longue démarche de recherche.

D'abord une longue période de quantification des facteurs de l'érosion et de l'efficacité des techniques de lutte antiérosive (LAE) en Afrique occidentale, puis centrale et enfin en Afrique du Nord. À partir de ces résultats, nous en avons conclu que beaucoup de manuels conventionnels sont souvent basés sur des convictions plutôt que sur des faits scientifiques mesurés.

Il nous est apparu que pour développer une agriculture de montagne durable, il ne suffit pas de « conserver les sols » en l'état (car ils sont souvent déjà dégradés), ni même de restaurer l'état initial (pas toujours adapté à la culture intensive), mais qu'il faut améliorer leur capacité de produire. Les sociétés rurales attendent que les techniques de gestion de l'eau et des sols valorisent mieux la terre et qu'elles justifient le supplément de travail qu'exige la lutte antiérosive.

Ensuite nous avons mis au point progressivement une stratégie nouvelle (la Gestion conservatoire des eaux et du sol, GCES) tenant mieux compte des intérêts des paysans dans une douzaine de pays très variés du point de vue des milieux physiques et humains. En effet, l'érosion n'est pas seulement un problème technique : les solutions passent par la participation des paysans concernés.

Ces vingt dernières années, nous avons observé et analysé les structures de Conservation de l'eau et des sols (CES) au Maroc et en Tunisie ou de Défense et restauration des sols (DRS) en Algérie (convention INRF-Orstom), dans le bassin méditerranéen (France, Espagne, Crète, Libye) et les techniques traditionnelles de gestion de l'eau et de la fertilité des sols dans toute l'Afrique.

Nous avons réuni les observations d'une vingtaine de géographes physiciens qui, au cours de leurs travaux dans diverses régions du Maroc, ont décrit des structures de LAE et des techniques culturelles de conservation des sols.

Enfin, ces dix dernières années, nous avons dirigé des enquêtes rapides sur l'efficacité de la LAE dans les montagnes du Maroc, des diagnostics de terroirs et des mesures de la sensibilité des terres à l'érosion sous simulateur de pluies, études effectuées dans le cadre de deux Projets de recherche agronomique en vue du développement (PRAD), projets de coopération scientifique commandités par le ministère de l'Agriculture du Maroc et le ministère des Affaires étrangères français.

Cet ouvrage a deux objectifs :

- faire la synthèse d'une étude (projets PRAD, 1996-2006) qui décrit et analyse les techniques de lutte antiérosive (LAE) traditionnelles observées dans les montagnes du Maroc : c'est donc l'apport d'agronomes, forestiers et géographes dans un domaine pas assez valorisé ;
- transmettre un savoir paysan analysé dans l'optique d'une approche scientifique de la gestion des ressources naturelles en milieu méditerranéen.

L'application de ce savoir paysan croisé avec les savoirs scientifiques des agronomes pose parfois quelques problèmes, car si les sociétés rurales ont mis des siècles pour les adapter à des milieux difficiles, la main-d'œuvre spécialisée a vieilli et les techniciens chargés de les intégrer dans les projets de développement ne sont pas toujours à l'aise pour tenir compte de la diversité du milieu naturel et du milieu humain. Il nous a donc semblé urgent de décrire et d'analyser ces techniques traditionnelles avant qu'elles ne se perdent sous la pression du modernisme.

Par rapport aux manuels classiques de lutte antiérosive, on peut relever de nombreux aspects originaux :

- le présent ouvrage s'appuie sur des mesures en parcelles et petits bassins, mais aussi sur les observations dans tout le Maroc (ainsi qu'en Algérie et Tunisie) et sur des enquêtes en milieu rural où sont mises en œuvre des techniques traditionnelles de gestion de l'eau et de la fertilité des sols (pas seulement sur la « conservation des sols ») ;
- il accorde une large place aux milieux écologiques et humains ;
- il restitue aux paysans leurs capacités d'invention, d'adaptation, d'expérimentation et de choix des techniques adaptées à leurs moyens, à leurs connaissances techniques, au type de culture et à leurs objectifs ;
- il ne donne pas de recette universelle mais invite à l'analyse des faits observables sur chaque terrain ;
- il analyse les avantages et les inconvénients de chaque technique ;
- il explique et développe une nouvelle stratégie de gestion des ressources naturelles limitées (eau, biomasse et terre) pour répondre aux besoins des sociétés rurales qui connaissent aujourd'hui une remarquable pression démographique, foncière, économique et sociale, en même temps que la dégradation des terres ;

- il croise les connaissances traditionnelles développées au cours des siècles avec les connaissances modernes (irrigation et fertilisation raisonnées, choix de variétés adaptées commercialisables) ;
- il relève les échecs des stratégies modernes d'équipement pour vaincre la dégradation de la productivité des terres.

Certains chapitres sont encore peu développés (par ex., l'érosion aratoire, le rôle de l'élevage et des arbres isolés sur la protection de la fertilité des sols, la gestion des eaux en milieux imperméabilisés comme les pistes et les milieux péri-urbains, le ravinement par le ruissellement hypodermique). Les auteurs ont voulu inviter les jeunes chercheurs à se pencher sur des problèmes réels que pose le développement durable du monde moderne.

En abordant les problèmes à l'échelle des régions agro-écologiques marocaines, cet ouvrage a également pour objectif de s'appliquer à l'ensemble du Maghreb et à une grande partie des versants du bassin méditerranéen.



# Introduction générale

Depuis la formation des massifs montagneux, divers processus d'érosion ont dégradé les pentes des montagnes et déposé des alluvions fertiles le long des fleuves et des sédiments dans les mers : il s'agit de l'érosion naturelle qui a modelé les paysages du monde. Les phénomènes d'érosion sont donc actifs tout au long de l'histoire de la Terre.

Mais dès que l'homme s'est attaché à cultiver la terre, il a défriché la couverture végétale, exposé le sol nu à l'agressivité des pluies et provoqué la dégradation de l'horizon humifère du sol ainsi que l'accélération de l'érosion et du ruissellement. De par la diversité du milieu naturel et suite aux activités humaines, les phénomènes d'érosion sont très variables dans le temps et dans l'espace.

La couverture pédologique du bassin méditerranéen, au relief jeune, est très fragile. Les rythmes d'érosion varient aussi énormément avec les cycles d'années sèches ou humides. Les pluies abondantes de l'hiver et les orages très violents lors des changements de saison déstabilisent les versants et provoquent des inondations. Des crises d'érosion se sont succédé au cours de l'histoire en relation avec les crises sociétales : on connaît les conséquences des invasions et de la politique de la terre brûlée qui ont entraîné la paupérisation des peuples au Moyen Âge, aux XVII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles en Europe (LLIN, 1998 ; VOGT, 1970-74). Avec la croissance démographique du XX<sup>e</sup> siècle, les problèmes de dégradation des terres sont devenus de plus en plus graves et les surfaces érodées à la surface de la Terre s'étendent de plus de dix millions d'hectares par an, l'essentiel provenant de l'érosion hydrique. Vers la fin des années 1980, le projet GLASOD (Global Assessment of Soil Degradation : OLDEMAN *et al.*, 1991), se basant sur

la perception des experts, a tenté un bilan sur cinq processus de dégradation des terres à la surface du monde. Sur 1964 millions d'hectares dégradés plus ou moins profondément, 56 % sont dégradés par l'érosion hydrique, 28 % par érosion éolienne, 16 % par dégradation chimique (acidification, salinisation) ou physique (compaction). Cependant, toutes les conséquences de l'érosion ne sont pas négatives puisque les deltas et les grandes vallées alluviales fournissent aujourd'hui une large part des produits agricoles.

Pour lutter contre la réduction de productivité des terres, les sociétés rurales ont développé au cours des siècles diverses techniques traditionnelles de gestion de l'eau et de la fertilité des sols, adaptées aux conditions socio-économiques et écologiques de leur habitat régional.

La recherche sur les divers processus d'érosion et l'efficacité des techniques de lutte antiérosive (LAE) n'a débuté que très récemment, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle en Allemagne et vers les années 1930 aux États-Unis et 1950 en Afrique.

En 1939, Hammond Bennet, le père de la « conservation des sols », a publié un volumineux ouvrage intitulé *Soil Conservation*. Il traite des causes et des facteurs de l'érosion ainsi que des principales méthodes de lutte antiérosive développées aux États-Unis, depuis l'extension des cultures mécanisées dans les grandes plaines américaines semi-arides. Bennet a vulgarisé les fameuses banquettes de diversion et les chemins d'eau pour évacuer sans danger de ravinement les eaux de ruissellement débordant des champs. Par la suite, de nombreux manuels de « conservation des sols » (CES) ou de « défense et restauration des sols » (DRS) ont été publiés dans le monde, qui s'inspirent des travaux de Bennet et tentent d'adapter régionalement les techniques mécaniques ou (plus rarement) biologiques qui réduisent la vitesse de décapage des sols érodés ainsi que l'ensablement des barrages (FAO, 1948 ; TONDEUR, 1954 ; HUDSON, 1971 ; NAHAL, 1975 ; GRÉCO, 1978 ; CTFT, 1979 ; HUDSON, 1980 ; HEUSCH, 1985 ; ROCHETTE, 1989 ; HURNI, 1995).

Cependant, depuis l'atelier de Porto Rico en 1987, où 150 spécialistes se sont interrogés sur les causes des échecs ou des réussites des grands programmes de conservation des sols, on sait que la majorité (75 %) des grands projets de développement comportant un volet important de conservation de l'eau et des sols (CES) ou de défense et restauration des sols (DRS) ont abouti à un échec, au moins partiel (HUDSON, 1991).

Trois causes principales ont été mises en avant pour expliquer ces échecs répétés :

- les paysans, principaux gestionnaires des terres, n'ont pas été impliqués dans le développement des projets de conservation des sols proposés par les techniciens en charge de la réduction de ces problèmes (projets « top  $\blacktriangleright$  down ») ;
- les techniques de LAE choisies ne tiennent pas assez compte de la variété des processus d'érosion, ni des conditions écologiques et socio-économiques ;
- les systèmes physiques de lutte antiérosive (banquettes et terrassements divers) développés au début du XX<sup>e</sup> siècle n'arrêtent pas la dégradation des sols entre les structures antiérosives et n'améliorent pas la productivité des « terres aménagées ». Le paysan perd donc des surfaces cultivées et voit sa production

diminuer malgré de lourds investissements : pas étonnant qu'il ne soit pas enthousiaste pour entretenir ces aménagements imposés.

Or, depuis un siècle, on assiste à une croissance démographique sans précédent (la population double tous les 20 ans) et à une forte pression sur les terres s'accompagnant d'une perte de fertilité des sols. La mondialisation de l'économie et les nouveaux besoins des pays émergents ont récemment entraîné une augmentation rapide du prix de l'énergie et des matières premières et une pénurie de nourriture affectant particulièrement les populations pauvres.

Depuis 1986, des chercheurs ont développé une nouvelle stratégie pour répondre aux besoins essentiels des paysans : à savoir, valoriser la terre et le travail, augmenter les revenus des paysans, tout en améliorant le capital foncier et l'environnement rural. Cette stratégie a été appelée « *Better land husbandry* » (mieux soigner la terre) par les anglophones et « Gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols » (GCES) par les francophones (SHAXSON *et al.*, 1989 ; HUDSON, 1991 ; ROOSE, 1987 et 1994). Il s'agit de relever un double défi, doubler la production tous les vingt ans tout en améliorant l'environnement rural, en particulier en réduisant les risques de ruissellement et d'érosion sur les terres fragiles. Cela est rendu possible par le diagnostic des causes de dégradation et la mise au point des systèmes de production, l'amélioration des conditions physiques des sols et la nutrition des plantes.

Il n'existe pas de méthode universelle pour lutter contre l'érosion et le ruissellement : chaque colline, chaque groupe ethnique, chaque paysan a ses propres problèmes... et une partie des solutions. Il n'est donc pas pertinent de produire un seul manuel de conservation des terres, adapté à toutes les régions du monde. C'est pourquoi nous avons étudié au Maroc les techniques traditionnelles mises au point durant des siècles. Nous avons analysé leur adaptation aux conditions agro-écologiques, climatiques et socio-économiques. Nous les avons décrites et analysées sur 10 toposéquences ou bassins versants. Enfin, nous proposons aussi des améliorations possibles pour valoriser au mieux la terre et le travail des paysans.

\* \* \*

Cet ouvrage, réalisé en coopération par trois experts en foresterie, agronomie et géographie, comprend trois parties.

Dans une première partie, les auteurs rappellent le sens des mots, qui diffère selon les disciplines concernées, présentent l'évolution des stratégies de LAE en fonction des objectifs visés (protéger la qualité des eaux en aval ou les sols en amont), les relations entre la LAE et les conditions socio-économiques de la société paysanne et enfin les techniques conventionnelles de LAE en fonction des divers processus d'érosion, telles qu'on peut les trouver dans les manuels classiques de conservation des sols. Une analyse critique des faits scientifiques justifie la réalisation d'un manuel régionalisé basé sur l'amélioration des techniques mises au point progressivement par des générations de paysans au Maroc. Ce pays se prête particulièrement bien à l'analyse des nombreux systèmes traditionnels de gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieu montagnard méditerranéen.

La seconde partie dédiée au milieu écologique et humain de la société marocaine analyse trente techniques traditionnelles de gestion de l'eau et des sols en fonction du climat, et leur association à l'échelle du terroir ou du petit bassin versant. On y découvre une grande diversité des techniques, en particulier dans les zones arides et semi-arides où les communautés rurales ont dû développer courage et intelligence pour survivre dans ces milieux hostiles.

Dans la troisième partie sont proposées les améliorations que l'ingénieur moderne peut introduire en milieu de culture, d'élevage, de forêts et en milieu imperméabilisé (villes et pistes).

En conclusion, des grappes de techniques de GCES sont proposées pour chacune des sept zones agro-écologiques du Maroc laissant aux utilisateurs le soin de choisir celles qu'ils préfèrent pour des raisons économiques, sociales ou culturelles.

Nous pensons qu'en abordant les problèmes d'érosion et de restauration de la productivité des terres à l'échelle des régions agro-écologiques du Maroc, la majorité des propositions présentées dans cet ouvrage pourrait s'appliquer au Maghreb et dans la plupart des pays du bassin méditerranéen.

## Partie I

# Aspects généraux de la lutte antiérosive



**A**vant de décrire les techniques traditionnelles de gestion de l'eau et des sols du Maroc, il nous a semblé nécessaire de rappeler dans le premier chapitre certaines définitions et la part de l'érosion dans la problématique de la dégradation des terres.

Dans le second chapitre, on découvre l'évolution des stratégies de lutte anti-érosive (LAE), le sens des sigles (CES, DRS, RTM, GLES) et la philosophie qu'ils cachent aux yeux du grand public.

Dans le troisième chapitre, les auteurs rappellent la diversité des processus d'érosion et les techniques de lutte antiérosive contenues dans les manuels conventionnels.

Enfin, le quatrième chapitre traite des aspects socio-économiques de la lutte antiérosive dans le monde.

# La dégradation des terres et l'érosion des sols

Éric ROOSE

## Introduction : les sols et leurs propriétés

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

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

## La dégradation des sols

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

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

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

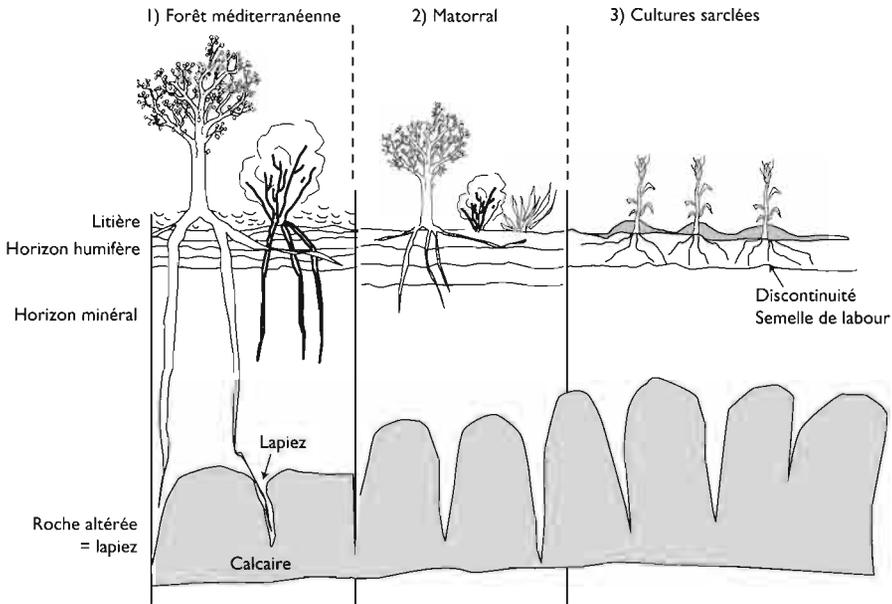
La dégradation du sol dans le cadre qui nous occupe ici provient essentiellement de trois processus :

- la minéralisation des matières organiques du sol, d'autant plus active que le climat est chaud et humide ;
- l'exportation minérale par les cultures qui va entraîner la baisse des activités de la microfaune et de la faune, responsable de la macroporosité du sol et de la diffusion de l'air et de l'eau dans le sol ;
- la squelettisation ou l'enrichissement en sables et graviers des horizons de surface par érosion sélective des particules fines, des matières organiques et des nutriments, suite à la battance des pluies. Les gouttes de pluie tassent le sol, cassent les agrégats, arrachent des particules qui vont former alentour des pellicules de battance et des croûtes de sédimentation favorables au ruissellement.

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

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

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



1. Dans la forêt, la biomasse est importante ; elle intercepte l'énergie du soleil et de la pluie, la litière abondante attire la macro-faune et maintient le sol perméable ; l'enracinement profond ramène en surface les nutriments lessivés par les eaux de drainage et les éléments minéraux libérés par l'altération des roches.

2. Dans le matorral, forêt dégradée par le pâturage et le feu, la biomasse est plus faible, la litière disparaît et la surface du sol est tassée par le piétinement du bétail. Le ruissellement est beaucoup plus abondant et l'érosion dépend de la surface du sol dénudée.

3. Sous cultures, céréales ou légumineuses, le couvert végétal est incomplet et limité à quelques mois de l'année, la litière et les adventices couvrent mal le sol, les grains et les pailles sont exportés ou consommés par les troupeaux : les matières organiques du sol diminuent de moitié et l'horizon labouré a perdu une bonne partie de sa stabilité structurale.

Conclusion : le changement d'usage entraîne la minéralisation des MO et l'exportation sélective des nutriments. Le sol dégradé et peu couvert est beaucoup plus sensible à l'érosion qui accélère la dégradation.

Fig. 1

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

40 à 80 cm. La faible vigueur de la forêt méditerranéenne, avec des arbres bas branchus et mal formés suite aux fréquents feux de brousse, fait écho à la faible fertilité des sols squelettiques, des sols rouges fersiallitiques ou bruns calcaires qui la portent. Par remontée biologique, les racines profondes recyclent rapidement les nutriments libérés par la minéralisation des litières et récupèrent en profondeur les nutriments 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 décharnement dès lors qu'on les défriche ou qu'on brûle leur maigre végétation. En réalité, c'est un processus naturel qui abaisse toutes les montagnes (« *dénudation rate* » des géomorphologues anglophones). Mais en même temps, l'érosion engraisse les vallées, et forme les deltas et les riches plaines qui nourrissent la majorité de l'humanité. Il n'est donc pas forcément souhaitable d'arrêter toute érosion, mais de la réduire à un niveau acceptable par tous (ROOSE, 1994). On verra au chapitre 3 les divers types et origines des processus d'érosion.

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

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

Pour les géologues, on distingue clairement les zones d'érosion (les montagnes et les versants), des zones de sédimentation (plaines alluviales, lacs, océans). Pour les géographes, ce sont les phénomènes orogéniques et l'érosion des montagnes qui sculptent les paysages au cours des millénaires. Pour les hydrologues, l'érosion (*sediment yield*) est considérée comme la source des sédiments observés à l'exutoire d'une rivière (*sediment delivery*) à un coefficient d'efficacité près (*sediment ratio*) qui dépend de la morphologie du paysage. Sur les bassins versants des montagnes jeunes à vallées encaissées, l'érosion augmente avec le volume ruisselé et la surface du bassin (ex : le Haut Atlas). Mais dans les reliefs anciens, comme dans la majorité des cas, l'efficacité érosive diminue lorsque la surface du bassin augmente car il s'y produit des dépôts de sédiments sur les glacis et les vallées. Pour les agro-pédologues travaillant à l'échelle d'un champ, l'érosion est la résultante de l'arrachement des particules par l'énergie des gouttes de pluie et du ruissellement, du transport par les eaux de ruissellement et du dépôt localisé des sédiments trop lourds (ROOSE, 1994) : sur chaque m<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 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 ; LAOUNA, 1992) tandis que les transports solides par les ravines et les oueds dépassent 100 à 300 t/ha/an (OLIVRY et HOORELBECK, 1989 ; ROOSE *et al.* 2000). Dans le cas des montagnes jeunes à vallées profondes, plus le bassin est grand, plus le ruissellement est concentré et rapide, plus les débits de pointe sont forts

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

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

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

On distingue généralement l'érosion normale ou géologique, celle qui façonne lentement la forme des versants (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 (KILIAN et BERTRAND, 1974).

Cependant, l'érosion géologique n'est pas toujours lente ! Dans les zones à fort soulèvement orogénique (les Andes, les Alpes, etc.), les débits solides des rivières peuvent dépasser  $50 t/ha/an$  et  $100 t/ha/an$  dans l'Himalaya qui se soulève à la vitesse de  $1 cm$  par an. De même dans certaines zones méditerranéennes ou tropicales, soumises aux cyclones, tempêtes tropicales ou pluies cévenoles, la 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, J. Bourges *et al.*, (1979) ont mesuré à la citerne Tellman, près de Gabès, des ruissellements annuels moyens de 14 à 25 % des pluies et des pertes en terre de  $8,2 t/ha/an$ . Mais le 12 décembre 1978, il est tombé une averse tropicale de 250 mm en 26 heures qui a provoqué plus de 89 % de ruissellement et  $39 t/ha$  d'érosion en un seul jour.

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

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

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

### Les différentes formes d'écoulements

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

Le ruissellement superficiel (*runoff*) est l'excès de pluie par rapport à la capacité d'infiltration du sol ; il coule à la surface du sol, s'organise en nappes, puis en filets et rejoint rapidement la rivière où il provoque des crues après un temps de réponse très court, de l'ordre d'une demi-heure dans un bassin d'un km<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  $> 1 \text{ m}^3$ ), sont remis en mouvement dans les oueds de montagne. Il est donc fondamental d'augmenter la capacité d'infiltration stable du bassin, ou tout au moins d'étaler les écoulements (murets, haies vives, banquettes), pour réduire les transports solides des oueds et l'envasement des barrages.

## **Conclusion**

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

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

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



© M. Sabir



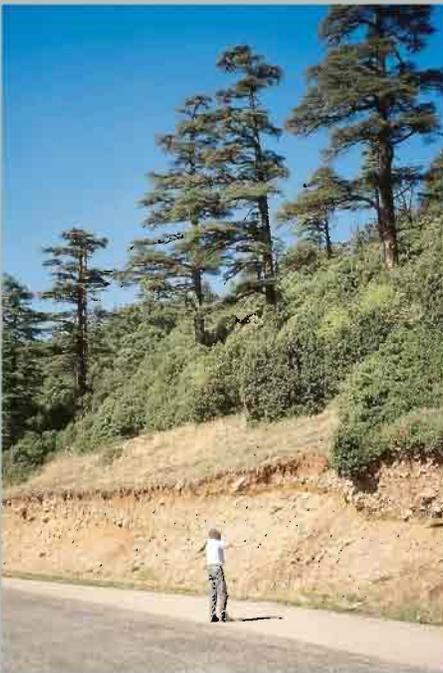
Éléments de banquette plantés en oliviers ou amandiers sur un versant semi-aride (Sidi Driss, Haut Atlas).  
Noter la couleur plus sombre du sol due au ruissellement, aux sédiments et aux matières organiques captées dans la cuvette.

© M. Sabir



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

© É. Roose



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

## Reforestation



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



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

## Diversité des stratégies de gestion de la biomasse



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



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

© É. Roose



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



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

© É. Roose



## Agroforesterie

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

© É. Roose



© É. Roose

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



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

© É. Roose



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

© É. Roose

## Défense et restauration des sols (DRS)



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

© M. Sabir



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).



© É. Roose

# Capture des eaux de ruissellement



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



© É. Roose

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



© É. Roose

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



© É. Roose

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

# Stockage du ruissellement sur les versants

Madgen, mare de petite taille (50-100 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).

© E. Roose



© E. Roose



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

© E. Roose



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

© E. Roose



Micro-lac collinaire captant le ruissellement du versant.

## Stockage de l'eau dans les vallées



© É. Roose

© É. Roose

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



© É. Roose

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



© É. Roose

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

© É. Roose



## Terrasses progressives

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

© É. Roose



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

© É. Roose



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



## Drainage sur versants

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



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



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



© É. Roose

## Terrasses en gradin

*Construction manuelle d'une terrasse en gradin sur colluvions : triage des pierres sur place et construction d'une murette.*

*Noter les petites pierres permettant de drainer le muret et le fumier incorporé à la terre humifère de surface (vallée du Rhëraya, Haut Atlas).*



© M. Sabir

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



© É. Roose

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



© E. Roose

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



© E. Roose

*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).*



© E. Roose

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



© E. Roose

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

# Végétalisation des ravines

© É. Roose



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

© É. Roose



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

© É. Roose



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

© É. Roose



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

# Influence de l'élevage



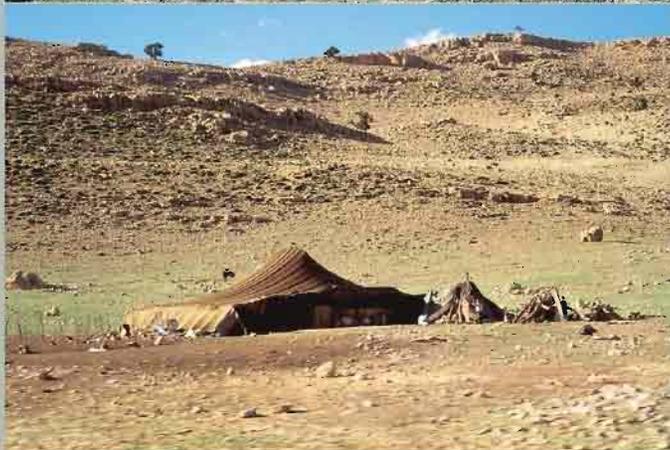
© M. Sabir

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



© M. Sabir

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



© M. Sabir

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

© M. Sabir



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

# Polyculture sur terrasses en montagne



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

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



© M. Sabir

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



© M. Sabir

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

© M. Sabir



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

© M. Sabir



## Restauration des sols

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

© É. Roose



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

# Érosion en milieux « imperméabilisés »



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.



© É. Roose

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



© É. Roose

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

# Évolution historique des stratégies de lutte antiérosive

Chapitre 2

Éric ROOSE

## Introduction

Toutes les sociétés en croissance rencontrent des problèmes de dégradation du milieu du fait de la croissance démographique qui pousse à l'extension des parcours et des cultures sur des terres plus fragiles.

Les crises économiques entraînant souvent la pauvreté des populations rurales et des crises d'érosion, les sociétés ont tenté d'y porter remède par des stratégies destinées à améliorer la productivité des sols et à stabiliser les versants :

- des stratégies traditionnelles de gestion de l'eau et de maîtrise de l'érosion sur les versants,
- des stratégies modernes d'équipement en petite hydraulique des versants pentus (RTM, CES, DRS),
- des stratégies participatives de développement rural intégré (GCES).

Après avoir présenté ces trois stratégies dans leur contexte, nous retracerons l'évolution historique de la LAE en Afrique et les tendances actuelles des techniques culturales simplifiées gérées par les paysans et des techniques de lutte contre les érosions catastrophiques par des équipes spécialisées décrites au colloque de Marrakech en 2006.

## Les crises d'érosion

De tout temps, nombre de contrées au monde ont connu de graves problèmes d'érosion dus à la pression démographique. L'Europe connut des périodes de

crises d'érosion au Moyen Âge et au XIX<sup>e</sup> siècle, lorsque la population rurale exerça une forte pression sur les terres en réduisant les jachères et surpâturant les terrains communaux. Ce n'est qu'au vingtième siècle que l'Afrique a connu une croissance démographique remarquable : la population a doublé tous les 25 ans, ce qui a entraîné des problèmes socio-économiques et environnementaux sans précédent.

L'augmentation des besoins vitaux et sociaux a provoqué l'extension des défrichements pour les cultures et l'intensification du pâturage, qui à leur tour ont déclenché l'érosion accélérée ( $E = 10$  à  $700$  t/ha/an) et des ruissellements exacerbés (plus de 75 % lors des plus fortes averses). En une génération (25 ans), l'érosion peut décaper l'horizon humifère et causer l'abandon de la terre. Mais il arrive que l'érosion se développe encore plus vite. On parle « d'une érosion catastrophique » quand l'homme développe ses activités sur des terres particulièrement fragiles, par exemple des versants raides sur des roches imperméables.

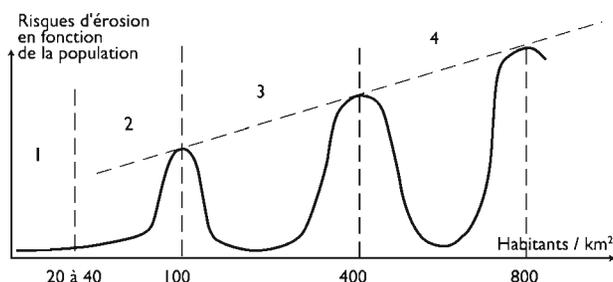
Par ailleurs, les paysages méditerranéens profondément transformés par l'homme, peuvent rester stables pendant des années jusqu'à ce qu'une averse de fréquence rare sature le sol et provoque des ravinements ( $100$  à  $300$  t/ha/jour) ou pire, des glissements de terrain (plusieurs milliers de  $m^3$  de boue en une heure) et des inondations brutales. Par exemple, en hiver 2001 dans l'Aude, département du sud de la France, il est tombé près de  $600$  mm en 3 jours inondant tout un département (35 morts et des milliards de dégâts) : toute l'économie a été désorganisée par une seule averse tombant dans une zone méditerranéenne, montagnaise, viticole et peu couverte.

### **L'érosion accélérée et la pression démographique**

En agglomérant les populations dans les villes, les civilisations ont créé des conditions favorables au développement du ruissellement, à l'accélération de l'érosion et de la dégradation de la fertilité des sols. Les villes et les routes sont des milieux peu perméables qui accumulent les volumes ruisselés, accélèrent le ravinement, provoquent des inondations et des dépôts de boues. De plus, la demande urbaine en vivres entraîne l'extension des cultures sur des terres plus fragiles, l'intensification des techniques culturales et donc l'augmentation des risques de dégradation des sols.

On peut penser à première vue qu'il y a des liens étroits entre la dégradation du milieu et la densité démographique (PLANCHON et VALENTIN, 1999). Cependant, on a observé qu'une diminution de la population suite à l'émigration ne réduit pas forcément l'érosion : le manque de main-d'œuvre pose des problèmes d'entretien des paysages et des dispositifs de gestion des eaux.

Certains pensent au contraire que plus la main-d'œuvre est abondante, plus les terres sont soignées et les risques d'érosion sont réduits (*more people, less erosion*). C'est le cas dans le pays bamiléké au Cameroun (FOTSING, 1993), à Madagascar (BOISSAU, LOCATELLI et WEBER, 1999), mais aussi au Kenya (TIFTEN *et al.*, 1998), ou dans le midi de la France où les terrasses ne sont plus entretenues suite à l'émigration urbaine de la main-d'œuvre.



Lorsque la densité de population dépasse certains seuils, les problèmes d'érosion et de dégradation des sols deviennent inacceptables et les paysans se voient obligés d'abandonner leurs terres ou de changer leur système de culture. C'est ainsi qu'on observe le passage de la culture itinérante après brûlis (si < 20 à 40 habitants/km<sup>2</sup>), à une culture extensive sur des surfaces croissantes (> 40 hab./km<sup>2</sup>), à des cultures relativement intensives avec fertilisation, élevage en semi-parcours (< 400 hab./km<sup>2</sup>) et la polyculture très intensive de jardins multiétagés supportant du petit bétail, des arbres fruitiers et fourragers et une fumure organique et minérale intensive.

Conclusion : il n'y a pas de relation systématique entre l'accroissement de la population et la dégradation. Lorsque la densité de la population dépasse certains seuils, la dégradation devient inacceptable — CRISE — les populations émigrent ou changent de systèmes de culture, d'élevage, de gestion de l'eau et de l'énergie.

Fig. 2

*Relation entre la densité de population, l'érosion, le système de production et la gestion de la fertilité des sols en Afrique (ROOSE, 1999).*

La figure 2 montre que la relation entre la densité de la population et l'érosion n'est pas toujours linéaire. En Afrique, É. ROOSE (1994) a observé des crises environnementales contraignant la population à choisir entre l'émigration ou la modification du système de production légué par les ancêtres. On assiste à une succession de périodes de crises et de périodes plus stables, où se succèdent des systèmes de production adaptés à chaque situation foncière. À chaque stade correspond un mode de gestion des ressources en eau, en bois, en énergie, en nutriments, en bétail, en cultures. On part d'un milieu naturel riche en diverses ressources qu'on exploite et épuise progressivement, avant de réintroduire des ressources artificielles.

### Face aux crises d'érosion, deux logiques

Pour surmonter ces crises, les sociétés ont développé des stratégies de lutte anti-érosive en fonction de deux logiques :

- une logique amont partagée par les paysans dont l'objectif est d'améliorer la productivité de la terre et du travail, en adaptant les systèmes de production et en développant des stratégies traditionnelles de gestion de l'eau sur le versant, en concentrant la biomasse et la fertilité sur les terres cultivées et en protégeant les sols contre divers types d'érosion ;
- une logique aval partagée par les citadins et les industriels dont l'intérêt est de protéger la qualité des eaux et les aménagements. Les pouvoirs publics mandatent

ses ingénieurs pour la construction dans les campagnes des équipements hydrauliques (barrages, terrasses, banquettes, drains) pour la protection des aménagements des vallées, du réseau routier, des ouvrages d'art et des villes.

Actuellement, le monde est en pleine mutation économique qui impose une restructuration de l'économie et engendre une crise sociale et environnementale : c'est une époque de remise en cause favorable à l'évolution des mentalités et à la réflexion sur la gestion des ressources au niveau du terroir, des régions et ensembles de régions.

## Évolution des stratégies antiérosives dans le monde

Toutes les civilisations ont rencontré des problèmes de dégradation des terres : devant ces crises, les hommes ont réagi selon les conditions socio-économiques de l'époque.

### **Les stratégies traditionnelles liées aux conditions climatiques et économiques**

Depuis 7 000 ans, la nature a conservé des vestiges de la lutte de l'homme pour maîtriser les différentes formes d'érosion et améliorer la gestion de l'eau sur les versants et la fertilité des sols cultivés (LOWDERMILK, 1953). L'analyse de la répartition spatiale des systèmes de lutte et des causes de leur disparition montre que l'efficacité des méthodes traditionnelles est strictement liée aux conditions économiques des sociétés où elles se sont développées.

Deux exemples illustrent cette hypothèse :

– La culture itinérante sur brûlis est probablement la plus ancienne stratégie utilisée sur tous les continents pour maintenir la productivité de la terre et du travail (JURION et HENRY, 1967 ; FAO, 1974 ; LEVANG, 1984 ; LEVANG, MICHON et FORESTA, 1997). Pour que ce système reste équilibré (brève culture sur brûlis de la biomasse, suivie d'une longue jachère), il faut une réserve de terre considérable (10 à 20 fois la surface cultivée) et une économie d'autosubsistance. Cette stratégie ne s'applique que sur des terres peu peuplées (moins de 20 à 40 habitants au kilomètre carré selon la productivité régionale), des sols suffisamment profonds et bien arrosés. Dès que les besoins vitaux et la pression foncière augmentent, la durée de la jachère diminue et le système commence à se dégrader, comme on peut l'observer au Sahel et dans le Rif.

– Dans des circonstances opposées se sont développées les terrasses en gradins irrigués (2 000 ans avant J.-C. en Asie) et les terrasses méditerranéennes sur murettes en pierres (1 000 ans après J.-C. en Crète) là où la population est dense, les terres cultivables rares et le travail bon marché. Comme ces aména-

gements exigent de gros efforts pour la construction des terrasses (300 à 1 500 hommes/jours/ha), pour l'entretien des talus et la restauration de la fertilité des sols remués, il faut que la production soit rentable ou vitale. Ces améliorations foncières ne sont acceptées que là où les paysans n'ont plus d'autre choix pour subsister (pressions foncières, militaires, religieuses ou économiques) ou pour produire des cultures particulièrement rentables (fleurs à Nice, orangers en Espagne, pommiers ou cannabis dans le Rif).

Actuellement, la mécanisation de l'agriculture, les salaires dans l'industrie, la crise économique, le coût de la main-d'œuvre, l'émigration et la désintégration des sociétés traditionnelles entraînent l'abandon de la plupart de ces techniques anciennes, décrites par les ethnologues, mais méprisées par les technocrates (CRITCHLEY *et al.*, 1992). Ce n'est pas parce qu'elles sont inefficaces que ces techniques sont abandonnées, mais à cause du changement des conditions socio-économiques ou démographiques. En un siècle, la population a quintuplé, malgré les guerres, et les besoins sociaux ont augmenté plus vite encore.

On verra aux chapitres 6 et 7 toute la diversité des techniques traditionnelles de gestion de l'eau sur les versants des montagnes marocaines en fonction des conditions écologiques et humaines.

### **Les stratégies modernes d'équipement des campagnes : la logique de l'État**

À l'occasion de graves crises sociales se sont développées des stratégies modernes d'équipement hydraulique des montagnes. Il s'agit essentiellement de reforestation des hautes vallées, d'améliorations foncières, de correction des torrents et ravins et de terrassement des terres cultivées sur fortes pentes. La priorité a été donnée à la réalisation de gros chantiers de terrassement et de reforestation.

– *La Restauration des terrains en montagne* (RTM) a été développée en France à partir des années 1850, pour faire face à la crise d'érosion due aux montagnards qui ne pouvaient survivre sans mener leurs troupeaux sur les terres communales déjà surpâturées. La dégradation des couvertures végétales et le tassement des sols par le bétail ont entraîné le développement catastrophique des torrents. Pour protéger les vallées aménagées et les voies de communication des masses de terre mobilisées par ceux-ci, l'Office national des forêts a racheté les terres dégradées en France, reconstitué la couverture végétale et corrigé le lit des torrents (LILIN, 1986).

– Aux États-Unis, le *Service de conservation de l'eau et des sols* (CES) a été créé lors de la crise économique de 1930, pour conseiller les fermiers volontaires qui demandaient aux agronomes un appui technique et financier pour lutter contre l'érosion. En effet, l'extension rapide des cultures industrielles peu couvrantes (coton, arachide, maïs) dans la Grande Prairie a déclenché une érosion éolienne catastrophique. Des nuages de poussières obscurcirent le ciel en plein jour (*dust bowl*) : 20 % des terres cultivables furent dégradées à cette époque. Sous la pression de l'opinion publique, l'État a dû réagir et mettre en place

simultanément un programme de recherche et un service de conservation de l'eau et des sols (SWC Service) au niveau de chaque comté.

Deux écoles s'affrontent encore de nos jours sur l'approche des problèmes de LAE. L'une, sous l'impulsion de H. BENNET (1939) organise la LAE autour des moyens mécaniques de réduction de la vitesse et de l'énergie du ruissellement pour réduire le ravinement (invention des terrasses de diversion du ruissellement vers des exutoires enherbés, technique validée uniquement sur les sols argilo-limoneux). L'autre, à la suite des travaux de W.D. ELLISON (1944) sur la battance des gouttes de pluie et des équipes de W.H. WISCHMEIER et D.D. SMITH (1960), organise la LAE en modifiant les systèmes de culture pour absorber l'énergie des pluies sur les champs en améliorant le couvert végétal (STALLINGS, 1953) et la rugosité de la surface du sol. Pour réduire le ruissellement dès son origine, la réflexion intéresse cette fois le développement de la couverture végétale, la gestion des résidus de culture et les techniques culturales conservatrices.

– *La Défense et restauration des sols (DRS)* a été développée par les forestiers dans les années 1940-1980 autour du bassin méditerranéen pour faire face à de graves pénuries d'eau, à l'envasement rapide des barrages (en 30 à 50 ans), à la dégradation des équipements et des terres ainsi qu'à des problèmes de société (guerre du Rif). La DRS est née d'un mariage de raison entre la RTM des forestiers (reforestation des hautes vallées, correction torrentielle) et la CES des agronomes (banquettes plantées d'arbres fruitiers). Pour les forestiers, il s'agissait avant tout de mise en défens des terres dégradées par la culture et le surpâturage, de reforester les hautes vallées pour restaurer par les arbres la capacité d'infiltration des sols dégradés. « Tous les problèmes ne naissent-ils pas du surpâturage et du défrichement abusif » ? (PUTOD, 1956 ; PLANTIE, 1961 ; MONJAUZE, 1962 ; GRÉCO, 1978).

Cependant, depuis les années 1975, de nombreuses critiques se sont élevées pour constater l'échec fréquent des démarches technocratiques menées trop rapidement, sans l'avis des bénéficiaires. Aux États-Unis, malgré 50 ans de travaux remarquables des services de CES et les millions de dollars investis chaque année, 25 % des terres cultivées perdent encore plus de 12 t/ha/an de sédiments (limite de tolérance pour les sols profonds) qui viennent polluer les eaux des barrages (LOVEJOY et NAPIER, 1976 ; HUDSON, 1991). Si la fréquence des vents de sable a été réduite, la pollution des eaux, les inondations et l'envasement des barrages posent encore aujourd'hui de graves problèmes. En Algérie, malgré 800 000 ha de reforestation (ceinture verte) et l'aménagement de banquettes sur 350 000 ha cultivés, la dégradation de la végétation et des sols continue, les inondations, l'envasement des barrages et le manque de bois restent des problèmes préoccupants (ARABI *et al.*, 2004). En Afrique de l'Ouest et du Nord, des paysans préfèrent parfois abandonner leurs terres aménagées par l'État plutôt que d'entretenir les banquettes antiérosives car ils craignent qu'il ne s'agisse d'un piège dressé par l'administration pour s'emparer de leurs terres (HEUSCH, 1986). Les paysans ont vite constaté que ces banquettes faisaient perdre 5 à 15 % des surfaces cultivables, sans augmenter pour autant les rende-

ments des parcelles restantes : celles-ci continuent d'ailleurs de se dégrader par l'érosion en nappe. On comprend que les paysans se méfient des projets de LAE qui leur causent plus de gêne que de bénéfices. Ils pensent : « Pourquoi fournir tant d'efforts, pour si peu de bénéfice sur la production ? ».

### **La GCES, une stratégie participative**

Lors d'un séminaire tenu à Porto Rico (Moldenhauer et Hudson, 1989), furent analysées les causes de l'échec ou des réussites des projets englobant un large volet de LAE. Une nouvelle stratégie y est née qui tient mieux compte des besoins immédiats des paysans et des éleveurs. Elle tente de résoudre leurs problèmes immédiats : valoriser la terre et le travail des ruraux en améliorant le système de culture, en particulier, l'infiltration de l'eau, l'enracinement et la nutrition des plantes.

Cette approche a été nommée « *Land husbandry* » par les anglophones (SHAXSON *et al.*, 1989 ; HUDSON, 1992) et « Gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols » (GCES) par les francophones (ROOSE, 1987 et 1994).

Partant du principe que les aménagements antiérosifs ne peuvent être durables sans la participation paysanne, cette stratégie tient compte de la façon dont les ruraux perçoivent les problèmes de dégradation des sols et propose l'intensification de la productivité des terres pour faire face à la croissance démographique. En effet, le défi à relever est de doubler la production en 20 ans, tout en réduisant significativement les risques de ruissellement et d'érosion.

Il s'agit d'intégrer la mentalité paysanne pour laquelle tout effort doit être payé de suite. Il n'est plus acceptable de proposer des travaux lourds de conservation des sols sur les terres ravinées, d'une part parce que bien des sols tropicaux cultivés sont déjà épuisés (il est trop tard pour les conserver : il faut restaurer leur potentiel de production), et d'autre part, parce que la demande de produits de consommation ne peut plus attendre des hypothétiques effets à long terme de la conservation des sols : la population rurale est trop pauvre et il faut répondre à sa préoccupation immédiate, sa survie.

Les résultats de recherches ont montré qu'il ne suffit pas de réduire le ruissellement et de conserver l'épaisseur des sols pour intensifier, ou même maintenir la productivité des terres (ROOSE et NDAYIZIGIYÉ, 1996). De même, tenter de restaurer les propriétés primitives des sols ne nous paraît pas raisonnable car le temps à patienter et le prix à investir sont trop élevés et peu rentables : en effet, les sols tropicaux vierges ne sont pas forcément riches et fertiles. Mieux vaut donc améliorer l'état structural de l'horizon où vivent les racines et nourrir directement les cultures. Les terrassements exigent des travaux considérables pour leur mise en place (de 600 à 1 500 jours de travail/ha) et leur entretien (10 à 40 jours/ha/an), mais ils n'ont pas amélioré la productivité des sols, ni même réduit leur vitesse de dégradation : l'érosion en nappe et rigole n'est pas interrompue par les fossés et autres terrasses. Par contre, on peut observer que les fossés accélèrent la concentration des eaux de surface dans les drains naturels

(développement de ravines) et dans les rivières et provoquent généralement une recrudescence de l'érosion des berges en fonction des nouveaux débits de pointe (ROOSE, 1986).

Dans le cadre de la GCES, la nouveauté consiste justement à gérer au mieux les terres productives, l'eau, la biomasse et les nutriments essentiels au développement harmonieux des cultures. L'intensification de la production augmente la couverture végétale, la biomasse racinaire et les résidus de culture, l'activité de la faune perforatrice du sol et la rugosité de la surface des champs : elle réduit indirectement les risques de ruissellement et d'érosion. La lutte antiérosive cesse d'être une fin en soi, mais elle fait partie du paquet technologique qui permet d'assurer la gestion durable de la couverture pédologique.

Les stratégies d'équipement ont concentré leur priorité sur l'aménagement des terres les plus dégradées d'où proviennent la majorité des sédiments qui polluent les eaux destinées aux villes. En créant des banquettes sur les plus mauvaises terres, on ne réduit pas les causes de l'érosion. Les enquêtes en Haïti ont montré que les paysans préfèrent investir d'abord dans leurs terres productives pour tirer le meilleur revenu de leurs améliorations foncières. « Mieux vaut prévenir que guérir » et l'expérience de 50 ans de CES et DRS a montré que l'on n'arrive pas à éteindre les foyers d'érosion (NAEGEL, 1991 ; SMOLIKOWSKI *et al.*, 1993).

En conclusion, on ne dispose que d'une quinzaine d'années d'expérience en matière de GCES, mais cette stratégie a montré de grandes potentialités dans des régions très variées : du nord de la France (ROOSE *et al.*, 1983) au Sahel (Cap-Vert : SMOLIKOWSKI, 1997), des savanes soudaniennes (Burkina Faso : ROOSE *et al.*, 1993) aux montagnes tropicales du Rwanda (NDAYIZIGIYÉ, 1992), du Burundi (RISHIRUMUHIRWA, 1993), d'Haïti (SMOLIKOWSKI, 1993), des montagnes méditerranéennes (Algérie : ROOSE *et al.*, 1993) aux montagnes volcaniques (Équateur, DE NONI *et al.*, 1993).

Cette approche interpelle les paysans car elle s'appuie sur les techniques traditionnelles, exige leur conviction et la recherche en commun de solutions adaptées au diagnostic local et aux possibilités économiques de chacun. Elle valorise les capacités d'innovation des chercheurs et des paysans. Elle exige du temps car il faut changer la mentalité d'assistés des paysans, en volonté de prise en charge communautaire de l'environnement rural. Cela peut poser des problèmes avec les bailleurs de fonds qui exigent de voir des transformations rapides du paysage en quelques années.

Il s'agit d'un vaste domaine de recherche car la diversité des systèmes de production, des problèmes économiques et des milieux physiques est infinie. De plus, on est loin de connaître la diversité des paramètres modifiant l'intensité ou même le type d'érosion, ou l'efficacité des techniques antiérosives sur le rendement des cultures et des associations de cultures. En définitive, on peut distinguer deux domaines dans la LAE : celui de l'État qui continue à financer la RTM et les catastrophes naturelles, et le domaine de la gestion du terroir, du ressort des paysans qui doivent adapter leurs systèmes de production.

# Rétrospective des techniques de lutte antiérosive en Afrique

## Avant la colonisation européenne

De nombreuses techniques traditionnelles de lutte antiérosive ont été décrites par les administrateurs des colonies puis par les géographes et agronomes : VAN DEN ABEELE, 1941 ; HARROY, 1944 ; TONDEUR, 1954 ; JURION et HENRY, 1967, au Congo, ou plus récemment : EL AMANI, 1970, en Tunisie, CRITCHLEY *et al.*, 1992 ; REIJ *et al.*, 1997 ; ROOSE, 1990, en Afrique occidentale ; ROOSE et SABIR, 2004 au Maroc. Signalons ici les techniques traditionnelles les plus connues :

- la culture itinérante sur brûlis (FAO, 1974 ; LEVANG 1984 ; ROBINSON et MCKEAN, 1991),
- les techniques culturales permettant de maîtriser l'eau, les adventices et la fertilité des sols comme les diverses variétés de billonnage et de buttage (ROOSE, 1994) ;
- les divers modes de culture sous impluvium qui tentent de gérer le ruissellement : les microbassins du Néguev en Israël (EVENARI *et al.*, 1968), les tabias, les citernes et les jessours du Maghreb (EL AMANI, 1983 ; BONVALLOT, 1986 ; BOURGES *et al.*, 1979), le zaï dans la zone soudano-sahélienne du Burkina, Mali, Niger, Tchad (ROOSE *et al.*, 1993, 1999) ;
- les haies vives défensives au Cameroun (SEIGNOBOS, 1999), Rwanda (ROOSE et NDAYIZIGIYÉ, 1986), en Guinée (DIALLO, 1994) et au Maghreb ;
- les terrasses progressives au Cameroun (PONTANIER, 1988 ; SEIGNOBOS, 1999) et en Afrique occidentale (ROOSE, 1986) ;
- les terrasses en gradins au pays dogon du Mali (ROCHETTE, 1989) et au Maghreb (LAOUINA *et al.*, 1995 ; REIJ *et al.*, 1997) ;
- l'entretien des paysages agroforestiers de la zone soudano-sahélienne (*Acacia albida*, karité et néré : BAUMER, 1987) et des arganiers du Sud marocain.

Une grande diversité de systèmes traditionnels a été développée autour du désert pour capter les eaux de surface et de profondeur (GOSSELIN, 1939 ; EL AMANI, 1983 ; ROOSE, 1990)

## L'époque coloniale

Les administrations coloniales ont imposé leurs stratégies de DRS ou CES, par des moyens de coercition tels (travail obligatoire, amendes, etc.) que les populations se sont parfois révoltées (Kikuyus au Kenya) ; la LAE était à cette époque devenue un thème technique politiquement dangereux pour les leaders africains tellement ces pratiques avaient mauvaise réputation auprès des populations rurales. Au Kenya furent imposées les terrasses de diversion, au Rwanda, les fossés aveugles d'absorption totale ou les lignes d'herbes. Au Maghreb, les services de DRS ont imposé les banquettes d'absorption totale ou de diversion et la mise en défens des parcours et forêts dégradées. En Afrique

et à Madagascar furent interdits les feux de brousse, si nécessaires pour les éleveurs. Au Maghreb, la colonisation a réglementé l'accès aux domaines forestiers, aux nappes d'alfa et aux massifs d'arganiers.

### **Depuis l'indépendance**

Au moment des indépendances, deux réactions divergentes ont été observées. Dans les pays où la LAE fait partie du service des Eaux et Forêts très structuré comme en Algérie, les projets de DRS ont continué à donner du travail à la population montagnarde, sans changer les méthodes. Ailleurs, la LAE a été simplement abandonnée, en réaction aux méthodes contraignantes et aux travaux forcés. Mais l'érosion ne s'est évidemment pas arrêtée ! Dans les années 1960, de graves inondations ont alerté les responsables sur l'urgence de traiter les bassins en amont des ports comme Tanger et Oran.

Depuis les années 1980, de gros problèmes de dégradation de la productivité des sols se sont manifestés en même temps qu'une forte poussée démographique. Dans les pays à main-d'œuvre abondante, on a observé une reprise des travaux de terrassement communautaire (ex. Chine, Rwanda), mais ces efforts n'ont eu que peu d'effets sur la production vivrière car non accompagnés de la restauration de la fertilité des sols.

En 1987, le séminaire de Porto Rico apporte enfin une analyse critique des grands projets de LAE et propose une nouvelle orientation : développer en priorité des conditions favorables au développement des cultures sur les sols productifs et laisser aux États le souci de gérer les catastrophes naturelles, qui échappent à la compétence et aux moyens ordinaires des paysans.

## **Conclusions : les perspectives développées au congrès de Marrakech**

Du 14 au 19 mai 2006, s'est tenue à Marrakech la conférence internationale de l'ISCO (International Soil Conservation Organisation) sur l'efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides. Les 300 participants de plus de 50 pays ont présenté de très nombreuses communications dont nous avons sélectionné 55 documents faisant le point de la situation (Roose *et al.*, 2008). Nous en avons tiré sept messages.

### **1. La faible efficacité des approches mécaniques de CES et DRS**

Au Maroc, en Algérie et Tunisie, on dispose enfin de données chiffrées à différentes échelles qui confirment les résultats des enquêtes effectuées sur l'efficacité des grands chantiers de terrassement sur la gestion de l'eau, la rétention des terres et surtout leur productivité. L'imposition par les services techniques éta-

tiques de grands chantiers de terrassements mécanisés des versants, de correction des ravines et des torrents et la plantation forestière systématique pendant ces soixante dernières années se sont finalement avérées peu efficaces, peu durables, chères et mal acceptées par les paysans qui gèrent traditionnellement les versants des montagnes semi-arides depuis des siècles.

*2. Les recherches récentes et les applications ont démontré les potentialités de la GCES et l'intérêt des paysans dans une approche participative qui vise à la fois l'amélioration de l'environnement et l'augmentation significative de la productivité des sols.*

En intégrant de nouvelles techniques culturales (semis direct, labour grossier, jachère fourragère de légumineuses associées), la fertilisation organique et minérale raisonnée et les techniques traditionnelles de gestion des eaux de surface, la GCES vise la restauration de la productivité des terres, l'amélioration des revenus du travail, la maîtrise de l'environnement rural et des innovations en fonction de la capacité de travail et d'investissement des sociétés rurales. La gestion raisonnée de la biomasse amène le paysan à améliorer la séquestration du carbone et le stockage de l'eau dans le sol, à enrichir la biodiversité ainsi que les activités de la faune qui entretiennent la macroporosité et l'infiltration dans les horizons de surface.

*3. La nécessité de gérer à la fois les ressources en eau, la biomasse et la fertilité des sols*

La lutte antiérosive ne peut se limiter à la « conservation des sols en place », puisque la plupart sont déjà pauvres. Les communications du congrès ont montré clairement la nécessité d'approcher le problème de la restauration de la productivité des sols en améliorant à la fois la gestion de l'eau au niveau du versant, de la matière organique, et les propriétés physiques des sols et des nutriments des cultures. Les efforts de l'État pour structurer les paysages et conserver les eaux superficielles sur les versants ne sont pas durables s'ils ne sont pas confortés par des techniques culturales qui améliorent les propriétés physiques des sols et la nutrition des plantes cultivées.

*4. La gestion de la biomasse : une des clés de la restauration des sols*

Le choix de diverses plantes adaptées aux conditions locales, et en particulier de légumineuses fixatrices de l'azote de l'air et enracinées profondément, accélère le recyclage des nutriments lessivés par le drainage. Le développement d'un réseau racinaire abondant et profond stabilise la structure du sol et améliore l'infiltration. La gestion en surface des résidus de culture couvrant plus de 30 à 50 % de la surface des champs amortit l'énergie des gouttes de pluie et du ruissellement, attire la mésofaune au contact de la surface du sol et l'encourage à perforer les croûtes de battance. Tous ces résidus (litières et racines) stockent les nutriments et les redistribuent progressivement au cours de la saison culturale, créant une ambiance forestière bien tamponnée au niveau de la température et de l'humidité, favorisant la formation d'agrégats stables. Grâce à l'humus, les microbes et champignons du sol se multiplient et mettent à la portée des racines

les nutriments rendus assimilables. Enfin, les cultures associées valorisent mieux la lumière et les nutriments du sol, dispersent les agents pathogènes et les animaux nuisibles et produisent plus de biomasse. La lutte antiérosive amène forcément à augmenter la biodiversité d'une niche écologique et la densité de plantation.

*5. La lutte antiérosive n'est pas seulement un problème technique : c'est aussi un problème humain*

La dégradation des sols traduit souvent un malaise de la société où certains individus tentent de s'emparer à leur bénéfice exclusif et dans les délais les plus brefs des ressources naturelles en réalité souvent assez limitées. Cette crise peut aussi provenir des tentatives maladroites d'intensification de la production (par exemple, mécanisation mal adaptée aux sols, pentes fortes, climat, système de culture) ou encore de la lutte désespérée pour survivre au jour le jour de populations pauvres, confinées sur des surfaces trop étroites.

*6. L'histoire des peuples peut avoir une influence majeure sur la réussite de projets de LAE*

L'étude de la spatialisation des techniques traditionnelles de GCES au Maroc a clairement montré que les anciennes sociétés agraires ont mis au point au cours des siècles de nombreuses techniques de GCES et sont susceptibles de s'approprier les nouvelles plus facilement que des sociétés d'éleveurs nomades sédentarisés récemment, même si celles-ci tentent de s'établir sur un territoire limité. Les éleveurs sont plus attachés à la gestion du troupeau, des points d'eau et des réserves fourragères qu'à la protection des sols. Si un troupeau peut produire du fumier plus riche que la biomasse des parcours, il tasse et appauvrit la surface du sol, dégrade le couvert végétal et provoque une nette augmentation du ruissellement et du ravinement. Rares sont les recherches sur l'approche des problèmes d'érosion par les sociétés pastorales. Les États ont souvent initié des programmes de conservation des ressources naturelles pour parer à des situations de crises. Il est rare que ces initiatives technocratiques prennent en compte des systèmes endogènes traditionnels de gestion intégrée des ressources ou des complémentarités spatiales ou des interactions environnementales et sociales.

*7. Nécessité de spacialiser les risques d'érosion à l'aide d'indicateurs et de simulateurs de pluies*

De nombreuses études ont été consacrées à la spatialisation des risques des processus d'érosion en s'appuyant sur divers indicateurs : la combinaison de techniques modernes de simulation de pluies sur le terrain, la télédétection, les SIG et certains radio-isotopes (césium, béryllium) permettent de mieux localiser les zones productrices de ruissellement et par conséquent de mieux diagnostiquer les zones productrices de sédiments.

Il reste encore beaucoup de recherches à mener pour mieux comprendre la diversité des processus en cause dans le développement des divers types d'érosion, en particulier le ravinement et l'« érosion aratoire » par les outils de travail du sol. Vu l'urgence de trouver des solutions pratiques, la recherche devrait

se rapprocher des projets de développement, analyser l'expérience paysanne, définir les indicateurs pertinents des causes et des facteurs locaux les plus importants en vue de réduire rapidement les risques de dégradation de l'environnement, tout en intensifiant la productivité.

Le défi du <sup>xxi</sup>e siècle sera en effet de doubler la production vivrière tous les 20 ans, aussi vite que la croissance démographique, tout en réduisant les risques de dégradation de l'environnement.



# La lutte antiérosive conventionnelle en fonction des processus et des facteurs de l'érosion hydrique

Éric ROOSE

Dans ce chapitre, nous rappelons la variété des manifestations des divers processus d'érosion, les causes et les facteurs de ces processus, ainsi que les aménagements présentés dans les manuels conventionnels pour lutter contre l'érosion et une analyse critique de ces approches.

## L'érosion en nappe

### **La cause et les processus de l'érosion en nappe**

On parle d'érosion en nappe (ou aréolaire) lorsque l'énergie des gouttes de pluie s'attaque à toute la surface du sol et que le transport des matériaux arrachés s'effectue par le ruissellement en nappe. C'est le stade initial de la dégradation des sols par l'érosion hydrique (ROOSE, 1994). Elle est peu visible puisqu'une érosion de 15 à 30 t/ha/an correspond à une perte de hauteur de 1 à 2 mm : or les « sols respirent » comme en témoigne l'augmentation de leur densité apparente

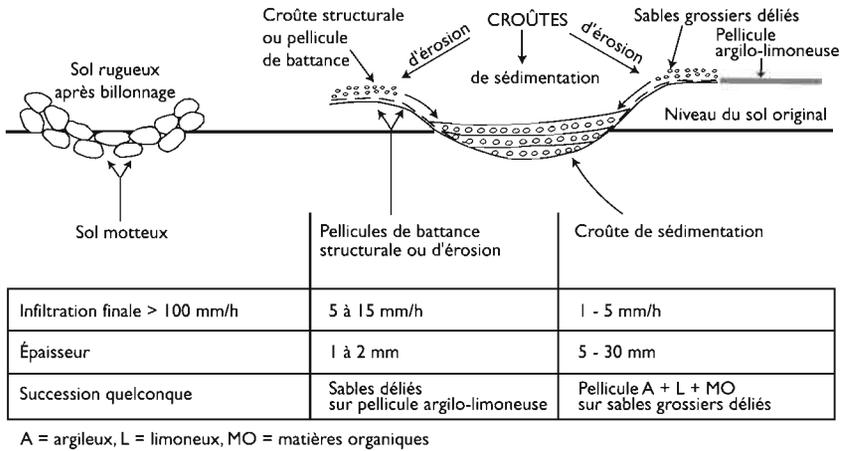


Fig. 3

Formation des pellicules de battance et des croûtes d'érosion et de sédimentation sous l'effet des gouttes de pluie (d'après ROOSE, 1994).

au cours de la saison des pluies et la surface oscille de plusieurs centimètres d'une saison à l'autre, ne fût-ce qu'après le labour ou suite au gonflement des argiles par hydratation. Cependant, les paysans n'observent-ils pas que « les cailloux poussent » ce qui veut dire qu'il y a érosion sélective des particules fines et légères (MO, argile et limons) et accumulation en surface des éléments grossiers résiduels (ROOSE, 1977).

La cause de l'érosion en nappe est l'énergie de battance des gouttes de pluie sur le sol dénudé (ELLISON, 1944). L'érosivité des pluies dépend à la fois de l'intensité maximale des pluies (durant 15 à 30 min) qui déclenche le ruissellement, du volume et de la durée des pluies (ou de l'humidité du sol avant l'averse) : elle se calcule à partir de régressions entre l'intensité des pluies et leur énergie (WISCHMEIER et SMITH, 1978 ; ROOSE, 1994).

L'énergie de battance est dissipée sur le sol selon cinq processus (fig. 3) :

- l'humectation brutale de la surface du sol et l'éclatement des agrégats ;
- le tassement de la surface du sol sous l'impact des gouttes ;
- l'arrachement tangentiel qui sépare les particules agrégées des mottes ;
- la projection de ces particules selon une couronne sur sol plat et transport dans toutes les directions, mais plus efficacement vers l'aval sur les pentes ;
- le bruit du choc des gouttes sur les matériaux résistants, et redistribution des particules vers les sommets des mottes (pellicules de battance) et vers les points bas (croûtes de sédimentation).

### Les indicateurs de l'érosion en nappe

Les traces laissées au sol par les divers types d'érosion traduisent l'efficacité locale des processus qui font appel à des sources d'énergie variées et à divers

facteurs qui modifient leur expression. Cependant, ces traces ne sont pas forcément pérennes : il y a souvent une évolution au cours de la saison des pluies et des années de culture d'une forme d'érosion vers une autre à mesure que la dégradation des terres progresse. Pour évaluer les risques d'érosion, on a développé toute une série de dispositifs susceptibles d'apporter des indications chiffrées sur l'efficacité de l'érosion en nappe, la vitesse de progression des ravines et des mouvements de masse à certaines échelles d'espace et de temps (LAL, 1988 ; ROOSE, 1994). Ces mesures très utiles sont menées sur de longues périodes à cause des variations climatiques annuelles. Elles sont donc coûteuses en personnels : elles ont donné naissance à des bases de données utilisées pour modéliser les tendances évolutives à moyen terme (20 ans pour le modèle USLE décrit plus loin) des zones à pentes moyennes (2 à 25 % de pente), pour définir les techniques de lutte antiérosive à mettre en place pour maintenir une terre cultivée sous un niveau d'érosion acceptable ( $E = 1$  à 15 t/ha/an).

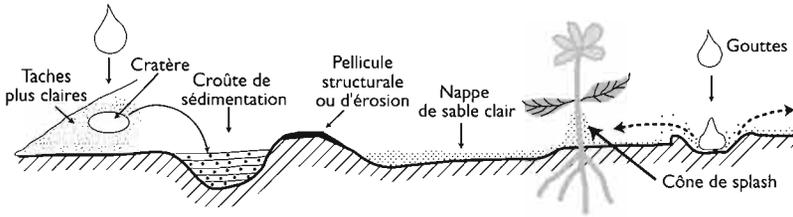
Avec l'urgence de trouver des solutions aux problèmes d'érosion, la tendance actuelle est d'évaluer, pour chaque segment fonctionnel des versants, des indicateurs faciles à repérer à la surface du sol (mémoire des attaques par les pluies et le ruissellement). Ces indicateurs sont situés dans l'espace à l'aide de GPS. On les combine ensuite aux facteurs les plus significatifs du paysage pour définir les risques d'érosion et d'inondation (pente, nature du sol, etc.). Ces indicateurs d'état de la surface du sol renseignent sur les réactions du sol aux pluies passées, mais informent du même coup sur les risques d'érosion dans le futur, tout au moins à titre comparatif, des diverses utilisations des terres, des pentes, des techniques culturales et de l'histoire des parcelles situées sur le versant (BARTHÈS et ROOSE, 2002 ; CHEGGOUR *et al.*, 2008).

À un stade initial, l'érosion en nappe (bien que modeste : quelques t/ha/an), combinée à l'érosion aratoire (par les outils), peut décaper la majorité de l'horizon humifère en quelques dizaines d'années : d'où la présence de plages de couleurs claires aux endroits les plus décapés du versant (haut des collines et rupture de pente convexe).

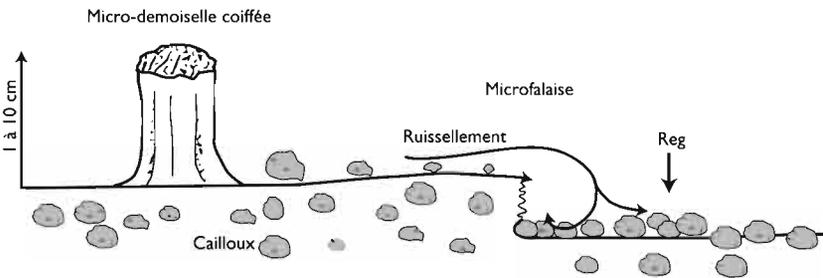
La battance des gouttes de pluie sur la surface irrégulière d'un sol labouré entraîne le tassement de la surface du sol, l'arrachement et la projection dans toutes les directions des particules arrachées, laissant sur place des voiles de sable, blanc en milieu acide, rosé ou roux si les sables sont ferrugineux, des cratères sombres dans ces voiles sableux délavés (reliquat de la chute des dernières grosses gouttes de la dernière averse), des « délaissés de crues » (litières et MO diverses accrochées aux buissons, mottes et cailloux) et des colonnettes de terre projetée par la pluie sous les feuilles larges qui protègent le sol nu de la battance.

À un stade avancé, l'érosion en nappe prend la forme de demoiselles coiffées, petits piédestals de terre coiffés d'un objet dur résistant à l'attaque des gouttes (graine, racine, feuille, fumier, cailloux ou simples croûtes de terre tassée protégés par des lichens). Leur hauteur (0,5 à 15 cm) est d'autant plus élevée que l'érosion est forte, le sol nu et fragile, et la pente raide. Ces colonnettes de terre

A) Effets splash : taches plus claires, cônes sous les feuilles, nappes de sable clair



B) Décapage : demoiselles coiffées, microfaisles et reg de cailloux



C) Dépôts : délaissés de crue (matières organiques), nappes de sable

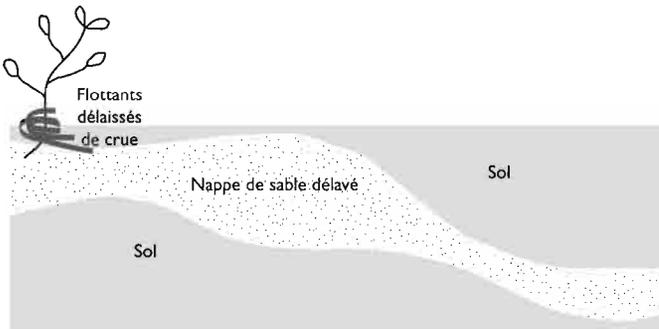


Fig. 4

Les indicateurs de l'érosion en nappe (d'après ROOSE, 1977).

prouvent que l'énergie des gouttes de pluie attaque la surface du sol et que le ruissellement emporte les particules fines détachées mais que son énergie n'est pas assez forte pour cisailer la base des colonnettes ou déplacer les cailloux. Dans les sols caillouteux, l'érosion en nappe concentre en surface un voile de cailloux semblable à un reg.

Dès que le ruissellement devient abondant, il se hiérarchise et accumule assez d'énergie pour entailler la base des demoiselles coiffées, creuser des griffes (1 à 10 cm de profondeur), des rigoles (10 à 50 cm de profondeur) qui évoluent en ravines (> 50 cm) (ROOSE, 1977).

## Les conséquences de l'érosion en nappe

L'érosion en nappe modifie progressivement la surface rugueuse d'un champ labouré et on peut observer :

- le nivellement de la surface du sol par rabotage des mottes et remplissage des creux, avec formation de pellicules de battance (épaisseur = 1 mm), de croûtes d'érosion et de sédimentation (plusieurs couches dépassant 1 à 30 mm).
- la squelettisation des horizons superficiels par perte sélective des matières organiques et des argiles, laissant en place une couche de sables et graviers, plus claire que le sol initial ;
- le décapage de l'horizon humifère laissant apparaître des plages de l'horizon minéral de couleur plus claire de l'horizon minéral B ou C.

## Les facteurs modifiant l'érosion en nappe

D'après le modèle empirique USLE (Universal Soil Loss Equation) de WISCHMEIER et SMITH, 1960, 1978, l'érosion en nappe est fonction du produit de l'énergie des pluies locales (R) par un ensemble de facteurs de résistance du milieu, à savoir le couvert végétal (C), la pente (SL), l'érodibilité du sol (K), les techniques antiérosives (P).

$$\text{Érosion moyenne} = R \times C \times SL \times K \times P$$

### L'érosivité des pluies (R)

Plus les pluies sont abondantes et intenses, plus elles libèrent une énergie cinétique et développent une agressivité destructrice des agrégats : ceux-ci seront d'autant plus fragiles que le sol est très sec (explosion des agrégats) ou très humide (faible cohésion) :

$$R_{am} = P_{am} \times 0,5 \pm 0,05$$

où  $P_{am}$  = la pluviosité annuelle moyenne (en mm) sur 10 ans et  $R_{am}$ , l'indice d'érosivité annuel moyen des années correspondantes.

En milieu aride, pour des pluies annuelles moyennes < 200 mm, l'indice d'érosivité moyen est :

$$R_{am} < 20 \pm 1$$

En milieu méditerranéen montagnard humide où  $P_{am} < 1\ 200$  mm :

$$R_{am} < 120 \pm 6$$

Cependant, la plupart des averses en zone de montagne méditerranéenne ont une faible intensité et une faible énergie : les risques majeurs sont liés à des averses de fréquence rare, soit des orages très violents lors des changements de saison, soit des pluies longues et saturantes provoquant des inondations considérables, des mouvements de masse, du ravinement torrentiel et la dégradation des berges des oueds.

### La couverture du sol par les végétaux et les cailloux ( $C = 0,001$ à $1$ )

Le facteur qui réduit le plus l'érosion potentielle due à l'énergie développée par les pluies est la surface du sol recouverte par la canopée des végétaux (importance

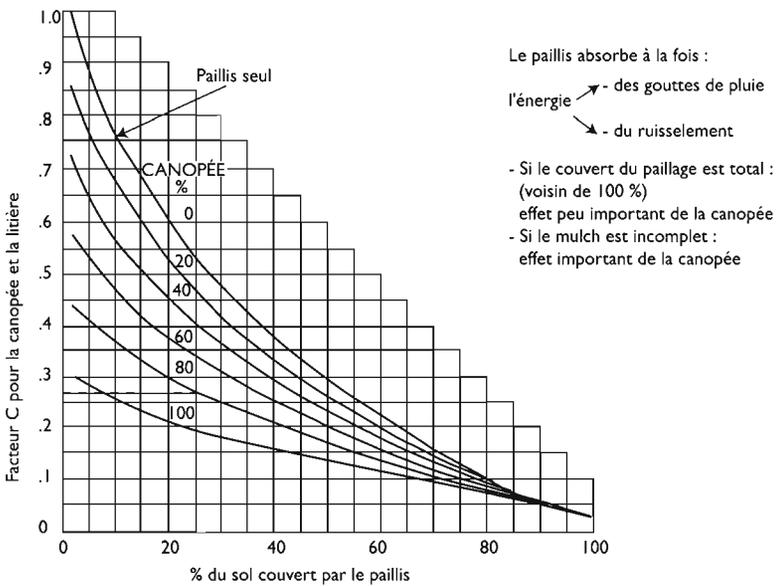


Fig. 5  
 Influence de la hauteur de la couverture du sol sur les risques d'érosion  
 (d'après WISCHMEIER et SMITH, 1978).

de la densité et époque de plantation), mais plus encore par toute végétation qui rampe à la surface du sol (adventices, mousses, plantes de couverture, litières, résidus de cultures, produit de la taille des arbres). Plus la canopée est haute et moins elle protège la surface du sol contre la battance car les gouttes d'eau accumulées au bout des feuilles reprennent très vite de la vitesse et de l'énergie (WISCHMEIER et SMITH, 1960 ; fig. 5).

L'influence des cailloux est plus complexe. Les cailloux qui pointent à la surface du sol dissipent l'énergie des gouttes et réduisent l'érosion. Par contre, les cailloux enfouis près de la surface ou dans la croûte de battance augmentent le ruissellement car les cailloux sont beaucoup moins poreux que le sol. Enfin, les cailloux posés sur des surfaces mottes retardent la destruction des agrégats qu'ils protègent et favorisent l'infiltration.

La plantation précoce et dense, de même que l'usage raisonné des engrais réduisent la surface dénudée (bon indicateur de l'érosion) du sol et les risques d'érosion. Les cultures associées ou décalées, l'agroforesterie, le paillage et la gestion des adventices (séchées sur place), le choix de variétés vigoureuses ou rampantes forment autant d'obstacles à l'énergie des pluies et du ruissellement, donc des pièges à sédiments.

Le travail du sol améliore l'infiltration d'autant plus temporairement que le sol est instable, mais il dénude la terre et la rend très sensible à la battance (LAL, 1976 ; ROOSE, 1977).

Le labour enfouit les adventices, mais ramène en surface des horizons profonds moins humifères, plus érodibles et riches en graines d'adventices enfouies durant le cycle précédent. En augmentant la porosité du sol, il améliore l'infiltration, mais la pression sur la semelle de labour ( $p = 3 \text{ kg/cm}^2$ ) écrase la macroporosité nécessaire pour l'infiltration des eaux. En définitive, c'est dans la forêt qu'on trouve les meilleures conditions physiques de stabilité structurale, d'agrégation, d'infiltration, d'enracinement et pourtant on n'y a jamais passé la charrue (ROOSE, 1977, 1981, 1994). Les paysans ne s'y trompent pas qui traditionnellement défrichent la forêt et sèment directement, sans travailler le sol, du riz en Côte d'Ivoire ou à Madagascar.

D'où l'idée de réduire le travail du sol : travail à la dent limité à la ligne de semis qui respecte la litière sur le reste de la surface, ou semis direct sous la litière d'adventices, de résidus de culture ou sous des plantes de couvertures.

Pour se rapprocher du système forestier, on combine la culture de plantes à racines profondes (arbustes de légumineuses) qui ramènent les nutriments en surface, à des plantes qui couvrent bien la surface ou laissent suffisamment de résidus de culture en litière pour couvrir plus de 50 % de la surface du sol.

Il existe de nombreuses raisons pour justifier la pratique des feux de brousse qui parcourent les espaces surpâturés, détruisent quantité de nuisibles ainsi que les plantes peu appétantes envahissant les parcours, régénèrent les herbacées, recyclent les nutriments fixés dans les vieilles plantes desséchées, minéralisent les matières organiques et augmentent d'une unité le pH de l'horizon superficiel. En desséchant la surface du sol, le feu l'a rendu hydrophobe : la surface brûlée produit alors beaucoup de ruissellement qui peut être utile ailleurs pour démarrer le nouveau cycle végétatif des parcours ou des pépinières (de riz à cycle long). Par contre, le feu répété a un impact négatif sur la biodiversité (destruction des jeunes semis, développement sélectif des arbres pyrophiles), sur la MO, l'azote et le carbone du sol et par conséquent sur toutes les propriétés liées à la MO du sol. Les surfaces brûlées augmentent temporairement le ruissellement et sa charge solide jusqu'à ce que la nouvelle végétation ait recouvert la plaie. L'époque et l'intensité du feu sont très importantes. Les feux précoces parcourent rapidement la surface du sol sans détruire les souches des graminées pérennes et sans s'acharner sur les troncs des arbres : la surface reverdit avant même le retour des pluies. Par contre, un feu tardif allumé par temps calme va brûler les souches des graminées et les branches des jeunes arbres, réduire pour longtemps le couvert végétal qui s'éveillait à la nouvelle saison des pluies (ROOSE, 1978).

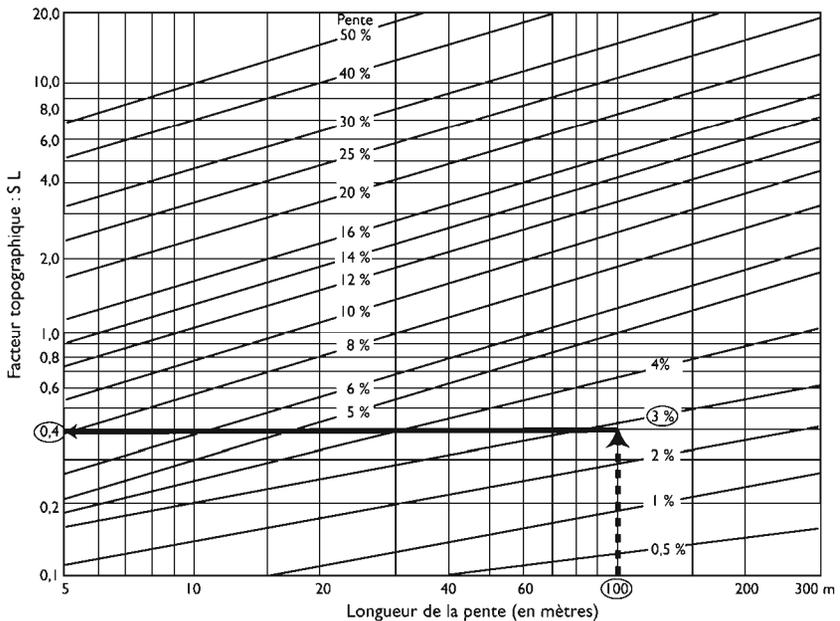
Le pâturage par les troupeaux d'ovins et caprins (pression aux sabots = 2 à 3  $\text{kg/cm}^2$ ) et surtout par les vaches et chevaux (pression aux sabots de 6 à 7  $\text{kg/cm}^2$ ) entraîne le tassement des chemins qu'ils empruntent et un ruissellement abondant des parcours se traduisant souvent par le ravinement des terres cultivées sous-jacentes (SABIR *et al.*, 1996).

En conclusion, quelle que soit la pente, la fragilité du sol, les techniques culturales, le type de végétation et sa composition botanique, pourvu qu'il couvre plus de 80 % de la surface du sol, le couvert végétal assure une excellente conservation

de l'eau et des sols. Mais en zone semi-aride méditerranéenne où les pluies agressives tombent en début de saison froide (septembre-novembre) ou en fin de saison culturale (avril-mai), il n'est pas toujours facile de recouvrir le sol de résidus végétaux : le travail grossier du sol en courbe de niveau et les cailloux étalés en surface peuvent compléter la couverture du sol par des litières végétales.

**La pente (SL varie de 0,1 à 20)**

Dès l'origine de la lutte antiérosive, la pente par sa longueur, son inclinaison, sa forme a été perçue comme l'un des facteurs principaux des risques de ruissellement et d'érosion. Il en a découlé de nombreuses méthodes de réduction de l'inclinaison de la pente (terrasses en gradins ou progressives), de la longueur de pente (gros billons et banquettes, haies vives, cordons de pierres, bandes enherbées, labour et billonnage en courbe de niveau), de la forme de la pente (terrasses progressives, talus limitant les parcelles). Ce n'est que récemment qu'on s'est aperçu que la position topographique dans le paysage, en particulier méditerranéenne, était parfois plus importante que la pente elle-même (HEUSCH, 1970 ; ROOSE, 1994). En sont témoins les ravines remontantes à partir de la résurgence du drainage hypodermique au contact d'une roche imperméable comme les marnes ou les ravines remontantes à partir du coude d'une rivière au pied d'une colline. L'existence de ruissellement et d'érosion intense sur des glacis en pente



- Pour estimer rapidement le facteur topographique (SL) :
- Entrer par la longueur de pente en abscisse (ex. 100 m)
  - Remonter verticalement jusqu'à la courbe de pente (ex. 3%)
  - Suivre vers la gauche horizontalement jusqu'à l'ordonnée (ici SL = 0,4)

Fig. 6

Facteur topographique (d'après WISCHMEIER et SMITH, 1978).

douce indique par contre qu'il n'est pas besoin d'une forte pente (1-2 %) pour déclencher ces phénomènes (FAUCK, 1956 ; FOURNIER, 1967 ; ROOSE 1994).

Dans le modèle USLE, le facteur topographique tient compte essentiellement de la longueur et surtout de l'inclinaison de la pente :

$$SL = (0,76 + 0,53 S + 0,076 S^2) \times L^{0,5}/100$$

où SL est le facteur topographique de l'érosion, L étant la longueur de la pente (en pieds) sans obstacle contre le ruissellement et S l'inclinaison en % de pente.

### *L'érodibilité des sols (K = 0,01 à 0,40)*

La résistance des sols à la battance des pluies se mesure sur des parcelles en jachère nue travaillée depuis plus de 3 ans : l'indice d'érodibilité varie de K = 0,01 pour les sols les plus résistants à K = 0,40 pour les sols moyennement fragiles et 0,70 pour les sols les plus fragiles. Au Maroc, l'érodibilité des sols varie de 0,01 pour les lithosols caillouteux, les vertisols calciques, à 0,2 à 0,3 pour les sols bruns calcaires et les sols rouges fersiallitiques lessivés et 0,3 à 0,4 pour les sols sableux dégradés, décapés sur grès et les horizons de roche altérée limono-sableux (MERZOUK, 1990 ; ROOSE et SARRAILH, 1989 ; ROOSE *et al.*, 1993).

Plus les sols sont riches en cailloux, en matières organiques, en argile saturée en calcium, plus le taux de macro-agrégats stables (> 200 microns), est élevé, plus la couverture pédologique est résistante à l'agressivité des pluies. Plus les sols sont riches en sables fins et en limons, en sodium échangeable ou en sel, plus les agrégats sont instables et le résultat du travail du sol poudreux (hersage et labour à disques), plus vite se forme une croûte de battance et se développent du ruissellement et des pertes en sols. L'amélioration de la structure, de la stabilité des agrégats est longue et difficile car l'apport de MO est rapidement minéralisé dans ces milieux chauds et humides. Pour améliorer le stock de carbone et les propriétés qui en dépendent, il faut jouer sur les rotations produisant beaucoup de résidus de culture et les gérer à la surface du sol. Par ailleurs, on peut réserver les sols les plus stables aux cultures sarclées peu couvrantes et les sols fragiles aux cultures pérennes (légumineuses fourragères, arboriculture, plantations arborées fruitières, fourragères ou forestières).

Sur pentes faibles, le taux de MO et d'argile + R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + taux Ca<sup>+</sup> règlent la sensibilité du sol à la battance, au ruissellement et à l'érosion.

Sur pentes fortes, la stabilité des agrégats a moins d'importance ; le transport des agrégats par les rigoles est important et c'est le taux de saturation du sol par l'eau avant la pluie qui est responsable du ruissellement et par la suite de l'érosion linéaire. La capacité moyenne de stockage en eau varie avec la capacité d'infiltration et de stockage de l'eau : pour mouiller 10 mm de sol riche en kaolinite, il faut environ 1 mm de pluie, 4 mm de pluie sur argile gonflante (smectites) et 10 mm sur la matière organique. D'où l'intérêt d'entretenir le niveau de carbone du sol (donc de l'agrégation et de l'infiltration) près de son niveau optimal en surface par des systèmes de culture qui produisent beaucoup de biomasse, une abondante litière en surface et des techniques culturales qui ne perturbent pas trop cette litière précieuse (ROOSE, 1994).

Les pratiques culturales antiérosives ( $P = 1$  à  $0,1$ )

Le labour a temporairement (pour des averses de moins de 120 mm) une influence favorable sur l'infiltration des eaux de pluie tant qu'on évite la création d'une pellicule de battance. Un labour grossier ou un billonnage en courbe de niveau améliore la rugosité du sol qui va stocker les eaux et sédiments : le facteur P jusqu'à 10 % de pente varie de 0,1 à 0,7 selon la pente et l'importance de la rugosité de la surface du sol. Mais dès que les pentes dépassent 15-25 % et 30 à 100 m de longueur, le facteur P du billonnage en courbe de niveau tend vers 1 et la rugosité perd de son efficacité. Sur faible pente, le billonnage cloisonné peut réduire au 1/10 les risques d'érosion : cependant la surface du sol se dégrade (accumulation de sables stériles) en même temps que les MO du sol minéralisent rapidement.

Récemment, l'intérêt du « labour de conservation » (qui préserve au moins 30 % de la surface couverte par les résidus de culture ou les adventices basses) et surtout du semis direct sous litière (découpage d'un sillon étroit où sont enfouis les engrais, pesticides et graines) a beaucoup progressé en Amérique latine et en Amérique du Nord. Tant que ces préparations du sol laissent en surface une

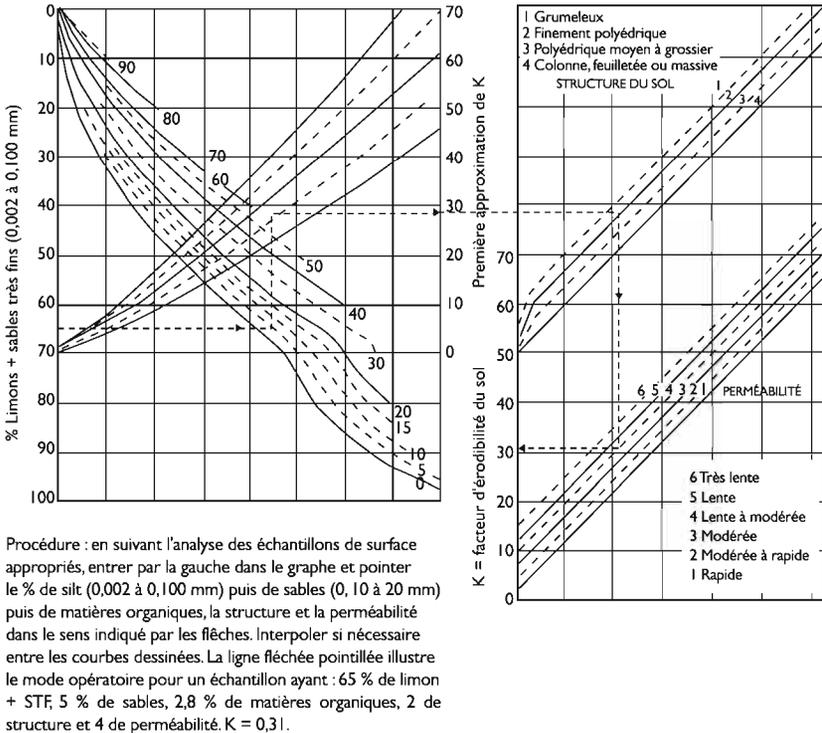


Fig. 7

Nomogramme permettant d'évaluer rapidement le facteur K d'érodibilité des sols (d'après WISCHMEIER, JOHNSON et CROSS, 1971).

litière couvrant la majorité de la surface du sol, les pertes en terres et en eau sont profondément réduites (ROOSE et CAVALIÉ, 1988 ; MRABET *et al.*, 2004 ; DIALLO, BOLI et ROOSE, 2008).

## La lutte contre l'érosion en nappe

La lutte contre l'érosion en nappe peut être abordée soit par l'absorption d'une partie de l'énergie des pluies soit en améliorant les conditions de résistance du milieu.

**Couvrir le sol** : il s'agit avant tout de développer une agriculture intensive couvrant le sol le mieux possible : semis dense, précoce, culture mélangée, agroforesterie, plantes rampantes entre les plantes dressées, avec plantes de couverture, légumineuses intercalaires, gestion des adventices herbicides et laissées sur place, gestion des résidus de culture sur la surface du sol (mulch), apport de paillage ou mulch de cailloux accumulés au-dessus du sol...

La fertilisation raisonnée et le paillage peuvent aussi favoriser une croissance rapide et une bonne couverture du sol. Étaler en surface un mulch de cailloux est aussi très efficace pour réduire l'énergie des pluies et du ruissellement.

**Améliorer la porosité et la structure du sol** : le travail du sol améliore temporairement la capacité d'infiltration du sol, et l'enracinement profond mais après quelques averses ( $P = 60$  à  $120$  mm), le sol nu s'encroûte et le ruissellement se développe de même que l'érosion. On tend aujourd'hui à réduire le travail du sol à la ligne de plantation et de laisser couvert le reste de la surface cultivée : la faune qui vit de la litière va assurer une bonne macroporosité. L'apport de MO est essentiel pour structurer le sol et maintenir une bonne agrégation, mais le problème est de développer des systèmes de production qui maintiennent le sol couvert durant les pluies les plus importantes. Malheureusement, on ne dispose jamais de MO en masse et qualité suffisantes. Dans certains cas, il est possible d'améliorer la texture de l'horizon superficiel en labourant profond et en remontant des horizons limono-argileux ou en rapportant des sédiments fins déposés en bas de pente ou dans les petits barrages collinaires.

**Réduire le pourcentage et la longueur de pente** : pour ralentir le ruissellement et capter les terres en suspension. Les talus, haies, cordons de pierres sont plus efficaces que les fossés car ils réduisent à la fois la longueur et le pourcentage de pente tout en transformant le versant en une série de bandes concaves.

**Améliorer la rugosité de la surface du sol** : sur les pentes  $< 15\%$ , l'orientation suivant les courbes de niveau du labour et du billonnage peut stocker l'eau des premières averses, mais après  $30$  à  $120$  mm de pluie, les rugosités sont décapées, les croûtes de battance s'étendent et le ruissellement se développe. On peut voir dans l'encadré 1 comment les sociétés paysannes adaptent l'orientation des billons en montagne en fonction des risques climatiques (ROOSE, 1994). Par contre, la rugosité des résidus de cultures, des adventices séchant en surface et le paillage sont plus efficaces et durables pendant plusieurs mois voir plusieurs saisons culturales (KHAMSOUK et ROOSE, 2003). Dans la réalité, c'est la combinaison des facteurs qui parvient à réduire la nocivité de l'énergie des pluies sur des cultures intensives.

Encadré 1

Orientation des billons en fonction de la pente et des conditions climatiques (d'après ROOSE, 1994).

D'après le modèle USLE (WISCHMEIER et SMITH, 1960, 1978)

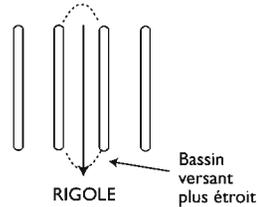
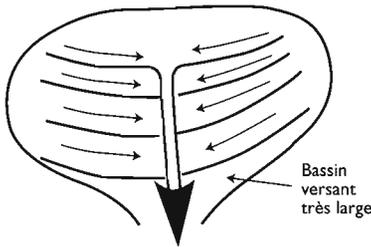
**Sur pente faible :**

- si billonnage cloisonné.....P = 0,1
- si billonnage en courbe de niveau.....p < 2 %.....P = 0,2
- < 8 %.....P = 0,3
- < 16 %.....P = 0,6
- < 25 %.....P = 0,9

**Sur pentes fortes (> 25 %)**, les effets de la rugosité/billonnage du sol sur le ruissellement diminuent fortement car la capacité de stockage de l'eau diminue avec la pente.

Par contre, les risques de débordement et de glissement de terrain augmentent.

- Lors des pluies faibles, l'érosion sera plus faible si le billonnage suit les courbes de niveau.
- Mais lors des fortes averses, le ruissellement finit par déborder et créer des brèches par où vont s'écouler toutes les eaux retenues derrière les billons : ces brèches peuvent se transformer en ravine plus difficile à gérer que les petites rigoles qui drainent les sillons orientés dans le sens de la pente (bassin drainant plus petit).



**Au Pérou**

À des altitudes de 1 500 à 4 000 m, les paysans tentent d'adapter les façons culturales aux conditions climatiques locales saisonnières.

Si la saison des pluies est :

- tardive, le billonnage est partiel

- très humide, les billons seront construits parallèlement à la pente,



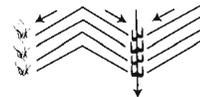
- très sèche ou tardive, ils seront perpendiculaires,



- incertaine, ils seront travaillés en patchwork,



Si la pente est très forte et les sols pauvres, ils seront travaillés en chevrons.



**Au Cameroun**

En pays bamiléké vers 1 000 m d'altitude on peut observer :

- sur pente faible, de gros billons en courbe de niveau,
- sur pente forte, de gros billons courts dans le sens de la pente en quinconce.



Leur efficacité dépend du couvert végétal, des cultures associées et des herbes sarclées disposées dans les sillons.

En conclusion, il est délicat de conseiller l'orientation des billons :

- sur faible pente, le billonnage isohypse cloisonné est très efficace,
- sur forte pente, s'il y a des risques de glissement, on préfère des billons obliques ou des billons courts en quinconce bien couverts dans le sens de la pente.

# L'érosion linéaire en rigoles et ravines

## Les causes et les processus

Lorsque les pluies sont abondantes et la pente forte ou longue, le ruissellement en nappe se hiérarchise, se concentre en filets entre les touffes végétales, prend de la vitesse et développe une énergie propre capable de creuser des griffes profondes de quelques centimètres ou des rigoles de 10 à 50 cm de profondeur à la surface du sol, avec des zones d'érosion et des zones de dépôts des particules les plus grossières. Ce sont les forces de cisaillement de l'eau chargée de sables et graviers qui arrachent des agrégats, des mottes et des cailloux au fond et sur les flancs des rigoles. La résistance d'un profil de sol au ruissellement sera donc différente de « l'érodibilité » d'un sol à la battance des gouttes de pluie.

La naissance du ruissellement peut s'expliquer par trois théories (fig. 8).

*Théorie de Horton sur l'intensité des pluies.* Le ruissellement naît quand l'intensité de la pluie dépasse celle de la capacité d'infiltration des horizons superficiels du sol. Comme la capacité d'infiltration du sol décroît au cours des pluies, à mesure que la porosité de surface se sature ou se referme (croûte de battance), il arrive un moment où l'intensité de la pluie dépasse celle de l'infiltration (c'est le temps d'imbibition) : l'excédent s'accumule et circule en filets qui acquièrent une énergie capable d'entailler le sol et de charrier des particules grossières telles que des sables et des graviers. Cependant les hydrologues ont montré qu'il est rare d'obtenir une bonne corrélation entre le volume ruisselé dans un bassin versant et l'intensité des pluies. On a donc cherché une autre explication...

*Théorie de la saturation du sol.* Le ruissellement peut naître lors de pluies peu intenses mais suffisamment longues pour saturer les horizons superficiels du sol. Au cours d'une simulation de pluies de longue durée, il advient que le ruissellement se stabilise après quelques dizaines de minutes puis augmente à nouveau jusqu'à atteindre un nouveau plateau d'infiltration stabilisée très faible : c'est le cas des pluies de plus de 100 mm sur un horizon labouré sur une semelle de labour. Le premier plateau correspond à la capacité d'infiltration de la pellicule de battance de la surface du sol et le second à la très faible capacité d'infiltration de la semelle de labour, une fois l'horizon labouré saturé. Toute goutte qui tombe sur ce milieu saturé ruisselle quelle que soit l'intensité de la pluie.

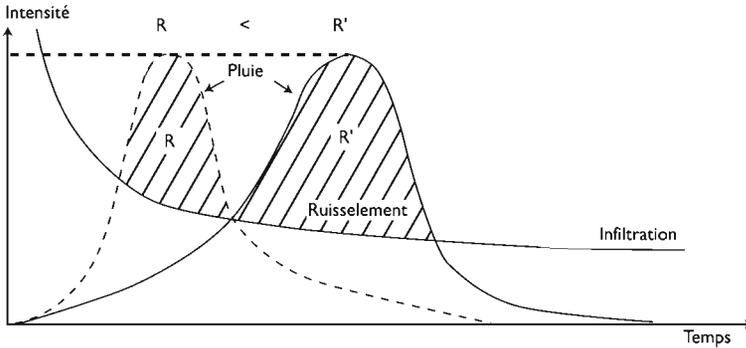
*Théorie de la contribution partielle de la surface.* Dans la nature, le ruissellement ne se développe pas sur toute la surface d'une parcelle ou d'un bassin mais seulement sur une partie, par exemple sur des surfaces nues, tassées, fermées par une croûte de battance, ou au fond d'une vallée où la nappe phréatique, nourrie par tout le bassin, va saturer une zone marécageuse (COSANDEY et ROBINSON, 2000).

En fonction de l'origine du ruissellement, la lutte antiérosive devra s'organiser différemment.

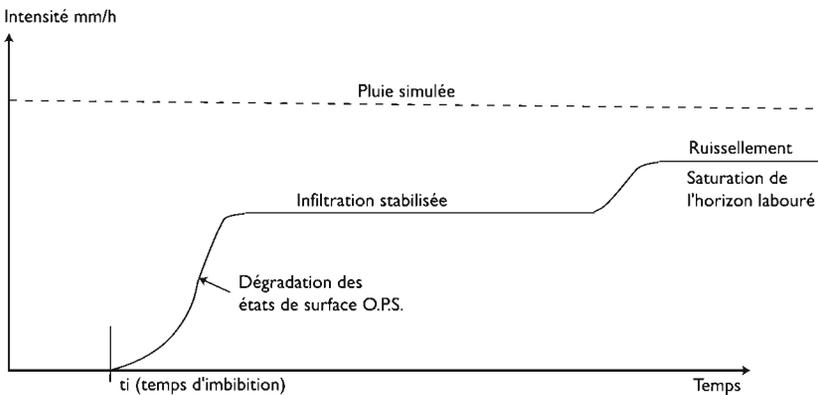
Elle devra veiller à protéger la surface du sol (paillis, plantes de couverture, mulch de cailloux) si le ruissellement se développe suite à la formation d'une

pellicule de battance, ou bien améliorer le drainage si les horizons profonds sont saturés. Dès lors on peut comprendre les nombreux échecs de LAE si on se contente d'appliquer partout les mêmes recettes de lutte antiérosive.

**Si intensité pluie > infiltration (Horton)**



**Si la porosité du sol est saturée**



**Contribution localisée du ruissellement**

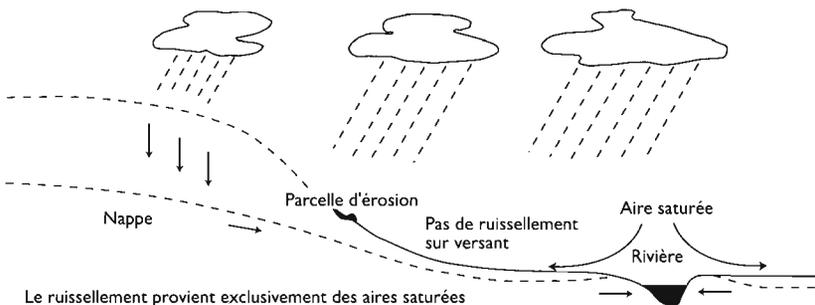


Fig. 8  
Trois théories expliquant la naissance du ruissellement.

## Les formes d'érosion linéaires et les indicateurs

### *Les griffes et rigoles*

L'érosion linéaire dépend donc du volume ruisselé et de son énergie. Celle-ci décape des griffes (profondeur de quelques centimètres) ou des rigoles (profondeur de 5 à 30 cm) à parois inclinées ou sub-verticales dans la partie la plus meuble du profil pédologique puis s'étale lorsque la rigole atteint un horizon plus cohérent (semelle de labour, horizon plus argileux, enrichi en fer ou silice).

On parle de « nappe ravinante » lorsque les creux ne dépassent pas 10 à 20 cm de profondeur mais que la largeur atteint plusieurs mètres.

Dès que la vitesse du ruissellement diminue (diminution de la pente, augmentation de la rugosité de la surface, paillage, litières, touffes d'herbes, racines traçantes), ces rigoles superficielles s'estompent en abandonnant un mince cône de déjection.

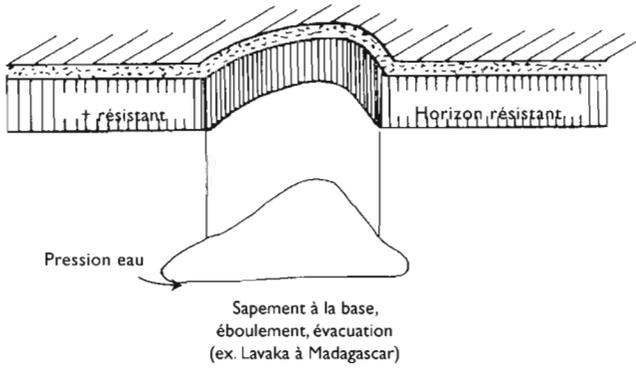
### *Les ravines et le ravinement généralisé*

On parle de ravine lorsque le creux dépasse 50 cm de profondeur et ne peut plus être effacé par les techniques culturales normales. On peut distinguer en pratique des petites ravines dont le lit est encombré de végétation herbacée et arbuscive et qu'on pourra fixer rapidement par des méthodes biologiques (petits seuils en grillage et plantations d'herbes au centre et d'arbres au pied des berges). Les ravines moyennes taillent la couverture pédologique jusqu'à la roche altérée de telle sorte qu'il faut d'abord fixer le fond des ravines et y accumuler 0,5 à 1 m de sédiments pour les végétaliser. Par contre, dans les grandes ravines torrentielles, qui peuvent s'étaler sur plusieurs kilomètres, le canal central est tapissé de blocs rocheux, témoins d'un charriage de pierres important qui empêchent la fixation de toute végétation. Ces fonds mobiles devront être fixés par des seuils bétonnés et des épis en gabion (LILIN et KOOHAFKAN, 1987 ; MURA 1990).

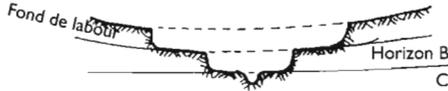
Il est intéressant de noter la forme de ces ravines (fig 9). Certaines ont des berges en V à pente constante jusqu'au fond : c'est le cas sur des matériaux tendres et homogènes comme les marnes, argilites, schistes tendres, grès tendre. D'autres ont des berges verticales jusqu'au fond car elles traversent des couches plus cohérentes (horizon B enrichi en argile de lessivage) au-dessus qu'en dessous : c'est le cas des « lavaka » fréquentes à Madagascar, qui évoluent par effondrement des flancs des ravines sous la pression de la nappe phréatique. Enfin, dans certains milieux semi-arides, où on trouve fréquemment des argiles gonflantes (vertisols, marnes gypseuses), des ravines en tunnel progressent par effondrement à partir des cavités érodées par les eaux de drainage circulant rapidement dans les fissures du sol et les poches de dissolution du gypse.

Sur les versants des collines, ces ravines sont hiérarchisées et leur bassin versant est bien défini. Leur rôle est d'évacuer rapidement les excès d'eau de ruissellement : si on tente de les reboucher, un autre drain va devoir se former sur la trace de l'ancienne ravine ou tout à côté. Il faut donc d'abord stabiliser la ravine, réduire le ruissellement de son bassin versant, avant de réduire le volume de la ravine.

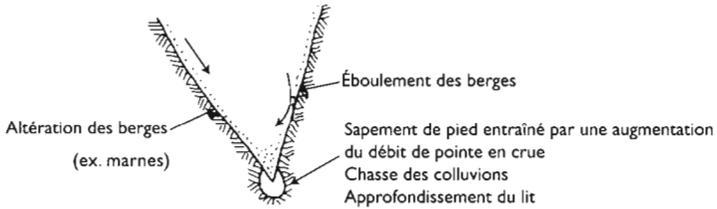
**Sur matériau hétérogène ravine en U**



**En grande culture**



**Sur matériau homogène : flancs de ravine en V**



**Sur argiles gonflantes, gypse et matières solubles : ravine en tunnel**

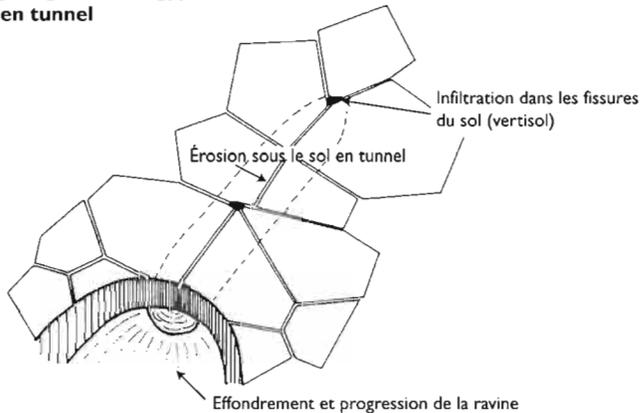


Fig. 9

Typologie des ravines : ravines en U (lavaka), en V, en tunnel (d'après ROOSE, 1994).

La perte en terre d'une zone creusée de rigoles atteint plusieurs dizaines de t/ha/an et l'érosion des ravines 100 à > 300 t/ha/an : la présence de ces indicateurs montre une nette augmentation des risques de ruissellement et d'érosion.

Le stade ultime de l'érosion linéaire est communément appelé « *badland* » (= mauvaise terre, ce qui n'est pas très précis) ou plus scientifiquement « ravinement généralisé » quand toute la surface initiale de la colline a été décapée. Cette forme est fréquente sur roches marneuses après défrichement surtout si elles sont riches en gypse et autres sels solubles : tous les processus d'érosion y sont présents mais le ravinement domine largement.

### Les effets de l'érosion linéaire

L'érosion en rigole décape une tranche de sol de façon non sélective. Quand le labour efface ces rigoles il étale sur toute la surface ce décapage linéaire non sélectif et accélère la fonte de l'horizon humifère. La charrue va gratter dans l'horizon sous-jacent et remonter des matériaux moins riches en MO, mais souvent plus riches en argile ou en cailloux. Il reste une ondulation de la surface qui va servir de drain pour les pluies suivantes.

Il arrive que les rigoles évoluent en ravines : il n'est généralement plus possible de les effacer par de simples techniques culturales sans laisser une ondulation du versant où va s'écouler préférentiellement le ruissellement issu des pistes, des parcours ou des champs en amont. La surface ravinée constitue une perte de surface cultivable (SAU) qui va s'étendre latéralement : en outre, les ravines gênent la circulation du bétail, des véhicules et des outils et fragmentent la surface à cultiver. En aval, la ravine dépose une masse de matériaux non sélectionnés souvent sableux ou caillouteux qui dégradent les vallées. Les grandes ravines rabattent aussi la nappe phréatique et dessèchent les bas-fonds. L'érosion linéaire est donc particulièrement nocive pour le développement d'une agriculture intensive durable.

### Les facteurs modifiant le ravinement

L'érosion linéaire dépend de la masse de ruissellement (M) et du carré de sa vitesse ( $V^2$ ) au niveau des parcelles et de la masse, de la force d'attraction (G) et de la différence d'altitude depuis le haut jusqu'au bas du bassin versant (H) ; énergie linéaire =  $1/2 M \times V^2$  à la parcelle ou =  $1/2 M \times G \times H$ , sur bassin versant.

Le volume du ruissellement dépend de l'intensité et du volume des pluies, de l'humidité du sol avant la pluie, de la surface du bassin drainé par une rigole ou ravine, de l'état (fermé, ouvert, tassé, couvert) de la surface du sol, des activités de la faune, de la pente et de la rugosité du sol et du coefficient de ruissellement de chaque zone de ce bassin.

La vitesse du ruissellement dépend de la pente et de la rugosité du canal, de l'épaisseur de la lame ruisselée et de la hauteur de chute de l'eau dans la ravine. D'après M. STOCKING (1980), la vitesse d'avancement des ravines sur des sols alluviaux salifères fragiles homogènes du Zimbabwe dépend du volume des pluies (P en mm), de la surface du bassin et de la hauteur de chute (H) :

$$\text{érosion par ravines} = 6,87 \times 10^{-3} P^{1,34} \times S^1 \times H^{0,52}$$

On ne peut modifier l'intensité des pluies, mais on connaît les versants qui reçoivent les vents humides et les adrets généralement plus secs et moins bien protégés par la végétation.

### *Le couvert végétal*

Le couvert végétal protège la surface de la battance, prolonge ainsi la période de forte infiltration et réduit le volume ruisselé. De même, la litière entretient les activités perforatrices de la faune et absorbe une grosse partie de l'énergie du ruissellement. Enfin, les racines superficielles, les adventices et les tiges des graminées augmentent la rugosité et ralentissent le flux. La végétation et la litière peuvent aussi absorber une partie des pluies (1 à 10 min), mais ce n'est qu'une faible part des grosses averses qui vont provoquer un fort ruissellement et les transports de terre érodée. De plus, dans les ravines, les touffes d'herbes ou arbustes peuvent capter une bonne part des sédiments grossiers et ralentir le ravinement (REY, 2002). Le parcours et le pâturage des champs entraînent un tassement des premiers centimètres du sol et une augmentation sensible du ruissellement (SABIR *et al.*, 1996). Les jachères, le matorral pâturé et les parcours sont généralement une source de ruissellement abondant et de ravines dans les champs situés en aval (LAOUINA *et al.*, 2008).

### *Le sol*

Le sol intervient à différents niveaux. L'humidité du sol augmente le ruissellement et réduit sa résistance à l'abrasion. La rugosité de sa surface, fonction des techniques culturales, réduit la vitesse du ruissellement et augmente le volume d'eau stocké avant le début du ruissellement. Le billonnage cloisonné et le maintien en surface d'un mulch de résidus de cultures ou les adventices peuvent aussi réduire fortement le ruissellement issu d'un champ. La texture du sol peut intervenir. On pense généralement que les sols sableux sont plus perméables que les sols argilo-limoneux, sauf si ceux-ci sont bien structurés. La stabilité de la structure a une incidence sur la résistance à la battance, donc sur la fermeture de la porosité de la surface et sur la pluie d'imbibition. Les cailloux peuvent avoir deux influences opposées. Les cailloux posés sur des surfaces ouvertes vont les protéger de la battance et prolonger l'infiltration. Si, par contre, les cailloux sont inclus dans la masse ou dans la croûte de surface, ils vont augmenter le ruissellement (VALENTIN et FIGUEROA, 1987 ; POESEN, 1989 ; ROOSE, 1994). Si les sols sont tassés, ils seront moins perméables mais plus résistants à l'énergie des pluies et du ruissellement. Le pâturage des jachères peut donc tasser le sol qui, une fois labouré, fournira des mottes plus denses et plus résistantes.

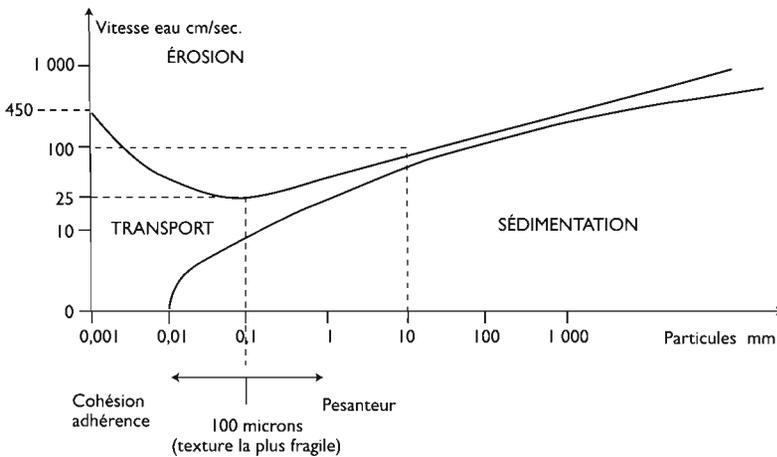
### *La pente*

Dans le domaine des pentes faibles (< 2%), l'inclinaison des pentes augmente le volume ruisselé, mais sur forte pente on observe un meilleur drainage interne et la formation plus lente des pellicules de battance, lesquelles sont détruites au fur et à mesure de leur formation par l'énergie du ruissellement (HEUSCH, 1970 ; ROOSE, 1973, 1977, 1994 ; VALENTIN *et al.* ; LAOS, 2004).

La longueur de pente devrait aussi intervenir car le refus à l'infiltration devrait s'accumuler tout au long du versant. Cependant, il a été constaté dans de nombreux cas qu'il y a interaction entre l'effet de la longueur de la pente, la rugosité et la porosité des sols le long du versant (WISCHMEIER, 1966 ; ROOSE, 1994). Pour réduire l'érosion en ravine, on interviendra sur la pente du canal en divisant celui-ci en secteurs à pente faible (pente de compensation de 6 à 25 % en fonction de la roche locale) et secteurs à pente raide renforcée par des seuils en pierres, grillages, touffes d'herbes ou d'arbustes.

### L'érodibilité des terres

F. HJULSTRÖM (1935) a étudié l'érodibilité de matériaux terreux de taille croissante en fonction de la vitesse des écoulements dans un canal. Il a montré que l'érosion démarre pour une vitesse du fluide de 25 cm/seconde lorsque le matériau des berges est le plus sensible (100 microns = sables fins plus lourds que les silts, matériaux les plus sensibles à l'érosion en nappe) : pour déplacer les sables plus lourds ou les argiles plus cohérentes, il faut des vitesses supérieures.



Ce diagramme de Hulström comporte plusieurs informations.

1. Les matériaux les plus sensibles à l'arrachement par le ruissellement ont une texture voisine des sables fins (100  $\mu$ ). Les argiles sont plus cohérentes et les matériaux plus grossiers sont plus lourds et exigent une vitesse supérieure de l'eau pour être arrachés. Noter que pour le modèle USLE de Wischmeier et al., 1971, les sols les plus érodibles par la battance des pluies sont riches en limons et sables fins.
2. Tant que les écoulements s'effectuent à une vitesse faible (< 25 cm/seconde), ils ne peuvent éroder les particules du sol. Pour éviter le ravinement, il faut donc étaler et ralentir le ruissellement. D'où la justification de la pratique de la dissipation de l'énergie du ruissellement.
3. Le transport des argiles et limons s'effectue facilement, même à faible vitesse. Mais pour les matériaux plus grossiers que les limons, on passe très vite de la zone d'érosion à la zone de sédimentation. Or les sols tropicaux ont généralement un horizon sableux en surface. On comprend donc pourquoi les fossés d'évacuation des eaux de ruissellement sont soit érodés s'ils sont trop étroits ou trop pentus, soit ensablés par des matériaux qui n'arrivent pas à circuler, par exemple en fin d'averse. C'est une des raisons pour lesquelles les fossés de diversion ne donnent pas satisfaction dans les pays tropicaux. En absence d'entretien, le ruissellement déborde et provoque des ravinements qui ruinent les versants en cinq à dix ans.

Fig. 10

Diagramme de Hjulström (1935). Effets de la texture du sol et de la vitesse de l'eau sur l'érosion, le transport et la sédimentation dans un canal.

Lorsque la vitesse du ruissellement est inférieure à 25 cm/s, on peut observer le dépôt des sables grossiers et des graviers. Les berges constituées d'argile et de cailloux sont bien moins fragiles que les berges sableuses. Le ruissellement en nappe, très sensible à la rugosité de la surface du sol, dépose des nappes de sable/graviers dès qu'il est freiné par les plantes, les cailloux ou les mottes. Dès que la vitesse du ruissellement augmente, l'érosion linéaire n'est plus sélective et décape tout le sol y compris des cailloux dont la taille dépend de sa vitesse, donc de la pente du sol. Hjulström a aussi montré que le domaine de transport des sables et graviers est très étroit, ce qui veut dire que dès que le ruissellement diminue, les sables et graviers se déposent et encombrant les lits des oueds et vallées sèches.

### **La lutte contre l'érosion linéaire**

Pour lutter contre le ravinement, il faut réduire la vitesse du ruissellement et progressivement son volume.

#### *Aux champs*

Il est possible de réduire le ruissellement et de freiner l'érosion par l'adaptation des techniques culturales et l'extension du couvert végétal.

Sur des sols tassés, le labour profond permet un meilleur enracinement, un meilleur stockage de l'eau et donc un meilleur développement du couvert végétal, lequel entraîne à son tour une réduction du ruissellement et de l'érosion. Si le sol est en bon état physique, une autre approche est possible qui consiste au contraire à réduire le travail du sol au minimum (dent sous la ligne de plantation), à laisser le sol toujours couvert (légumineuse de couverture, résidus de culture, paillage, gestion sur place des adventices) et à favoriser les activités de la faune perforatrice pour améliorer l'infiltration. Sur les faibles pentes, le billonnage isohypse ou cloisonné peut aussi améliorer l'infiltration. É. ROOSE (2008) a montré que les cordons de pierres, les haies vives, les terrasses progressives ou radicales peuvent aussi réduire le ruissellement et l'érosion de 30 à 50 %.

#### *La fixation biologique des petites ravines (LILIN et KOOHAFKAN, 1987)*

Il suffit souvent de ne pas cultiver ces petites surfaces mais de maintenir ces terrains tassés sous prairie, d'y dresser des cordons de pierres et des haies vives assez solides pour réduire la vitesse du ruissellement. Dans les zones périurbaines intensément cultivées, on peut creuser des étangs d'orage ou de petits barrages collinaires pour écrêter les crues, intercepter les sédiments boueux : cependant cette technique est coûteuse car il faut régulièrement curer ces petits réservoirs.

Si le ravinement n'a pas décapé toute la terre fine jusqu'à la roche, et qu'une partie de la végétation, bien que dégradée, tient encore, on peut tenter de restaurer la végétation naturelle et de l'enrichir par des espèces vigoureuses et utiles (canne de Provence, bambous, canne à sucre, herbes fourragères, laurier-rose, carex, opuntia, etc.) ou des arbres fruitiers (oliviers, amandiers, caroubiers, fruitiers derrière de petits seuils ou cuvettes protégées par des pierres), en choisissant les espèces présentes sur le site ou adaptées au microclimat.

### *La stabilisation des ravines moyennes*

Si le fond de la ravine moyenne est presque complètement décapé et la végétation arrachée, il est indispensable dans un premier temps de fixer le fond de ravine par une série de seuils qui vont ralentir le ruissellement et capter une partie des sédiments. Au bout de quelques précipitations, ces seuils seront remplis de sédiments ; il faudra alors, soit construire une seconde série de seuils en amont des premiers pour relever le fond de ravine et mieux fixer les berges, soit végétaliser ces sédiments (planter des arbres sur les berges et des herbacées souples au centre de la ravine) pour laisser passer le flux d'eau tout en protégeant les dépôts. Il faut éviter de planter des arbres isolés au centre du flux lequel tourbillonne autour de cet obstacle et le déterre. Comme l'État n'a pas les moyens humains et financiers d'entretenir les milliers de kilomètres de ravines petites et moyennes, il faut envisager avec les paysans riverains d'y planter des ensembles de plantes utiles (fruits, fourrages, bois de feu ou de construction) et de conclure des contrats leur permettant d'exploiter les fourrages et fruits divers sur ces terres, à condition d'entretenir les seuils et de tenir le bétail à l'écart de l'aménagement (ROOSE, 1994).

### *La restauration des grosses ravines torrentielles*

Lorsque le fond des grosses ravines est couvert de roches et de grosses pierres, il est évident qu'aucune plante ne peut résister au débit de pointe et aux chocs des galets en migration. Il faut impérativement fixer le fond avec des seuils bétonnés ou des gabions avec des grosses pierres maçonnées. Ces aménagements très coûteux de génie civil (100 € le m<sup>3</sup> de gabion) dépassent les possibilités techniques des paysans : ils devraient faire appel à des services techniques spécialisés de l'État.

L'originalité de ces techniques de lutte c'est, non seulement de bloquer la progression de l'érosion en ravine, mais de stocker quelques dizaines de mètres cubes de sédiments derrière chaque seuil et de valoriser l'eau stockée dans les macropores des sédiments en produisant en saison sèche du fourrage vert et des arbres fruitiers qui peuvent inciter les paysans à s'investir dans la protection des ravines de montagne. En Algérie, ces ravines productives ont été appelées « oasis linéaires ».

## L'érosion en masse

Alors que l'érosion en nappe s'attaque à la surface du sol, le ravinement aux lignes de drainage du versant, les mouvements de masse concernent un volume à l'intérieur de la couverture pédologique et des formations géologiques tendres. Nous ne présenterons ici que les principes généraux de prévention et de lutte contre les mouvements de masse utilisables par les paysans. Seul l'État dispose des moyens techniques, humains, financiers et légaux, pour maîtriser

les problèmes de glissements de terrain, souvent catastrophiques et pour imposer les restrictions d'usage aux terres soumises à des risques majeurs de glissement de terrain. Consulter les ouvrages du Cemagref (1984-1985) et de Heusch (1988) pour les informations techniques plus précises sur le génie civil à mettre en œuvre.

## **Érosion aratoire lente**

### *Cause et processus*

Dès qu'un outil aratoire découpe une masse de sol et la déplace sur le champ, il y a érosion. Par gravité et par simple poussée des instruments aratoires, ce type d'érosion décape les horizons superficiels du sol des hauts de pente et des zones convexes des versants, pousse ces masses de terre arable vers le bas de la topographie où elles s'accumulent, soit en talus en bordure des parcelles, soit en colluvions concaves de texture voisine des horizons d'origine : il n'y a donc pas d'érosion sélective. L'importance de l'érosion aratoire dépend du type d'outil, de la profondeur du travail, de la forme et de l'inclinaison de la pente, de la fréquence du travail et de son orientation. Chaque labour à la charrue déplace environ 10 t/ha et chaque sarclage mécanique environ 1 t/ha.

En Équateur, G. DE NONI et M. VIENNOT (1991) ont été amenés à remonter une murette de 1,3 m en 24 mois (soit 40 t/ha/an). En Côte d'Ivoire, Rwanda et Burundi, É. ROOSE a observé la formation de talus de 1 m en 4 à 5 ans, que ce soit en culture motorisée ou manuelle (houe) (ROOSE et BERTRAND, 1971). En Algérie, après 30 années de culture d'un verger sur une pente de 35 % près de Médéa, les collets des arbres se retrouvent 30 cm plus haut que la surface du champ. Même si on additionnait l'érosion sur un sol nu pendant 30 ans, on ne dépasserait pas 3 cm, tandis que la reptation de la couverture pédologique par le travail du sol (2 labours et deux pulvérisations/an) atteindrait 27 cm en 30 ans, soit 13,5 t/ha/an.

### *Les indicateurs et les effets de l'érosion aratoire*

Parmi les indicateurs, on note :

- les taches aux couleurs claires et des horizons humifères moins épais en haut de versant ; ceux-ci peuvent s'expliquer par l'érosion en nappe, l'érosion aratoire et une altération moins rapide, le terrain étant plus sec, mieux drainé ;
- l'empâtement du contact versant/plaine ;
- la formation et la croissance des talus dans les paysages cultivés ;
- le comblement de certaines ravines sur versant (REVEL, 1989) ;
- le billonnage et la formation de planches sur les versants ou de terrasses au bulldozer ;
- les filons de quartz sapés à hauteur du fond de labour ;
- les cailloux mélangés à l'horizon humifère en bas de pente.

On a souvent confondu les effets de l'érosion en nappe et de l'érosion aratoire, tous deux se traduisant par le décapage de l'horizon humifère et l'apparition de taches plus claires sur les versants (WASSMER, 1981 ; NYAMULINDA, 1989).

Comme toute érosion en masse, l'érosion aratoire n'est pas sélective, ni à l'arrachement, ni au dépôt dans les talus ou colluvions de bas de versant. Par contre, elle est responsable du glissement discret mais très efficace de la couche labourée du sommet des versants et des parcelles vers la limite inférieure du champ (talus ou bourrelet) ou au contact concave colluvial versant/vallée. Il participe activement à l'évolution de la pente des terrasses progressives.

### *Les facteurs de l'érosion aratoire*

L'intensité du déplacement de terre dépend :

- De l'intensité du travail du sol.
- Du type d'outil : la charrue à soc déplace plus de terre que le chisel (Revel *et al.*, 1989) et plus que la charrue à disques, ou que la herse. L'araire tracté lentement par les animaux éclate la surface du sol plus qu'elle ne la retourne : elle déplace moins la terre que la houe ou la charrue. Cependant, sur forte pente, l'araire a tendance à glisser vers le bas des champs en entraînant les mottes soulevées.
- De la fréquence des passages : en zone méditerranéenne semi-humide, on observe souvent deux labours, un hersage et deux sarclages. En zone semi-aride, il y a un labour souvent rapide et superficiel (disques) suivi d'un hersage. Là où on dispose d'un tracteur, on gratte rapidement la croûte superficielle. Plus la vitesse de circulation est rapide et plus les transports de terre sont importants.
- De l'orientation du travail : le travail du sol peut être effectué selon les courbes de niveau, avec le versoir orienté vers l'aval (on repousse la terre vers le bas, mais on améliore l'infiltration) ou vers l'amont (plus difficile à réaliser). Le plus souvent, sur les pentes de plus de 15 %, le tracteur est obligé de labourer du haut vers le bas du champ. Par contre, dans les pays tropicaux, les travaux manuels s'effectuent à la houe du bas vers le haut du champ. Il est très rare que la terre soit remontée par les outils : par contre, dans les vignobles et sous certaines conditions, le paysan remonte la terre déposée dans des mares au pied du versant. J.-C. REVEL *et al.* (1989) ont constaté que l'aller et le retour des outils peut réduire considérablement la migration mécanique des terres labourées.
- De l'inclinaison de la pente : plus la pente est forte, et plus les mottes déplacées par la houe ou le tracteur roulent loin vers le bas de la pente. En montagne, les hauts de pente, les ruptures de pente et les sommets des collines sont souvent décapés. Le décapage s'accélère sur les versants convexes et ralentit sur les bas de pentes concaves où s'amassent des colluvions : celles-ci seront transformées progressivement en terrasses irriguées.

### **Les glissements rapides en planches ou en coups de cuillère**

#### *Causes et processus*

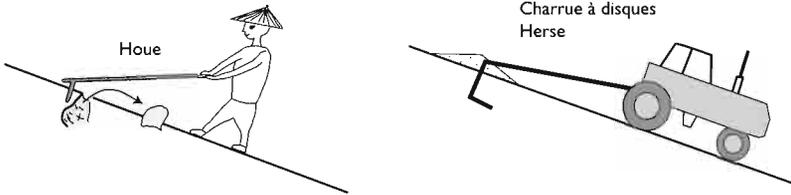
Les glissements de terrain en planche sont des décollements brutaux d'une couche de sol perméable plus ou moins épaisse, saturée d'eau, celle-ci exerçant une pression hydrostatique sur un horizon plus compact, souvent la roche altérée ou un niveau de mica, servant de plan de glissement. Ce phénomène est très courant sur pentes fortes dans les zones tropicales humides sur les schistes dont le

pendage est parallèle à la topographie, sur des cendres volcaniques couvrant des granites ou des roches sédimentaires (marnes ou argilites) ou métamorphiques (gneiss et surtout schistes micacés) en voie d'altération. Ce phénomène est très brutal.

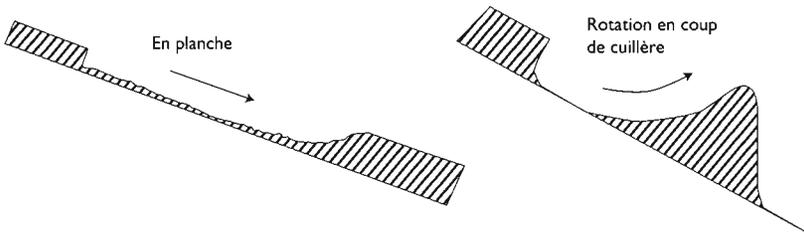
La cause des mouvements de masse rotationnels est à rechercher dans le déséquilibre entre d'une part, la masse de la couverture pédologique, l'eau qui s'y trouve stockée et les végétaux qui la couvrent et d'autre part, les forces de frottement de ces matériaux sur le socle de la roche altérée en pente sur lequel ils reposent. La pente limite où se développent ces glissements rapides est de 40 à 60 %. Ce déséquilibre peut se manifester progressivement sur un ou plusieurs plans de glissement suite à l'humectation de ce plan, soit par dépassement du point d'élasticité de la couverture pédologique (déformation avec rupture), soit par dépassement du point de liquidité (fig. 11).

### Érosion aratoire

Descente progressive des terres par des outils de travail du sol



### Glissements de terrain



### Coulées boueuses

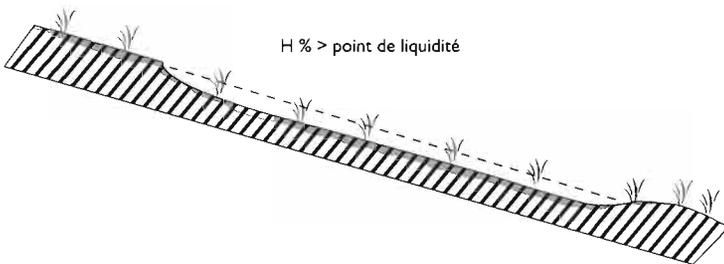


Fig. 11

Diversité des formes d'érosion en masse (d'après ROOSE, 1994).

Ce déséquilibre est généralement brutal et associé à des secousses sismiques ou à des averses orageuses abondantes sur des sols plus profonds que pour les mouvements en planches (TEMPLE et RAPP, 1972). La circulation rapide de l'eau dans des fissures ou des mégapores jusqu'à la roche pourrie provoquerait une pression hydrostatique capable de repousser les horizons structurés du sol, de décoller celui-ci par rapport à un niveau fragilisé de la roche pourrie : la forte pente favoriserait alors le mouvement rotationnel.

L'homme peut accélérer la fréquence de ces mouvements en modifiant la géométrie externe du versant (terrassement, creusement d'un versant pour y installer une route ou des habitations, surcharge par des remblais instables, modification des écoulements naturels, érosion au pied d'un versant par une rivière dont le cours est dévié). La végétation intervient également : P. Temple et A. Rapp ont montré, en Tanzanie, que 47 % des glissements de terrain sont situés sur des champs cultivés (maïs + mil + haricots), 47 % sur les jachères et parcours, et moins de 1 % dans les zones forestières, pourtant très humides. Même les arbres isolés semblent avoir un effet puisque seules les pistes non plantées d'arbres montrent des traces de glissement de terrain : une simple rangée d'arbres suffirait pour éviter les mouvements de masse.

### Les indicateurs

Les glissements rotationnels laissent sur le versant des traces significatives :

- un décollement en amont de la couche perméable du sol, un déplacement sur un plan de glissement et le doublement de cette même couche à l'aval ;
- un décollement en amont plus profond pour le mouvement rotationnel que pour les mouvements de masse en planches ;
- un basculement du volume en mouvement qui aboutit à une contre pente en aval, bien souvent une zone humide (carex, roseaux) au contact avec le fond de la couverture pédologique d'où peut démarrer une ravine latérale ;
- une langue de terre en pente forte ;
- pas de sélectivité de l'érosion, ni au départ, ni à l'aval.

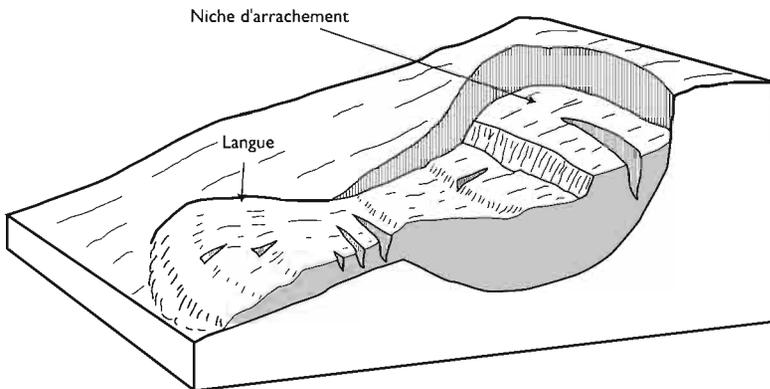


Fig. 12

Glissement rotationnel en coups de cuillère (d'après NEBOIT, 1991).

## Les coulées boueuses ou laves torrentielles

### *Cause et processus*

Les coulées boueuses sont des mélanges d'eau et de terre à haute densité ayant dépassé le point de liquidité. Elles peuvent emporter des masses considérables de boue, de cailloux et de blocs de rochers de taille imposante ( $> 1 \text{ m}^3$ ).

Lorsqu'elles viennent de se produire, les coulées se présentent comme un canal terminé par une langue de boue et de matériaux non triés. Les matériaux fins peuvent être repris ultérieurement par l'érosion hydrique en nappe ou rigole, laissant en place une masse de cailloux et de blocs rocheux de taille très hétérogène. D'après RAPP et TEMPLE (1972) en Tanzanie, ces coulées boueuses apparaissent souvent à la suite d'un glissement en planche ou dans une ravine lors d'une averse exceptionnelle dont le ruissellement va nettoyer les altérites accumulées en bas de pente depuis quelques années.

### *Les indicateurs*

Les coulées boueuses laissent sur le terroir des traces facilement identifiables :

- un évidement amont jusqu'au niveau imperméable, mais avec continuité de l'horizon de surface si celui-ci est protégé par un réseau dense de racines de graminées ;
- en aval une langue de terre boueuse bombée ;
- un tas de cailloux et blocs non tamisés en discordance d'avec les roches sous-jacentes.

## Les techniques de lutte contre les mouvements de masse

### *La lutte contre l'érosion aratoire*

On a souvent confondu les processus d'érosion en nappe avec l'érosion aratoire car les facteurs et les indicateurs se recourent. La lutte porte sur le travail du sol et quelques aménagements.

#### *Réduction du nombre de passages des outils et de l'importance du travail du sol.*

Depuis une vingtaine d'années en Amérique du Nord et du Sud se développent des techniques de culture conservatrice, réduisant le travail du sol au minimum (décompactage sans retourner la litière, réduction du nombre de passage), et même semis direct sous la litière : seule une dent ouvre la ligne de semis pour permettre d'injecter les engrais, les semences et les pesticides, tandis que la litière est foudroyée par un herbicide ou déchiquetée par un rouleau à couteaux : ces méthodes ont été testées avec des succès variables dans le Lauragais (Sud-Ouest de la France, ROOSE et CAVALIÉ, 1986), au Maroc (MRABET *et al.* 2004-6) et en Tunisie (RAUNET *et al.*, 2004) : si la stabilité des agrégats et l'infiltration de l'horizon superficiel augmentent, il n'en va pas forcément de même chaque année pour les rendements des cultures (DIALLO *et al.*, 2008). Au Mali et au Nord-Cameroun, sur des sols sableux, le ruissellement et l'érosion baissent systématiquement, mais les rendements de cotons en années sèches sont corrects (-10 à + 20 %) tandis que le maïs en année à événement pluvieux abondant en

juillet se comporte mal si le sol est tassé : le paysan perd 20 à 40 % du maïs les années très humides, s'il ne compense pas les engrais entraînés dans les eaux de drainage excédentaires.

*Réduction de l'énergie dépensée pour le travail du sol.* Il n'est pas toujours nécessaire de retourner le sol avec une charrue. Un simple éclatement de l'horizon humifère par les dents d'un chisel ou autre cultivateur aère le sol, augmente la macroporosité, la capacité de stockage en eau, l'enracinement et maintient en surface la matière organique et les résidus de cultures. À la limite, le travail est réduit à la ligne de semis tandis que 80 % de la surface du champ reste couverte par la litière et les résidus de culture. Un tel système réduit à néant les risques d'érosion aratoire en même temps que l'érosion en nappe.

*L'orientation du travail du sol.* Si la pente est inférieure à 14 %, il est possible de travailler le sol au tracteur suivant les courbes de niveau sans déplacer trop de terre à condition de passer les outils en aller et retour (REVEL *et al.*, 1989). Par contre, au-delà de 15 % de pente, les tracteurs risquent de verser et on est obligé de labourer dans le sens de la pente, mais on peut semer perpendiculairement ou développer des systèmes de cultures pérennes avec plantes de couverture ou du paillage.

*Construction de terrasses progressives entre des talus.* Sur des sols suffisamment profonds, on peut aussi aménager des talus protégés entre lesquels se développent des terrasses progressives moins pentues. Sur des pentes de plus de 40 %, E. Latrille (1975) a observé dans les Comores des cultures sur billons ou sur planches.

### *La lutte contre les mouvements de masse rapide*

Pour réduire le risque de ces mouvements de masse rapide, il est préconisé :

- d'évacuer le drainage au niveau du plan de glissement ;
- de détourner le drainage superficiel par un fossé ;
- et d'augmenter l'évaporation par l'implantation de jeunes arbres gérés en taillis, en particulier l'eucalyptus bien connu pour sa croissance rapide, son enracinement puissant et son évapotranspiration élevée. L'eucalyptus ne supportant pas le gel, il faut en haute montagne sélectionner des espèces arborées connues pour leur capacité à s'accrocher dans les sols peu profonds et les fissures de la roche (*Fraxinus, Alnus, Pinus*, etc.).

La lutte contre l'érosion en masse doit avant tout être préventive : plan d'occupation des sols interdisant toute construction et modification du versant, zone réservée à une forêt de protection gérée sous forme de taillis pour ne pas trop charger la couverture pédologique. Cependant, il n'est pas toujours possible d'écarter les cultures des zones montagneuses souvent plus peuplées que les plaines car le climat y est plus sain (pas de paludisme, ni de mouche tsé-tsé) et les terres mieux arrosées (comme en Éthiopie). Dans ces cas difficiles, la plantation de lignes d'eucalyptus ou d'un parc d'essences locales (oliviers par exemple) peut aider les paysans à réduire les risques de glissements de terrain.

La lutte contre les glissements de terrain est une affaire de spécialistes qui réclame de gros moyens pour évacuer les eaux de surface excédentaires, drainer

les plans de glissement et fixer la couverture de terre et de blocs rocheux. Ces investissements de l'État ne se justifient que pour protéger des aménagements vitaux : routes, villes, hôpitaux, barrages. Mais les paysans connaissent quelques recettes comme d'implanter des arbres, en particulier l'eucalyptus et des bambous, pour assécher l'assiette des talus et stabiliser les versants et les berges. En jouant sur le choix des espèces, on arrive à transformer ces paysages de montagne en bocages stables (comme en pays bamiléké dans les montagnes de l'Ouest camerounais).

## Étude critique de l'approche mécanique conventionnelle

De nombreuses avancées de la recherche ont montré que certaines techniques ne peuvent s'appliquer avec succès sur certains sols tropicaux et qu'il faut absolument tenir compte de leur acceptabilité par le monde rural si on espère une bonne durabilité des aménagements de LAE. L'échec des aménagements anti-érosifs peut provenir de deux causes principales :

- des erreurs techniques,
- un manque d'acceptabilité pour les « bénéficiaires », les sociétés paysannes, les éleveurs.

Différents facteurs permettent d'apprécier les problèmes de l'érosion.

### **Les pluies**

En région méditerranéenne de montagne, l'agressivité des pluies est plutôt modeste ( $Ram = 20$  à  $200$ ) : elles sont 5 fois moins énergétiques par millimètre que les pluies des régions tropicales. Mais les pluies de fréquence rare sont dangereuses. Il peut s'agir d'orages violents sur une surface limitée (par exemple sur les sommets de l'oued Ourika, Haut Atlas, en 1997), ou de pluies abondantes, peu intenses mais persistantes plusieurs jours au point de saturer le milieu sur de grandes surfaces et de provoquer des inondations catastrophiques (par exemple en Tunisie et sur le Rif, en 1969).

### **Les couverts végétaux**

Les forêts et le matorral sont en général des milieux protégeant bien le sol contre l'érosion en montagne. Mais dès que les animaux les parcourent, ils réduisent la surface couverte, créent des cheminements tassés et dénudés par les sabots qui vont drainer les eaux de ruissellement du versant et créer des ravines en aval sur les terres cultivées. Ce sont les plantes basses et les litières qui sont les plus efficaces pour intercepter l'énergie des pluies et du ruissellement. Enfin, plus les végétaux sont diversifiés et mieux ils réalisent une couverture efficace pour

absorber l'énergie du soleil et des pluies : au lieu des monocultures, il faut développer des associations de plantes différentes par leur structure aérienne, par leur réseau racinaire et par leurs besoins complémentaires (SABIR et ROOSE, 2004).

### Les sols

Hormis les sols sodiques, les sols des régions méditerranéennes sont classés parmi les sols très stables à moyennement stables et non parmi les sols les plus fragiles comme on l'a souvent enseigné. Si on constate que les problèmes d'érosion sont souvent graves en zone méditerranéenne, c'est que le volume et l'énergie des pluies de fréquence rare peuvent être importants et entraîner la dégradation de la végétation et les sols. On a aussi négligé trop longtemps l'importance des cailloux qui dissipent une bonne partie de l'énergie des pluies ainsi que du calcaire libre qui maintient les colloïdes bien agrégés. On a tendance à épierrer les sols pour protéger les outils de travail du sol et libérer la surface pour les plantations. Les paysans rangent les plus grosses pierres en tas, sur des cordons ou des murettes, en oubliant leur rôle de dissipation de l'énergie : par conséquent, l'épierrage augmente les risques d'érosion.

### Les pentes

Dans la limite du modèle de Wischmeier et Smith, SL varie de 0,1 à 20 sur des pentes de 1 à 25 %, pentes le plus souvent cultivées (voir p. 51). Pour les cultures sur des pentes plus fortes, fréquentes en montagne, le modèle a été extrapolé, mais il s'avère que dans bon nombre de cas l'érosion n'augmente plus de façon exponentielle car les sols sont moins épais, plus riches en argile et (ou) en morceaux de roches beaucoup plus résistantes à l'énergie des pluies. De même, le ruissellement est moins abondant sur les fortes pentes où le ruissellement griffe continuellement les croûtes en formation, que sur les glacis peu pentus mais où le ruissellement en nappe ayant du mal à tracter les sables, dépose un pavage de sables, limons et argiles blanchâtres.

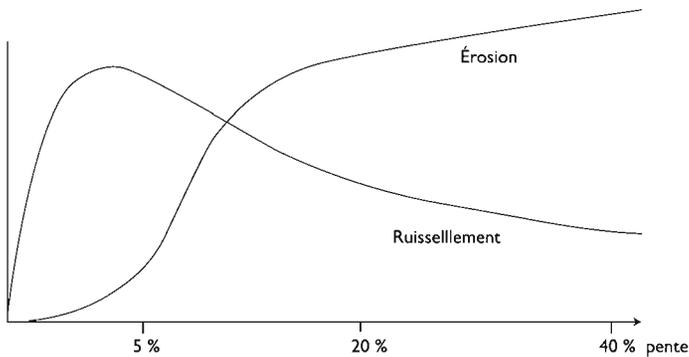


Fig. 13

Influence de la pente (%) sur le ruissellement et l'érosion en milieu méditerranéen (d'après Hudson, adapté par ROOSE, 1993).

Comme on peut le voir sur la figure 13, le ruissellement augmente très rapidement jusqu'à des pentes de 2 à 5 % puis se stabilise et retombe à des valeurs de 10 % sur des sols cultivés sur pentes supérieures à 25 %. Cela pourrait s'interpréter en fonction de l'angle d'attaque des gouttes de pluies qui tombent perpendiculairement à la surface du globe, mais aussi en fonction de la formation rapide des croûtes de battance sur les pentes faibles, croûtes qui se déchirent dès que l'énergie du ruissellement dépasse celle des pluies, au-delà de 15 % de pente (ROOSE, 1973, 1994).

L'effet de la longueur de pente est complexe. D'une part, on comprend que la lame ruisselée s'accumule tout au long des parcelles (donc aussi l'énergie du ruissellement), mais par ailleurs tant que le ruissellement s'écoule en nappe il disperse cette énergie sur la rugosité de la surface du sol (mottes, tiges, mulch, cailloux) si bien que la vitesse du ruissellement en nappe n'augmente pas avec la longueur de pente. Par contre, sur les sols où le ruissellement s'organise rapidement en rigoles, le contact avec la surface mouillée du canal est réduit donc la vitesse, l'énergie du ruissellement et l'érosion augmentent. Il y a des interactions multiples avec le type de sol, sa rugosité, le type de végétation basse et les systèmes de cultures. Sur 580 parcelles couplées en fonction de la longueur de pente, dans 40 % des cas, W. WISCHMEIER (1966) a observé une augmentation de l'érosion si la longueur de pente augmente, dans 40 % des cas, il observe une diminution de l'érosion et dans 20 %, il constate une variation en fonction des états de surface du sol.

Cela remet en cause l'utilisation systématique du facteur pente pour déterminer les risques de dégradation des sols dans l'espace (avec la technologie des SIG).

La forme de la pente a aussi son importance. W. Wischmeier a montré que les pertes en terre sur une pente concave sont inférieures à celle d'une pente convexe, toutes autres conditions étant semblables. On peut jouer sur l'évolution de la forme d'un versant en créant des terrasses progressives concaves.

Enfin en milieu méditerranéen, les sommets des collines sont souvent calcaires et les sols très perméables : les eaux de surface s'infiltrent à faible profondeur jusqu'à un horizon peu perméable, puis circulent jusqu'au point de contact avec une couche moins perméable (marnes, schistes) où les eaux sortent d'un point de résurgence. De ces sources démarrent souvent des ravines remontantes qui drainent tout un versant.

### **Les techniques antiérosives conventionnelles**

Vue l'importance donnée aux pentes et au ruissellement linéaire, la majorité des aménagements antiérosifs des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles ont été développés autour des terrassements, des banquettes et fossés de diversion pour capter le ruissellement avant qu'il ne développe des ravines et l'évacuer latéralement dans des fossés qui vont les déverser dans des chemins d'eau naturels ou protégés qui rejoignent directement le réseau de drainage (rivières).

En réalité, dans les pays en développement, les paysans n'ont pas les moyens d'entretenir ces fossés qui s'ensablent rapidement et débordent en créant des ravines à travers tout le versant. De plus, les chemins d'eau, soit s'ensablent ou, plus souvent, se creusent en une ravine profonde. On n'a donc pas atteint l'objectif qui était justement d'éviter le ravinement. Grâce au diagramme de Hjulström (fig. 10), on peut comprendre que sur les sols limoneux des États-Unis, il n'y a pas de dépôt de sable dans les banquettes de diversion. Par contre, en Afrique, la majorité des sols sont sablo-argileux en surface et on peut observer ces dépôts en fin d'averse et la rupture des bourrelets après 4 à 10 ans (ROOSE, 1993).

### Le facteur humain

Le creusement des fossés, banquettes et autres terrasses demande entre 350 et 1 500 jours de travail manuel par hectare selon la distance de prélèvement des pierres, le type d'aménagement et de pente. De plus, l'entretien annuel exige encore 20 à 50 jours par hectare aménagé. Le paysan qui ne dispose pas dans sa famille d'une main-d'œuvre abondante est très vite limité : il n'a plus assez de temps pour soigner ses cultures (sarclages) et ses bêtes.

Or, beaucoup de ces aménagements mécaniques de terrassement ne réduisent pas la dégradation de la fertilité des sols entre les banquettes : l'érosion en nappe et la minéralisation de l'humus continuent. De plus, l'agriculteur est réticent à rendre sa parcelle difficilement mécanisable et à perdre 5 à 20 % de sa surface cultivable pour la consacrer à la lutte antiérosive dont il ne verra peut-être l'intérêt que dans plusieurs années. Il accepte d'investir dans sa propriété, à condition qu'il puisse constater une augmentation rapide de ses revenus qui compense l'augmentation de son travail : or il n'observe aucune amélioration des rendements entre les banquettes qui lui ont été imposées par des techniciens qui ne vivent pas de ce travail.

Par ailleurs, il se méfie du cadeau des agents de l'État qui offrent de planter des arbres fruitiers (amandiers et surtout oliviers) sur les banquettes, en compensation des pertes de production des autres cultures. Dans la tradition africaine, « qui plante un arbre marque sa terre » : si donc l'État plante des arbres, c'est qu'il souhaite prendre possession des terres paysannes (comme l'attestent différentes expériences en Algérie et en Tunisie). D'où un grand retard du développement de l'agroforesterie qui pourrait compenser partiellement les forêts parties en fumée pour étendre les parcours et cultures. De même, « blesser la terre » en y creusant ces fossés n'est pas accepté par toutes les sociétés rurales traditionnelles. D'où la réaction brutale de certains paysans qui s'efforcent de faire disparaître les banquettes à l'aide de leur charrue. En Algérie, 20 % des banquettes ont été effacées volontairement (HAMOUDI *et al.*, 1989). Enfin, les talus des banquettes se tassent et se dégradent rapidement (ARABI *et al.*, 2004). En Tunisie, qui connaît pourtant une grande expérience des aménagements en banquettes mécanisées, on estime que leur durée de vie moyenne ne dépasse pas 5 à 10 ans (BACCARI *et al.*, 2008).

# Le développement intégré

## Application des techniques de GCES ouvertes aux connaissances des savoir-faire traditionnels et à l'amélioration de la productivité des sols

Devant les échecs des grands projets d'aménagements antiérosifs (HUDSON, 1991), les participants de l'atelier de Porto Rico (1987) ont réfléchi aux causes des échecs et réussites de projets bien documentés. Ils ont proposé une série de nouvelles orientations qu'une équipe de praticiens et de chercheurs a publiée sous forme d'un manifeste (SHAXSON *et al.*, 1989). Quinze ans plus tard, ont été publiés les résultats des expériences menées sur cette approche nommée *Better Land husbandry* par les anglophones et Gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (GCES) par les francophones (HUDSON 1992 ; ROOSE, 1994). Ce sont les conclusions de ces expérimentations que nous avons voulu appliquer au Maroc.

Les grands principes de la GCES pourraient être résumés ainsi :

- pour la durabilité des aménagements de LAE, il est nécessaire d'améliorer leur acceptabilité par les « bénéficiaires », de répondre aux problèmes immédiats des ruraux et en particulier, d'augmenter la productivité de la terre et du travail ;
- les paysans doivent être impliqués dans les projets de LAE dès le stade de diagnostic des problèmes, de définition des solutions, d'entretien et d'évaluation des aménagements ;
- une grande souplesse doit être développée dans le suivi et le financement des projets qui risquent d'évoluer au cours du temps en raison des premiers résultats expérimentaux ;
- deux défis doivent être relevés en même temps : améliorer significativement les rendements et préserver l'environnement rural : il faut donc prévoir des projets de développement intégré ;
- pour y arriver, il faut prévoir une agriculture intensive couvrant bien le sol, et une gestion raisonnée simultanée de l'eau, de la biodiversité et de la fertilité des sols.

# Les aspects socio-économiques de la lutte antiérosive

*Faiçal BENCHAKROUN  
Éric ROOSE*

## Introduction : l'érosion n'est pas seulement un problème technique

Si la lutte antiérosive a connu jusqu'ici des succès mitigés malgré des investissements colossaux à l'échelle du monde, ce n'est pas seulement parce qu'on n'a pas bien maîtrisé tous les aspects techniques du problème (la diversité des processus physiques en cause est bien plus compliquée que prévu initialement, voir chapitre 3), mais aussi parce qu'on n'a pas suffisamment tenu compte des racines socio-économiques des crises d'érosion. Au nom de l'intérêt public, les ingénieurs de l'État ont cherché le moyen d'imposer leurs solutions sans trop se préoccuper des intérêts particuliers de chacun des « bénéficiaires » des aménagements antiérosifs. Or, certaines techniques valables sur le plan hydrologique, ne sont pas acceptables par les paysans car elles remettent en cause les droits coutumiers séculaires (par exemple le parcours sous forêts) : les bénéficiaires des aménagements ne sont pas ceux qui ont réalisé le travail.

Dans un premier temps, nous aborderons un certain nombre de conditions pour que les sociétés rurales puissent adopter les propositions techniques de LAE. Ensuite nous explorerons les conséquences économiques de la dégradation des sols par l'érosion et comparerons les coûts des divers aménagements et les

bénéfiques qu'on peut en espérer. Sans ces connaissances, il est peu probable que les sociétés rurales acceptent nos propositions techniques de changer l'usage des terres qui ont été gérées avec des succès variables depuis des siècles.

## Des aspects socioculturels influencent l'acceptabilité de la LAE

### **La diversité des crises érosives**

L'érosion et le déséquilibre entre la pression démographique et la disponibilité restreinte des ressources en terre a conduit à une surexploitation du milieu naturel et à sa dégradation. Les fractions sociales déjà défavorisées sont rejetées vers les terres marginales, souvent les plus fragiles. Leur statut foncier est médiocre et les conditions d'investissements sont défavorables. Leurs ressources financières étant très limitées, ces populations pauvres adoptent des logiques de survie qui privilégient le très court terme. Il s'en suit une spirale de la dégradation de la situation sociale. La solution réside dans le développement de techniques d'intensification de la production (comme les terrasses, la fertilisation et l'irrigation), le développement des produits du terroir (AOC) ou l'implantation d'ateliers de transformation des produits spécifiques (parfums, confitures, fromages, engraissement du bétail). Mais lorsque la crise concerne la société rurale elle-même, la maîtrise de l'érosion passe par le renforcement de l'autorité et des moyens des structures locales (Chambre d'agriculture et services régionaux du ministère de l'Agriculture) (BLUME *et al.*, 1998.).

Cependant, dans certaines régions de grande culture, la mécanisation, la motorisation, le remembrement, l'introduction de nouvelles cultures peu couvrantes (coton, arachide, tabac, maïs, tournesol), l'agrandissement des parcelles et la suppression des talus, des haies et des fossés jouant un rôle dans le fonctionnement hydrologique des versants, ont entraîné des augmentations importantes de productivité par travailleur, mais aussi une augmentation des risques de ruissellement et d'érosion. Dans ce cas, l'érosion pourrait être considérée comme une bavure de la modernisation. Une fois que la recherche a mis au point les techniques de référence, leur diffusion sera assurée par les agriculteurs les plus innovants, les plus concernés par les problèmes d'érosion (Lilin, 1986). C'est ainsi que se sont développées au Brésil les techniques de non-travail du sol (de semis direct dans la litière des cultures précédentes) et l'agriculture de conservation.

### **Qui s'intéresse à la lutte antiérosive ?**

Dans les pays en développement, de très nombreux petits paysans pauvres sont acculés à assurer la survie de leur famille nombreuse (5 à 10 personnes), vivant sur de minuscules exploitations (0,2 à 1,5 ha, dispersées en une dizaine de par-

celles au Rwanda). Malgré la baisse des rendements, ils ne peuvent laisser au repos les terres épuisées, lesquelles sont souvent mal couvertes (surtout en zone semi-aride), fragiles, sur pentes fortes et peu protégées des eaux de ruissellement provenant des parcelles situées en amont ou du réseau routier. Au Maroc, certaines familles ne se décident à investir dans l'amélioration foncière de leur terre que quand les dégâts d'érosion sont déjà trop avancés. Alors elles sont tentées par la culture du kif et du tabac et par l'émigration de quelques adultes vers les villes ou les pays voisins. Par leurs envois réguliers de salaire, ces émigrés vont améliorer la situation de la famille qui reste sur ses terres. De retour au pays pour leur retraite, les « émigrés » investissent souvent une partie de leurs économies pour acheter des terres, ou améliorer le foncier (terrassements, défonçage du sol pour éclater les croûtes calcaires, épierrage) et délimiter les parcelles (cordons de pierres, murets, haies vives). Par contre, en cas de métayage ou de location de terres, le paysan ne peut améliorer le foncier, ni planter d'arbres sous peine de se voir retirer le permis d'exploitation pour tentative d'appropriation du foncier ou de voir le prix de location augmenter en relation avec l'amélioration foncière. D'où des réticences certaines pour l'agroforesterie.

La lutte antiérosive doit tenir compte du mode de gestion des usagers du finage et des types de pression qui s'exercent pour exploiter les diverses facettes du paysage : les agriculteurs produisent des céréales dont les éleveurs nomades ont besoin. En effet, les chaumes sont nécessaires pour faire pâturer le troupeau en période estivale : ce faisant ils restituent l'urine et les fèces, matières organiques plus riches en azote que les chaumes. Le paysage supporte les productions végétales et animales. Jadis, les exploitants tentaient de gérer l'espace selon une logique qui cherche à optimiser le potentiel de production entre les espaces forestiers, les parcours et les champs cultivés. Mais depuis l'augmentation de la pression démographique, les forêts et parcours sont transformés parfois de façon illégale en champs cultivés : l'espace de pâture a été fortement réduit, de même que l'espace forestier. Le nombre de tête de bétail a été augmenté sur un espace de parcours réduit si bien que l'équilibre a été rompu.

Au Maroc, lorsqu'un bassin versant est exploité par une même tribu, la fraction la plus forte occupe les meilleures terres et les plus grands espaces ; les fractions les plus pauvres occupent des espaces étroits et fragiles sujets à la surexploitation et à la dégradation par l'érosion. On observe parfois des migrations de population vers des terres plus riches et irrigables par mariage entre fractions dans des douars voisins. Les structures de gestion collective des terres ont tendance à disparaître en faveur d'une gestion individuelle.

### **Les situations juridiques de la propriété au Maroc**

Trois situations juridiques de la propriété prédominent : la propriété privée (*melk* en arabe), le collectif (*jmaa* = parcours) et le domanial (forêts) où la population puise du bois sec et fait pâturer son troupeau. On distingue en plus les terres voisines des forêts et les terres qui en sont éloignées, ainsi que les terres privées délaissées par leur propriétaire vivant à l'extérieur du milieu rural : elles consti-

tuent des parcours collectifs. Suite aux sécheresses persistantes et à la construction de barrages, 20 à 30 % des populations ont émigré des bassins versants montagnards, laissant leurs terres en friche ou les prêtant à un proche (fermage).

Le finage constitue le cadre optimal pour la conservation des ressources naturelles. Il permet de constituer des groupements paysans qui prennent en compte les intérêts parfois divergents des gens qui vivent hors de la zone à aménager et ceux qui y trouvent leurs ressources permanentes. À cette échelle, il est plus facile de comprendre qu'il faut à la fois concilier la protection de l'espace pour le bien commun et améliorer le sort des populations rurales.

Une enquête sur le système de production a montré que la répartition foncière est très inégale sur le territoire national :

- les « sans terre » représentent 2 à 8 % de la population régionale ;
- les petites exploitations inférieures à 5 ha représentent 71 % du nombre total de foyers mais seulement 30 % de la surface agricole utile (SAU) ; ces petites exploitations semblent peu viables.
- les grosses exploitations possédant plus de 10 ha ne concernent plus que 1 à 12 % des exploitants selon les régions mais ils possèdent 30 % de la SAU.

Les parcelles de chaque exploitation sont très dispersées (2 à 10 parcelles) et couvrent en moyenne 0,1 à 1,5 ha. Les céréales couvrent 63 % de la SAU, l'orge en couvre 23 %, les légumineuses 4 %, les soles fourragères 10 %.

Le mode de faire-valoir est majoritairement direct, mais suite aux émigrations, 15 à 18 % des terres sont louées. Près des habitations les parcelles sont plus petites, mieux fumées que les grandes parcelles : elles sont vouées à l'autoconsommation. Les parcours sont situés sur les sommets souvent rocailleux, les versants caillouteux. Les bas-fonds sont généralement intensément cultivés et souvent irrigués et fumés et plantés d'arbres fourragers ou fruitiers.

Pour la partie dégagée du terroir, le pacage sur les chaumes impose un certain assolement collectif. Si le troupeau est assez grand, l'introduction de cultures fourragères et une forte portion de l'exploitation en orge (ou vesce + avoine) sont nécessaires : il faut en tenir compte dans l'aménagement du terroir. Le système d'exploitation de production animale extensif (avec ou sans apports extérieurs) est le plus fréquent. Le système d'exploitation semi-intensif tire d'abord profit des parcours gratuits des forêts, des jachères et des espaces libérés par les émigrés : ensuite ils développent les cultures fourragères pour faire face à un taux de surcharge de 30 à 40 %. Cette surexploitation des ressources naturelles entraîne la dégradation du milieu naturel. La plantation d'arbres fruitiers permettra de réduire plus tard la demande en combustible ligneux. Pour le moment, le ramassage du bois de feu est assuré par les femmes qui ramènent annuellement 3 à 8 tonnes de bois par ménage. L'utilisation des bouteilles de gaz butane pour le thé et la cuisine, fonction des revenus du foyer, ne diminue que très peu la forte pression sur les ressources ligneuses des forêts.

Une typologie des systèmes de production a été développée pour cadrer les possibilités d'intervention sur le terrain : elle tient compte non seulement de la SAU, de la taille du troupeau et des parcelles mais aussi des revenus :

- exploitations à objectif de subsistance, à composante animale, proche des forêts : il faut prévoir des compensations financières pour tout aménagement forestier ;
- exploitations à objectif de subsistance exclusivement agricole : importance des actions de fixation, améliorations foncières, protection de la fertilité des terres, etc. ;
- exploitations à niveau économique précaire à composante animale, situées près des forêts, avec des champs réservés à l'autoconsommation ; l'arboriculture fruitière (olivier) leur assure un surplus financier ;
- exploitations à activités mixtes qui dégagent une marge d'autofinancement : elles sont favorables à toute action visant la production, mais aussi la protection des ressources.

Ces types d'exploitations permettent de cibler les actions de développement participatif, mais ces systèmes ne peuvent être spatialisés : ils cohabitent.

### **À quelle échelle faut-il s'organiser ?**

S'il s'agit de réduire la vitesse de sédimentation d'un barrage, ou la pollution diffuse, le bassin versant de la rivière pourra donner une première idée des risques de transports solides et du ruissellement disponible pour diverses activités dans la vallée. C'est la logique aval conventionnelle qui a été appliquée généralement jusqu'ici, pour alimenter en eau de bonne qualité les zones de grande irrigation, les citadins des grandes villes et les industries, sans trop se préoccuper des droits et besoins des gestionnaires des terres, les paysans vivant sur les versants que l'État va aménager.

S'il s'agit par contre de préserver les ressources naturelles gérées par les paysans des montagnes, il s'agit d'appliquer une logique amont, cherchant à développer des systèmes de gestion durable des ressources en terre et en eau. Pour que les villageois participent aux actions d'aménagements durables, il faut réunir ceux qui travaillent ensemble sur un versant, un terroir et décider avec eux des aménagements qu'ils vont réaliser pour valoriser au mieux l'eau, la terre et leur travail (ROOSE, 1994).

### **Où intervenir en priorité ?**

Dans la logique technocratique (RTM, DRS), il s'agit de rechercher les zones d'où provient la majorité des sédiments qui vont causer des dégâts en aval : parcours surpâturés, chemins ravinés, zones ravinées, bordures des rivières torrentielles auxquelles on ajoutait jadis les fortes pentes, les éboulis et autres glissements de terrain. Bref, on repère les « badlands » et autres zones dégradées sur les versants les plus pentus. Sur ces chantiers bien circonscrits et faciles à gérer, on investit de grosses sommes pour contenir les forces de la nature, avec un succès mitigé dépendant beaucoup de la compétence des techniciens de terrain, des réalisateurs et de la fréquence des averses exceptionnelles destructrices. De grosses interventions mécaniques très coûteuses (banquettes, seuils,

épis, barrages collinaires) sont quelquefois complétées par la stabilisation biologique des berges et des sédiments. L'essentiel des aménagements (RTM, DRS et même CES) vise la restauration des ravines et la réduction de l'envasement des barrages, l'amélioration de la qualité des eaux destinées à la grande irrigation, à l'alimentation des villes et à l'industrie. Mais parallèlement, on trouve de nombreuses banquettes instables sur des versants stables non directement menacés (oliviers dans le Rif occidental)

La logique paysanne quant à elle est bien différente : elle vise la valorisation des terres et du travail des paysans. Elle recherche des systèmes de production rentables et adaptés aux versants des collines et montagnes, un bon équilibre entre la production végétale et animale, les techniques de préparation des terres les plus efficaces pour assurer un minimum de production quels que soient les aléas climatiques (pluies, gel, sécheresse), le maintien de la fertilité ou la restauration de la productivité des terres. Les chantiers sont dispersés sur tout le terroir, mais leur rentabilité est meilleure sur les bonnes terres proches de l'habitat que sur les terres lointaines déjà trop dégradées. Cela pose aussi un problème de justice sociale. Si ce sont les meilleures terres qui sont prioritaires, ce sont les paysans riches qui vont le mieux en profiter : les sans terre et les paysans pauvres qui ont hérité de terres épuisées tireront peu de bénéfice des investissements sur les terres marginales mais devraient profiter des projets de développement intégré pour se spécialiser dans les services, les productions à haute valeur ajoutée, l'artisanat et le commerce. C'est ainsi qu'en Inde, les « sans terre » se voient recevoir en héritage une formation pour restaurer et valoriser les ravines (1 à 5 % du terroir).

Donc deux logiques respectables auxquelles correspondent des objectifs et des moyens différents : pas étonnant que les paysans montagnards n'entretiennent pas les aménagements imposés par l'État sur leurs terres qui leur font perdre 5 à 20 % de la surface cultivable, au seul bénéfice des citoyens habitants en aval (Roose, 1994). Pour faire face à ces deux problèmes, l'État doit confier à des équipes de spécialistes l'aménagement des grosses ravines et la stabilisation des glissements de terrain, des oueds et des rivières, tandis que le monde rural doit prendre en charge la gestion durable des terres qu'il exploite. Dans cet ouvrage, nous traitons essentiellement de la logique paysanne, en vue de valoriser la terre et le travail.

### **Les subsides**

La protection du patrimoine foncier, la séquestration du carbone dans les forêts et les sols et la gestion conservatoire des eaux de surface en montagne sont des services écologiques rendus à la communauté civile. La régulation des débits des sources et rivières, la purification de l'air, la circulation lente des nutriments, la protection contre la pollution des eaux de surface sont des services précieux rendus par la société rurale montagnarde. Ces services méritent des compensations, des subsides pour encourager ces « jardiniers des paysages », leur donner les moyens de survivre pendant qu'ils dépensent leur temps à la

protection des ressources naturelles, l'eau, la biomasse, l'air et la terre. De plus, la construction de terrasses et de banquettes peut soustraire de 5 à 25 % de la surface cultivable : d'où les efforts des forestiers pour fournir des arbres fruitiers, à titre de compensation, aux paysans qui se voient imposer par l'État l'aménagement de leurs terres de culture en banquettes (ROOSE, LAMACHÈRE, DE NONI, 2001).

Comme les paysans pauvres manquent de moyens pour lutter contre l'érosion sur leurs terres souvent les plus dégradées, il est apparu nécessaire de payer un salaire aux ouvriers qui viennent louer leurs bras pour réaliser les aménagements antiérosifs, y compris sur les terres dont ils sont propriétaires : c'est un moyen d'injecter quelques ressources dans ces milieux ruraux pauvres tout en respectant leur fierté, en quelque sorte un investissement social dans une couche de la population qui manque de travail. Malheureusement, il s'est avéré que ces bénéficiaires répugnent à entretenir ces aménagements car, selon eux, ce sont des travaux imposés par l'État, et c'est à l'État de les entretenir. Ainsi en Algérie, une enquête a montré que, sur 350 000 hectares aménagés par l'État, 25 % ont été volontairement éradiqués par les paysans, 55 % sont encore visibles, mais ne sont plus fonctionnels, car ils n'ont jamais été entretenus, et 20 % semblent encore en bon état, mais il n'est pas évident qu'ils furent jamais utiles pour réduire les risques d'érosion (ROOSE *et al.*, 1993).

Pour éviter cette erreur, on a cherché à ne plus distribuer de l'argent, mais diverses compensations (*Food for works*) comme de la nourriture de base pour améliorer la santé, des outillages, des arbres fruitiers ou divers services (transport des pierres, dispensaires, pistes rurales, puits, etc.). Dans certains projets, où on se refuse de payer directement pour les aménagements, on organise d'abord une démonstration pour montrer aux paysans les bienfaits dont ils pourraient bénéficier. Rien n'est entrepris sans la participation des villageois qui sont organisés en brigades spécialisées (pour les seuils, pour la délimitation des courbes de niveau, pour la production de plants d'herbes et d'arbres marqueurs, pour l'amélioration de l'élevage) mais où chaque propriétaire doit participer à l'aménagement de sa colline ou de son terroir. Plus récemment, la majorité des projets ont investi dans le renforcement (formation et moyens) des structures locales des ministères concernés de façon qu'à la fin du projet ces structures locales puissent prendre le relais (congrès ISCO de Bonn : BLUME *et al.*, 1998). Dans certains cas spécifiques, des subsides peuvent être accordés aux projets de conservation des sols. C'est le cas dans les montagnes du Pérou où les terrasses construites à l'époque des Incas il y a cinq siècles menacent de disparaître. Pour sauvegarder ces témoins de l'histoire, il a été mis au point un système où les populations ont apporté leur main-d'œuvre et leur savoir-faire pour rénover les murettes, mais où il a fallu compenser les heures de travail.

En Inde, les forestiers considèrent qu'il est indispensable que les populations pauvres participent à la plantation des arbres et à leur protection : sans cette « barrière sociale » (*social fencing*), la forêt ne sera pas protégée contre les dégâts de leurs animaux. Au prix d'un apport financier à hauteur de 85 à 95 % du coût des salaires, la protection des plantations perdure après la fin du projet.

En Afrique, ce haut niveau de financement ne serait pas considéré comme une vraie participation des paysans intéressés ! Même si la population montre un réel enthousiasme au début du projet, il n'est pas certain que les aménagements seront préservés plus tard. Par contre, il existe des exemples en Éthiopie où des aménagements mis en place avec de haut niveau de subsides par des populations pauvres, restent efficaces plusieurs décennies plus tard. La discussion sur le bien-fondé des subsides pour les aménagements de conservation de l'eau et des sols n'est pas close.

Certains projets lancés localement se sont avérés très payants parce qu'ils ont entraîné une nette amélioration du niveau de vie et de la productivité des terres. Donc les encouragements ne doivent pas nécessairement être financiers, mais l'amélioration de la productivité des terres et la disponibilité en eaux dans les puits, le gain de temps et d'argent peuvent encourager pendant de longues périodes des sociétés rurales à réorganiser l'utilisation de leur paysage (WOCAT, 2007).

L'accès aux prêts ou aux engrais est une autre forme de subsides pour encourager les paysans à investir dans l'intensification de la production et dans la valorisation de la terre et du travail. En Équateur, l'IRD a prêté de petites sommes d'argent à chaque famille d'un versant pour acheter des engrais et des semences de qualité à condition d'aménager leurs parcelles contre l'érosion (talus enherbés, murettes de cendres volcaniques indurées ou en mottes d'herbes). Dès la première année, les rendements ont été tellement améliorés qu'une partie de la récolte a servi au remboursement des micro-prêts et à l'extension du projet d'aménagement antiérosif (DE NONI, VIENNOT, 1993).



*Réunion de concertation dans la région de Tamatert dans le Haut Atlas*

© E. ROOSE

# Coût économique de l'érosion et des aménagements pour la restauration des sols

## Variabilité des risques d'érosion dans l'espace

La gravité de l'érosion varie beaucoup dans l'espace. J. KANWAR (1982) a montré que sur 13 500 millions d'hectares de surface exondée dans le monde, 22 % sont cultivables et seulement 10 % sont cultivés. Mais ces dix dernières années les pertes en terres cultivables ont augmenté jusqu'à atteindre 10 millions d'hectares par an du fait de l'érosion, de la salinisation et de l'urbanisation. À ce rythme, il ne faudrait que trois siècles pour détruire toutes les terres cultivables. L'érosion pose donc un problème sérieux à l'échelle mondiale mais il est beaucoup plus préoccupant dans certaines régions du monde et pour certains exploitants pauvres situés sur des terroirs fragiles.

Pour l'ensemble de la Communauté européenne, J. DE PLOEY (1990) a estimé que 25 millions d'hectares de terres cultivées étaient dégradés par l'érosion hydrique ou éolienne. La France totaliserait 5 millions d'hectares et le coût des nuisances occasionnées par l'érosion s'élèverait à 1,52 milliard d'euros, sans compter la valeur intrinsèque des sols perdus.

Dans les régions tropicales et méditerranéennes, les estimations sont souvent bien plus dramatiques. D'après A. COMBEAU (1977), 80 % des terres de Madagascar sont gravement érodées et 45 % des terres d'Algérie sont affectées par l'érosion, soit 100 ha de terres arables perdues par jour de pluie. En Tunisie, A. Hamza (1993) a évalué les transports solides moyens de l'ensemble des bassins versants vers la mer. En tenant compte d'une profondeur des sols de 50 cm, ce seraient 15 000 ha de terres arables qui se perdent par érosion hydrique chaque année. Plus sérieux que ces estimations dramatiques sont les résultats des mesures de pertes en terre sur parcelles homogènes (100 à 1000 m<sup>2</sup>) mises en place depuis 1950 par l'Orstom, le Cirad et diverses institutions de recherche. Ces pertes varient de 1 à 200 t/ha/an (jusqu'à 700 t en montagne sur des pentes de 10 à 80 % au Rwanda) sous les cultures des régions forestières tropicales humides sur des pentes de 4 à 25 %. Elles atteignent 0,5 à 40 t/ha/an sous mil, sorgho, arachides et coton sur les longs glacis ferrugineux tropicaux des régions soudano-sahéliennes (ROOSE et PIOT, 1984 ; BOLI *et al.*, 1993).

Au Maroc, sous végétation dense (forêt, matorral peu dégradé, parcours en défens), les pertes en terre ne dépassent pas 1 t/ha/an ; sous cultures (céréales, etc.), 20 t/ha/an s'il y a des rigoles et jusqu'à 100 à 300 t/ha/an sur les badlands dégradés par le ravinement et le surpâturage (LAOUTINA, 1993 et 1998). Des valeurs semblables ont été mesurées au nord-ouest de l'Algérie (ROOSE *et al.*, 1993).

Si on admet des densités apparentes de 1,2 à 1,5 pour l'horizon de surface, cela correspondrait à des ablations de 0,1 à 7 mm de sol par an en fonction du climat, de la topographie et des cultures, soit 1 à 70 cm en un siècle. Évidemment,

les sols ne sont pas restés durant un siècle sous culture. Ils sont épuisés au bout de 2 à 15 ans et laissés en jachère protectrice durant quelques années.

B. HEUSCH (1972) a montré dans le Prérif que l'érosion dépend de la surface de mesure et des processus en cause. L'érosion en nappe mesurée sur parcelles d'érosion (100 m<sup>2</sup>) est très modérée, bien plus que l'érosion des oueds, lesquelles intègrent l'énergie du ruissellement et le ravinement, les glissements de terrain et la dégradation des berges.

### **Érosion et rendement en fonction des types des sols**

Nous ne proposerons que deux exemples extrêmes.

Au Nord-Cameroun, sur des sols très sableux, Z. BOLI et É. ROOSE (2004) ont montré que les pertes de rendement d'une culture de maïs atteignaient 40 % du témoin en cas de décapage du sol de 5 cm (érosion non sélective). Mais pour la même perte de rendement, il suffit de perdre 5 mm de terre par érosion en nappe (sélective des MO, argiles et nutriments) (ROOSE et BARTHÈS, 2002). L'érosion en nappe, parce qu'elle est sélective des MO et des argiles, est donc très dégradante.

Au Burundi, sur des sols ferrallitiques argilo-sableux très acides et une pente de 8 %, T. RISHIRUMUHURWA (1998) a mesuré l'érosion sur une jachère nue travaillée, sous une bananeraie claire, une bananeraie dense et une bananeraie complètement paillée. Les pertes en terre cumulées ont atteint 154 t/ha en 3 ans sur sol nu, 54 t/ha sous bananeraie peu dense, 17 t/ha sous bananeraie dense et 0,1 t/ha sous mulch complet. La 4<sup>e</sup> année, chaque parcelle d'érosion a été subdivisée en 4 traitements et plantée en maïs :

– Témoin sans apport : les rendements en maïs grain furent nuls sur sol très érodé et atteignirent 1,7 t/ha sur sol non érodé, comme lors du défrichement de la forêt. On constate donc un arrière-effet très important de l'érosion en nappe sélective qui, même pour des pertes en terre modérées entraîne des pertes de rendement considérables.

– Apport de 20 t de fumier de ferme (50 % d'humidité). Les rendements ont beaucoup augmenté (de 0,5 à 2,5 t/ha) d'autant plus que les parcelles sont peu érodées.

– Apport de 10 t de fumier + NPK : les rendements sont semblables sur les parcelles très dégradées par l'érosion, mais produisent jusqu'à 4 t/ha sur les parcelles non érodées... L'apport de fumier est trop pauvre en phosphore : il est donc indispensable d'apporter un complément de phosphate pour valoriser au mieux les apports organiques. Si la roche est pauvre en phosphore assimilable, le sol le sera aussi ainsi que les plantes, les animaux et les fumiers : d'où la nécessité d'apporter du phosphore.

– Enfin, on a rajouté 250 kg/ha de chaux au traitement précédent puisque le sol est très acide. Curieusement, on a constaté que tous les rendements ont légèrement baissé en présence de chaux : on pense que dans ce milieu très acide, l'augmentation du pH a réduit la solubilité des phosphates.

En conclusion, on voit toute l'importance de l'érosion en nappe sélective sur la productivité des sols pauvres où les stocks de nutriments assimilables sont très

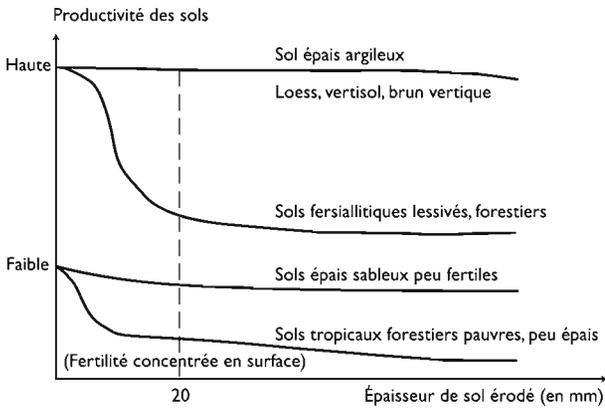


Fig. 14

Effets de l'érosion sur la productivité des sols de différents niveaux de fertilité (d'après ROOSE, 1994).

limités. Non seulement l'érosion réduit les rendements l'année où elle a lieu, mais aussi les années suivantes (mémoire de la surface du sol). Sur des sols argileux plus riches, les effets pourraient être moins importants.

Aux États-Unis, devant le coût du Service de conservation des sols et le faible impact sur les pertes en terres, on s'est demandé quelle est l'influence de l'érosion sur la productivité de divers types de sols (justification de la CES). Sur les lœss, sols profonds et homogènes sur plusieurs mètres de profondeur, on a observé que la productivité n'a guère diminué depuis un siècle. Au contraire, car l'influence négative de l'érosion (-1 % des rendements) fut facilement compensée par l'apport de nouveaux intrants : engrais, pesticides, graines sélectionnées (DREGNE, 1988)

Dans les régions tropicales, cela devrait se retrouver dans les vertisols et les sols bruns vertiques, riches en nutriments et en argiles, homogènes sur 50 cm. Par contre, dans les sols peu épais comme les rendzines, les sols forestiers et de nombreux sols ferrallitiques ou ferrugineux tropicaux dont la fertilité est concentrée dans les premiers centimètres l'érosion entraîne rapidement la perte de leur capacité de production (fig. 14).

### Les pertes en nutriments

Les pertes économiques dues à l'érosion peuvent être calculées en évaluant le coût des engrais nécessaires pour compenser les pertes de nutriments.

En basse Côte d'Ivoire (Roose, 1981), les pertes chimiques par érosion sont faibles sous forêt dense : 26 kg/ha/an de carbone, 3,5 kg d'azote, 0,5 kg de phosphore et quelques kilos de Ca + Mg + K. Ces pertes en nutriments sont facilement compensées par les remontées biologiques (litières) et les apports de nutriments par les eaux de pluie et les poussières. Par contre, sous cultures extensives couvrant mal le sol, les pertes par érosion s'élèvent à 98 kg d'azote,

57 kg de chaux, 39 kg de magnésie et 29 kg de potasse et de phosphore. Pour compenser ces pertes par des engrais du marché, il faudrait apporter 7 tonnes de fumier frais, 470 kg de sulfate d'ammoniaque, 160 kg de superphosphate, 200 kg de dolomie et 60 kg de chlorure de potasse. Il n'est donc pas étonnant qu'en région humide de Côte d'Ivoire, les sols soient épuisés après deux années de culture d'autant plus qu'il faut y ajouter les exportations par les récoltes et les pertes par drainage (800 mm/an) des éléments solubles (N, K, Ca + Mg).

Au Zimbabwe, M. STOCKING (1986), se basant sur les analyses des terres érodées sur les parcelles de Hudson et sur la carte d'occupation des sols, a calculé que le pays perdait chaque année 10 000 000 tonnes d'azote et 5 000 000 tonnes de phosphore du fait de l'érosion, soit 117 millions de dollars.

Au Maroc, une enquête sur les pertes de nutriments a montré qu'elles sont beaucoup plus modestes (50 \$/ha/an) car l'érosion en nappe est modeste (MERZOUK, 1987). Ce même auteur a étudié le phosphore dans les sédiments des lacs de retenue du Maroc : il montre que les pertes en phosphore par les rivières sont impressionnantes.

Au Mali, le modèle USLE (voir p. 51) a été utilisé pour évaluer à long terme les pertes en terre sur les versants cultivés et estimer les pertes en engrais (BOJÖ, 1996) : la fourchette de perte annuelle d'engrais varie de 2,6 à 11 millions de dollars US de 1989 (BIED-CHARRETON, 2008).

En Éthiopie, les pertes annuelles d'azote observée dans les sols varient de 46 à 544 US\$. Heureusement, les nutriments qui sortent des parcelles ne sont pas définitivement perdus pour le pays : une partie est récupérée en bas de pente sur les colluvions et dans les alluvions des plaines irriguées, une autre va nourrir les poissons ou causer l'eutrophisation des rivières et des lacs. Lorsqu'on cherche à intensifier la production en apportant les engrais souhaitables, il faut d'abord prévoir la réduction de l'érosion et du ruissellement qui déséquilibrent fortement le bilan hydrique et chimique des sols cultivés (ROOSE, 1980).

Bien que toutes ces approches aient des limites et soient généralement sous-estimées, on peut conclure que les coûts de dégradation des terres des pays arides et semi-arides se situent au niveau de 0,5 à 1,5 % du PIB annuel, ce qui annule la faible croissance de ces pays (BIED-CHARRETON, 2008).

### **Importance des pluies exceptionnelles et efficacité de la LAE,**

Il est bien connu que les averses exceptionnelles entraînent généralement de gros dégâts : mais l'importance relative de ces dégâts varie en fonction des types climatiques.

En milieu tempéré, W. Wischmeier a montré que c'est la somme de toutes les pluies de plus de 12 mm qui détermine le niveau annuel de l'érosion à l'échelle des parcelles. En régions subéquatoriales et tropicales (Côte d'Ivoire et Burkina Faso), il semble qu'il en soit de même (ROOSE, 1973). Par contre, là où les cyclones sont fréquents, les averses sont telles (200 à > 500 mm) qu'elles marquent profondément le paysage pour des siècles (ravines régressives, large lit

des rivières, abondance des alluvions). De même en zones semi-arides, sahélo-sahariennes ou méditerranéennes, il peut ne rien se passer pendant des années, puis brutalement à l'occasion d'une averse ou d'une série d'averses, l'allure du paysage est modifiée en quelques jours : ravines profondes, glissements de terrain, sapement des berges, sédimentations abondantes dans les plaines inondées (cas de la Tunisie en 1973 : CLAUDE *et al.*, 1976).

De même au Maroc en 2005, un orage en montagne a déclenché une crue brutale dans l'oued Ourika près de Marrakech dans le Haut Atlas, noyant plus de 1 400 personnes prisonnières de la vallée étroite, emportant les ponts, le camping et les véhicules et déplaçant des blocs de roches métriques des sommets jusque dans la vallée, causant d'énormes dégâts dans les habitations et emportant les aménagements de terrasses dans le lit de l'oued.

En hydrologie, il est généralement admis qu'au-delà d'un certain volume de pluie (> 200 mm) caractérisée par une forte intensité ou une longue durée, le milieu est saturé et le ruissellement atteint 100 % de la quantité d'eau. Dans le cas de ces pluies exceptionnelles de retour très variable en fonction du sol, du couvert végétal et de l'aménagement, on se trouve confronté à des débits de crue très importants et à des transports solides suite à des reprises de matériaux dans le lit, sur les berges et les basses terrasses. Cependant, au niveau du versant, plus on trouve des aménagements antiérosifs pertinents (haies, terrasses progressives, talus enherbés, paillage et couvert végétal dense) et moins il faudra craindre de dégâts durant ces averses de fréquence rare.

### **Les pertes de production dues au ruissellement à court terme**

La production de biomasse, dans les pays chauds temporairement arides, dépend de la fertilité des sols et encore plus de l'eau disponible au moment où la plante cultivée en a besoin.

Si on évalue grossièrement le bilan hydrique (ROOSE, 1980), on constate qu'en zone subéquatoriale le développement d'un ruissellement de 25 % (ce qui est fréquent sous céréales, manioc et autres cultures sarclées) entraîne une réduction du drainage au-delà une certaine profondeur, mais il n'y a pas de différence sur l'évapotranspiration ni sur les rendements des cultures.

Par contre, en zone semi-aride (pluies < 700 mm) le même ruissellement, effectivement observé sous cultures vivrières, entame non seulement la possibilité de drainage (donc d'alimentation des nappes), mais réduit également l'évapotranspiration et donc le potentiel de production de biomasse. En réalité en zone aride, l'effet dépressif du ruissellement sur la production est encore plus grave si, du fait d'un fort ruissellement, l'eau stockée dans le sol vient à manquer en début de cycle de culture (le retard des semis d'une semaine peut entraîner une perte de 10 % des rendements en grains), en cours de floraison (peu d'épis fécondés) ou en fin de cycle (remplissage imparfait des grains).

En zone sahélienne ou méditerranéenne, il faut souligner aussi l'influence dégradante du ruissellement lors des premiers orages très violents qui « nettoient » la surface du sol des résidus organiques et déjections animales accumulées au cours

de la saison sèche. Ces pertes de MO entraînent inexorablement la baisse de la productivité des terres sur les grands glacis défrichés et souvent la pollution des eaux en aval et l'eutrophisation des lacs de retenue.

Un autre effet dangereux du ruissellement, quel que soit le climat, est de réduire le temps de concentration des eaux de surface, de réduire les débits d'étiage des rivières et donc l'eau disponible pour l'irrigation d'un terroir et d'augmenter les débits de pointe, donc les transports solides et le dimensionnement des ouvrages d'art.

Les hydrologues recherchent des bassins à forte hydraulicité pour alimenter les lacs et les réservoirs qui desservent les réseaux de distribution urbains. Par contre, les agronomes recherchent des techniques culturales qui assurent une bonne infiltration des pluies et une bonne évapotranspiration nécessaire à la production végétale. Hydrologues et agronomes recherchent des eaux claires de

#### Encadré 2

##### Effets de la LAE sur le bilan hydrique en fonction du climat régional

###### En zone semi-aride

Du point de vue agronomique :

augmentation du stock d'eau disponible, de l'ETR et de la biomasse, éventuellement des rendements en grain

Du point de vue hydrologique :

réduction des débits de pointe des rivières, des transports solides et de l'écoulement total annuel. Stabilisation des ravines et des rivières

###### En zones humides

Du point de vue agronomique :

- faible augmentation du stock d'eau du sol disponible pour les cultures, donc de l'ETR, de la biomasse et des rendements
- forte augmentation des risques de drainage et de lixiviation des engrais solubles
- nécessité d'intensifier l'ETR (agroforesterie + cultures associées) pour réduire la lixiviation des nutriments et l'acidification du sol.

Du point de vue hydraulique :

- réduction des débits de pointe de crue des rivières
- stabilisation des ravines et rivières
- réduction des transports solides
- augmentation des débits de base, des étiages et de l'eau utile pour l'irrigation.

###### En conclusion

La LAE et l'amélioration de l'infiltration des pluies au champ seront mieux appréciées par les paysans en zone semi-aride où elle améliore la production de biomasse, qu'en zone humide. Elle doit s'accompagner d'une intensification de la culture (forte densité, cultures associées) et d'une saine gestion des nutriments tenant compte à la fois des risques d'érosion et de drainage.

bonne qualité et une distribution étalée des débits tout au long de l'année, ce qui est conforme aux objectifs d'un bon aménagement GCES. Cependant, dans les zones arides, cette eau provient de certaines surfaces de versants qui servent d'impluvium d'où elle est acheminée sur des surfaces restreintes pour assurer la croissance des cultures (*runoff farming*) (CHRITCHLEY, REIJ, SEZNEC, 1992 ; VALET, 2008).

En conséquence, la lutte contre le ruissellement (ou la GCES), peut avoir des conséquences très différentes selon le bilan hydrique des parcelles (encadré 2).

En région humide, la réduction du ruissellement peut engendrer une légère amélioration de l'ETR (donc du rendement des cultures), mais surtout une augmentation des risques de drainage et de lixiviation des nutriments solubles (les engrais azotés et potassiques en particulier) mais aussi l'amélioration du débit de base (les nappes sont mieux alimentées) et de l'étiage des rivières. Dans ce cas, il faut faire appel à l'agroforesterie pour améliorer l'ETR et la productivité des sols. Un simple paillage ou un semis direct sous litière peut entraîner l'augmentation du drainage et de la lixiviation de l'azote, au point d'exiger un apport complémentaire d'azote pour compléter l'alimentation azotée des cultures. Au Cameroun, après un semis direct sous litière, il a suffi d'ajouter 20 unités d'azote pour que la culture de coton retrouve une bonne vitalité (couleur vert foncé des feuilles).

En région semi-aride, la réduction du ruissellement grâce à la GCES augmente le stock d'eau disponible pour l'ETR et donc la production de biomasse et les rendements des cultures. Vu l'impact de la GCES sur les rendements des cultures, les paysans accepteront plus facilement les techniques innovantes.

### **La réduction à long terme du potentiel de production du sol par l'érosion**

Le ruissellement et l'érosion en nappe ont une influence néfaste sur la production immédiate des cultures en place, mais ils peuvent aussi modifier progressivement les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol, surtout par érosion sélective des particules de sols et réduire les potentialités à long terme de certains sols, en particulier des sols peu épais et des sols forestiers (dont la fertilité est concentrée en surface). On peut se demander s'il est possible de restaurer la productivité de ces terres, en augmentant la productivité de certains sols en injectant des engrais organiques et minéraux.

Nous avons vu plus haut les résultats encourageants obtenus sur des sols sableux du Nord-Cameroun et des sols ferrallitiques acides du Burundi.

Au Nigeria, R. LAL (1983) a abordé le problème de l'impact de l'érosion sur la productivité d'un alfisol (sol ferrallitique remanié) de trois points de vue différents. Sur 24 parcelles d'érosion (125 m<sup>2</sup>) de 1-5-10-15 % de pente, soumises à divers traitements, il a mesuré divers taux d'érosion cumulée et calculé l'influence dépressive de l'érosion sur les caractéristiques de l'horizon superficiel (20 cm) de sol. L'analyse par régression multiple de l'effet de trois propriétés du sol sur

les rendements du maïs indique que ces changements du sol par l'érosion ont eu un effet significatif sur les rendements en grain du maïs.

$$\text{Rdt maïs grain} = 1,79 - 0,007 E + 0,7 \text{ Co} + 0,7 \text{ Po} + 0,002 \quad r = 0,90$$

Le rendement en maïs grain diminue avec l'érosion cumulée (E), mais augmente avec le taux de carbone organique (Co) la porosité totale (Po en %) et la capacité d'infiltration (Ic en cm/heure).

La réduction de la productivité du sol par l'érosion pourrait donc être compensée essentiellement par un apport de MO et secondairement par des techniques culturales qui améliorent la porosité du sol, sa capacité d'infiltration et de stockage de l'eau du sol.

Ayant obtenu des niveaux d'érosion variables sur ces parcelles, R. Lal a suivi pendant quatre saisons culturales le rendement en maïs grain soumis au même traitement cultural et à un niveau moyen de fertilisation (40 + 80 N + 26 P + 30 K/ha).

Comme prévu, l'érosion la plus faible a été observée sur les parcelles de 1 % de pente. Mais les meilleurs rendements ont été obtenus sur les parcelles de 5-10 et 15 % de pente !

En moyenne, la production de maïs grain a diminué au rythme de 0,26-0,10-0,08-0,10 t/ha par mm de sol érodé pour des pentes de 1-5-10-15 % de pente. Le taux de réduction sur la pente de 1 % est donc 2 à 3 fois plus fort que sur les pentes fortes plus érodées. Cela pourrait s'expliquer par la battance des pluies qui favorise un encroûtement plus rapide sur pente faible (voir ROOSE 1973-1977).

Il semble qu'au seuil de 4 mm d'érosion sélective (60 t) cumulée en six ans, le rendement en maïs diminue rapidement. Le taux de tolérance serait donc de l'ordre de 10 t/ha/an pour ce type de sol et de culture.

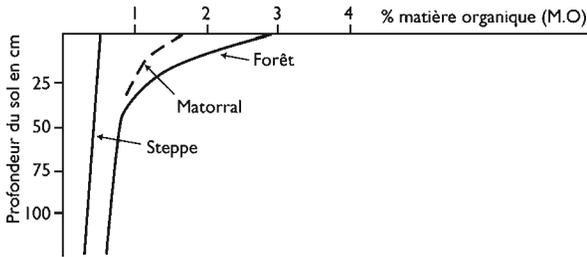
Pour accélérer les expériences, R. Lal a décapé mécaniquement la surface de la parcelle de 1 % de pente jouxtant les parcelles d'érosion sélective. Le sol a été décapé de 0-10 et 20 cm et soumis à trois niveaux de fertilisation (N = 0-60-120 kg/ha et P = 0-25 et 75 kg/ha) selon un dispositif en « *split-plot* ». Tous les traitements ont été répétés trois fois sur une terre cultivée sans travail du sol. Il est important de noter que l'effet positif de l'apport azoté ne s'est manifesté que sur les parcelles non décapées. L'érosion accélérée peut donc réduire la productivité des sols peu profonds de façon irréversible. Enfin, la réduction de production en grain et paille est plus forte pour le décapage des premiers centimètres de l'horizon superficiel.

Si on compare les pertes de productivité par décapage artificiel (0,013 t/ha/mm érodé) et par érosion sélective naturelle (0,26 t/ha/mm), on observe ici aussi que les effets de l'érosion en nappe sélective naturelle sont 20 fois plus graves que le simple décapage mécanique car l'érosion en nappe évacue sélectivement les éléments les plus fertiles : les MO, les argiles et limons et les nutriments les plus solubles.

Ces expériences de R. Lal sur un sol ferrallitique (alfisol) peu profond, de T. Rishirumhirwa sur un sol ferrallitique acide et de Z. Boli sur un sol sableux ferrugineux, montrent bien à quel point l'érosion en nappe, peu apparente sur le

Encadré 3

La sélectivité de l'érosion en nappe et ses conséquences sur le long terme



**L'érosion en nappe est dangereuse car :**

- on la distingue mal car elle est du même ordre de grandeur que la respiration du sol ;
- elle réduit fortement la capacité d'infiltration des sols battants ;
- elle enlève sélectivement les particules légères (MO et argile) riches en nutriments ;
- elle accumule en surface les sables et cailloux stériles ;
- elle réduit progressivement la capacité de stockage de l'eau et des nutriments.

**Deux raisons pour expliquer l'érosion sélective**

- L'énergie du ruissellement en nappe sur les pentes douces est trop faible pour déplacer les particules grossières et les agrégats. En effet, la vitesse et la compacité du ruissellement restent faibles à cause de la rugosité de la surface du sol. Mais si le ruissellement s'accélère, apparaissent des rigoles et le décapage est total : l'érosion n'est plus sélective.
- La surface du sol est généralement plus riche en MO et nutriments, surtout sous forêt où la litière est abondante.

**Quatre conséquences**

- déséquilibre accéléré du bilan des nutriments ;
- perte des MO du sol (50 % en 4 à 10 ans) ;
- dégradation de la structure, de la macroporosité et de la capacité d'infiltration du sol ;
- squelettisation de l'horizon superficiel par accumulation de particules grossières.

**Conclusion**

L'érosion en nappe accélère la dégradation biologique, physique et chimique des horizons superficiels des sols cultivés.

terrain, peut avoir un impact grave à long terme sur la capacité de production des terres. Même si l'effet est modeste chaque année, cet effet dépressif s'accumule au cours du temps pour se manifester brutalement lorsque certaines propriétés du sol ont dépassé certains seuils de tolérance :

- taux de matières organique (0,6 %) et d'argile (10 %) ;
- stabilité structurale et de la capacité d'infiltration vu l'encroûtement rapide ;
- la capacité de stockage de l'eau et des nutriments.

Un sol dégradé par l'érosion est un « sol fatigué » qui réagit peu aux apports d'engrais minéraux : c'est le cas des sols peu profonds.

Au Maroc, une analyse socio-économique de la LAE dans le bassin du Loukas a été réalisée par un bureau d'étude marocain, Agroconcept. O. ALAOUI (1992) en a relevé les principales conclusions économiques :

L'attitude des paysans vis-à-vis de la DRS ne peut être prévue : elle dépend souvent des salaires attendus pour la réalisation des chantiers de LAE.

Les pertes potentielles par érosion en équivalents fertilisants s'élèvent à 100 \$ US en mai 1992. Le coût des pertes de rendement par érosion varie de 0 à 257 Dm<sup>1</sup> en 1990. Ces résultats confirment les perceptions paysannes sur les faibles coûts moyens de l'érosion par rapport au coût des autres facteurs de production. D'ailleurs, la valeur des terres varie peu en fonction des facteurs liés à l'érosion (pente, aménagement DRS), mais beaucoup plus en relation avec des facteurs de production tels que l'éloignement des pistes et du marché, le statut, les possibilités de mécanisation. De plus, les paysans ne considèrent que les phénomènes exceptionnels aléatoires et non la dégradation quotidienne par l'érosion en nappe. Cependant nous verrons au chapitre 8 qu'il est possible de restaurer la capacité de production d'un sol en respectant six règles de restauration rapide des sols.

La restauration des sols est donc possible, mais elle a un coût : le travail du sol, l'apport organique, le complément de nutriments, la protection contre tout ruissellement agressif (voir le zaï, fig. 24).

## Les nuisances en aval du ruissellement et de l'érosion

L'érosion accélérée dans les champs peut avoir des conséquences très variables sur les rendements des cultures (effet négligeable à fort). Mais le coût des nuisances à l'aval des champs érodés, des ravines et des oueds est généralement bien plus élevé (VOGT, 1979) : les effets sont beaucoup plus spectaculaires et justifient des interventions coûteuses de l'État. Telle, la RTM et la DRS qui ont pour objectif la protection des terres mais surtout la prévention de l'envasement rapide des lacs, la destruction des ouvrages d'art, des routes et des villages de montagne. Même la CES qui officiellement vise la conservation de la productivité des terres tente en réalité également de protéger la qualité des eaux de surface, si utiles aux citadins.

Les nuisances sont d'abord liées au ruissellement et à la baisse de la qualité des eaux des rivières due à la présence des suspensions et des nutriments (N + P + K) : ceux-ci provoquent l'eutrophisation des étangs, leur envahissement par des algues qui vont asphyxier les poissons. Par ailleurs, en saison sèche, le faible débit d'étiage des rivières n'arrive plus à évacuer les polluants rejetés par les industries, les cultures et les élevages : d'où l'eutrophisation des oueds et la mort de nombreux poissons.

1. 1 euro = environ 11 dirhams marocains (Dm) en 2009.

Les nuisances proviennent aussi des coulées de boues déposées au bas des champs, dans les fossés, les routes et les maisons lors des forts orages. Plus tard, on retrouve des masses considérables de sédiments dans les lacs, les canaux, les oueds et les ports. Ces nuisances affectent la durée de vie des réservoirs qui varie considérablement en fonction de la taille du réservoir et de son environnement : de 2 à 50 ans pour les petits barrages collinaires, de 20 à > 200 ans pour les grands barrages (ALBERGEL *et al.*, 2008).

Le coût de l'envasement d'un barrage produisant de l'électricité a été évalué au Maroc. Sur le bassin du Loukkos, les coûts et avantages liés au barrage se présentent sous la forme de deux courbes. La courbe des avantages croît avec le temps et avec l'extension des utilisations qui valorisent l'eau. La courbe des coûts décroît avec le passage des investissements de construction à ceux des entretiens.

Deux simulations ont été faites de la gestion de la retenue du Loukkos :

- la première au rythme d'envasement annuel enregistré pour la période 1979-1990, soit 35 millions de mètres cubes par an ;
- la seconde avec une accélération de 50 % de l'envasement suite à l'extension des cultures.

Le coût de l'envasement est alors calculé comme la différence des productions obtenues dans ces deux situations valorisées aux prix économiques.

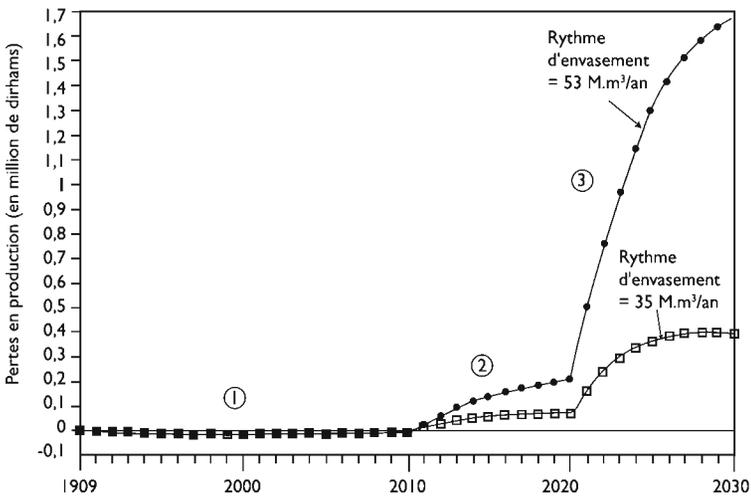
Tant que la demande agricole d'eau d'irrigation ne dépasse pas le seuil de 50 % de la retenue, la réduction de stockage d'eau par envasement du barrage se traduit par une fréquence accrue des déversements et une disponibilité plus grande des eaux qui dépassent la cote où le turbinage destiné à la production électrique est recommandé : c'est l'effet positif de l'envasement sur la production électrique (fig. 15). Mais avec la croissance de la demande agricole à l'horizon 2020, l'effet majeur de l'envasement se traduit par la réduction de la fourniture en eau pour l'irrigation.

La courbe des coûts a été obtenue en valorisant la production énergétique et l'eau d'irrigation à leur coût d'opportunité (0,7 Dm/kwh) : le coût économique de la production énergétique de substitution et les valeurs de la production agricole perdue (0,4 Dm/m<sup>3</sup>).

Si on ramène le coût de l'envasement au mètre cube de sédiments selon diverses hypothèses relatives au taux d'actualisation et au coût d'opportunité de l'eau, on obtient des indicateurs des coûts aval de l'érosion, utilisables dans la justification des investissements de conservation des sols.

Si la valeur du mètre cube d'eau d'irrigation varie de 0,4 à 1 Dm/m<sup>3</sup>, le coût du mètre cube de sédiment varie de 0,03 à 0,28 Dm/m<sup>3</sup>.

En résumé, cette simulation indique que, dans ce site, le choix de techniques mécaniques à effets immédiats (terrassements) n'est pas justifié par des raisons de lutte contre l'envasement, si elles sont plus coûteuses ou moins fiables à moyen terme que les techniques de conservation biologiques à effet décalé dans le temps comme la reforestation et les cultures couvrantes, les haies vives et la végétalisation des ravines et des berges.



- ① avant le remplissage de la tranche d'eau morte
- ② les déversements plus fréquents augmentent la production d'électricité par turbinages plus fréquents
- ③ perte d'eau d'irrigation

Fig. 15  
Coût aval de l'augmentation du rythme d'envasement au barrage de Loukkos  
(d'après ALAOU, 1992).

## Conséquences : la rationalité économique de la GCES

Jusqu'ici, la lutte antiérosive était conçue comme un moyen de conserver la productivité des terres à long terme : il était donc difficile de justifier la rentabilité à court terme des projets de LAE. Face à l'immensité de la tâche de protection des sols, des sommes importantes ont été consacrées à des programmes de conservation des sols. Cependant, leur efficacité a été faible (HUDSON, 1991) à cause du type d'approche mécanique utilisée et de méthodes peu appropriées aux conditions socio-économiques du milieu rural. Les sommes disponibles étant limitées, il faut maintenant rechercher les méthodes les moins chères et les plus durables.

Or, il est possible de raisonner sur les choix des sites d'intervention en fonction des objectifs des projets de LAE. À la figure 16, apparaît une différence de réaction de deux types de sols face à l'érosion. Sur la courbe 1, on observe que la perte de productivité d'un loess profond (d'un sol argileux ou d'un vertisol épais) reste faible, même si l'érosion est forte car le sol fertile est épais et sa capacité à stocker l'eau et les nutriments n'a guère diminué. Par contre, la courbe 3 montre la perte rapide de production d'un sol forestier (ex. sol fersialitique) où la fertilité est concentrée en surface.

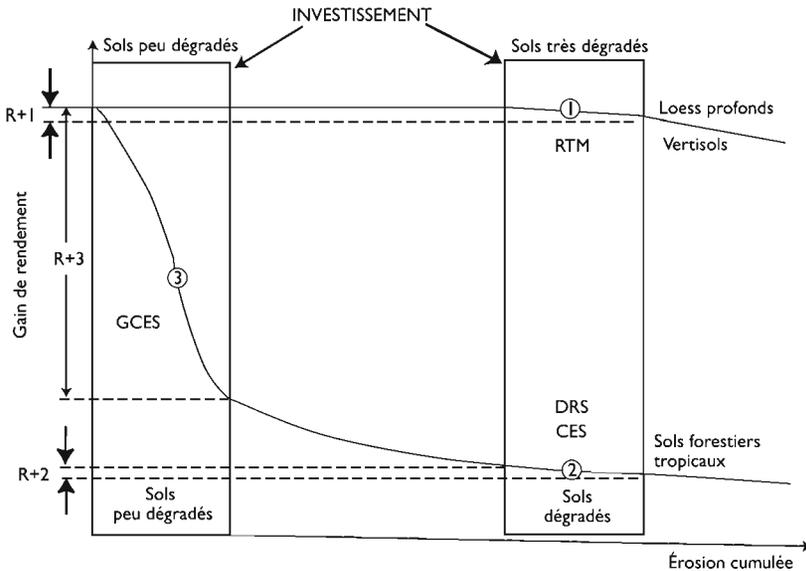


Fig. 16

Rationalité économique des stratégies de lutte antiérosive (d'après ROOSE, 1994).

Les stratégies de DRS, CES ou RTM jusqu'ici appliquées par les forestiers et les aménagistes consistent à intervenir là où les transports solides sont les plus élevés : sur les pentes fortes, les ravines, les sols épuisés. Or on constate que l'impact de cette LAE conventionnelle est très faible sur la productivité des terres très dégradées (rendements différentiels  $dRt_1$  et  $2$  sur la fig. 16) : d'où la réticence des paysans devant les aménagements en banquettes imposés, car elles n'améliorent guère la productivité du sol « aménagé » et imposent des restrictions au pâturage libre.

Pour obtenir une forte amélioration de la productivité des terres ( $dRt_3$ ), ce n'est pas sur les terres épuisées qu'il faut investir, ni sur les sols riches et profonds (courbe 1) mais sur les sols dont la fertilité des horizons superficiels est encore satisfaisante : la courbe 3 est beaucoup plus raide en cas de faible érosion que lorsque les sols sont déjà trop dégradés. Ainsi, sur les essais de T. Rishirumuhirwa au Burundi, les apports de fumier et nutriments sont beaucoup plus efficaces sur les parcelles protégées par un paillage (non érodées) que sur la parcelle nue dégradée. L'approche « Mieux vaut prévoir que guérir », préconisée par la GCEs, vise l'amélioration des systèmes de production pour un meilleur stockage des eaux pluviales dans le sol, une plus forte production de biomasse, une meilleure couverture du sol et, par conséquent, beaucoup moins d'érosion.

Cependant, pour des raisons sociales, on ne peut abandonner les terres dégradées peu rentables et les paysans pauvres qui y vivent : cela accélérerait l'émigration et les problèmes trop connus de déracinement des sociétés rurales et de dégradation généralisée de versants entiers. Il existe des régions de plus en plus

nombreuses où toutes les terres cultivables disponibles sont déjà occupées. Il ne reste que des terres fragiles ou déjà dégradées : les badlands, les ravines, les sols caillouteux, etc. En Inde, certains projets distribuent ces terres ingrates aux « sans terre » afin qu'ils aménagent en jardins les ravines avec l'aide des ONG. Au Burkina Faso, les « zipellés », glacis désertifiés du plateau central, sont actuellement récupérés en un an grâce à la méthode traditionnelle du zaï qui exige beaucoup de travail, la maîtrise du ruissellement et des apports de fumier et de compléments minéraux (ROOSE *et al.*, 1993).

Au Maroc, nous avons observé une trentaine d'aménagements de GCES traditionnels, plus ou moins fonctionnels ou restaurés par les paysans. Nous avons donc eu l'idée de proposer des aménagements que connaissent les sociétés rurales en fonction des zones agro-écologiques des montagnes du Maroc et d'améliorer leur valorisation par l'introduction de techniques modernes : fertilisation organique et minérale raisonnée en fonction des besoins des cultures, quantité et fréquence convenables de l'irrigation, choix de systèmes de cultures bien payées, simplification des systèmes de CES, valorisation directe des produits par les paysans.

Ces différents types d'aménagement sont décrits dans les parties 2 et 3 de cet ouvrage.

## Partie 2

# Le Maroc, terre de tradition agricole



Dans une première partie, nous avons rappelé les définitions des processus d'érosion, les faits historiques marquants de par le monde, le contenu des manuels conventionnels de lutte antiérosive et décrit l'évolution des stratégies et techniques et leurs implications socio-économiques.

Dans cette deuxième partie sont présentés les milieux physiques et humains du Maroc (chapitre 5), puis les techniques traditionnelles de gestion de l'eau et de la fertilité des sols observées dans les montagnes du Maroc ces dix dernières années. Nous détaillons d'abord les techniques isolées de gestion conservatoire des eaux et des sols sous forme de 30 fiches descriptives, en soulignant les avantages et inconvénients ainsi que le coût de leur mise en place et de leur entretien. Ces fiches analytiques sont classées en fonction du mode de gestion des eaux sur les versants, dans les ravines et dans les hautes vallées. Nous proposons ensuite quelques améliorations et les pratiques culturelles plus adaptées à chaque mode de gestion des eaux (chapitre 6).

Enfin, nous décrivons la répartition spatiale de grappes de techniques réparties sur des toposéquences ou des bassins versants dans les sept zones du Maroc où les conditions écologiques et sociales entraînent des traitements de GCES différents (chapitre 7). Ces zones diffèrent en fonction du climat (pluie et aridité), du relief (altitude et pentes), des sols (profondeur et présence de cailloux) et des conditions socio-économiques (agriculture familiale ou grandes exploitations, éleveurs nomades, irrigation, etc.).

# Le contexte de la lutte antiérosive au Maroc

*Abdellah LAOUNA*

## Introduction

Le Maroc est un des pays méditerranéens du nord du Sahara ayant une réelle tradition agricole, dans un contexte de diversité, due à la fois aux conditions naturelles et aux péripéties de l'histoire. Au sein du même finage tribal ou villageois, l'espace rural est caractérisé par une cohérence essentiellement basée sur la complémentarité des terroirs de culture et des terres de parcours. Chaque espace villageois a son type d'exploitation, son type d'habitat (ksar saharien, gros douar, hameau, ferme isolée), ses relations avec un ou plusieurs marchés hebdomadaires (souks) et sa panoplie de techniques de gestion des terres et des eaux.

Au cours du temps, la civilisation agraire marocaine a apporté diverses solutions au problème de la protection des équilibres naturels, à travers des dispositifs de terrassement dans certaines montagnes, un mode de culture itinérante sur brûlis dans d'autres situations ou à travers une occupation pastorale extensive dans les régions plus arides. Au xx<sup>e</sup> siècle, les colons ont occupé les meilleures terres dans les plaines atlantiques, le Saïs de Meknès et de Fès, le Haouz de Marrakech, le Souss et ont bouleversé la cohérence traditionnelle en empêchant le fonctionnement normal des déplacements de transhumance entre les montagnes et les plaines avoisinantes. L'accentuation de la dégradation fait suite à la crise née de cette mainmise, lorsque les populations dépossédées des moyens de subsistance n'ont plus eu la possibilité de viser la conservation, car elles ont été repoussées sur les terres marginales fragiles et ont vu se restreindre leur liberté et leurs moyens.

Aujourd'hui, deux types d'espaces et d'exploitation coexistent : d'une part, les terres où des techniques modernes sont employées en vue d'une production spéculative, dans une logique avant tout productiviste ; d'autre part, des terres agricoles souvent morcelées en petites exploitations où les techniques demeurent globalement traditionnelles et la production orientée vers la subsistance. C'est dans ce type de terres que l'on peut trouver des pratiques de gestion conservatoire des eaux et des sols (GCES).

## Les facteurs écologiques, sociaux et culturels

Dans la littérature, les pratiques d'utilisation des terres sont souvent taxées de responsables de dégradation des ressources. Cela se vérifie dans de nombreux cas ; mais l'homme a aussi développé des pratiques et des techniques conservatoires de l'eau et de la fertilité des sols. Cette gestion conservatoire des eaux et des sols et, plus particulièrement les techniques traditionnelles, occupe une place importante dans les systèmes agraires marocains, notamment dans les régions marginales, de montagne ou de climat semi-aride.

### **Les contextes géographique et social**

La relation [démographie  $\Rightarrow$  dégradation  $\Rightarrow$  efforts de conservation] est complexe. La densification humaine, responsable de pression sur les ressources, pousse normalement à pratiquer une gestion conservatoire, jusqu'à un certain seuil ; au-delà, le comportement devient peu protecteur.

À l'inverse, l'émigration massive entraîne l'abandon de l'entretien des aménagements édifiés durant des générations, du fait de l'intérêt limité qu'y portent les jeunes exploitants. L'abandon des pratiques anciennes de gestion conservatoire s'explique par diverses raisons, notamment l'exigence d'entretien pour une rémunération modique de l'effort, alors que la journée de travail est beaucoup mieux rémunérée en ville ou à l'étranger. Mais parfois l'émigration peut amener des moyens externes, réinvestis par la population restée sur place, dans des opérations productives, mais aussi dans des pratiques de conservation et d'appropriation des terres. Plus récemment, l'approche participative et le désengagement de l'État ont remis au-devant de la scène les pratiques locales, dans les politiques d'aménagement des bassins versants, des parcours ou des terres agricoles.

Les techniques dites traditionnelles sont souvent endogènes ; mais parfois, ce sont des migrants ou l'administration qui les ont introduites, les populations locales les ont alors assimilées et reproduites.

Sur le terrain, ces dispositifs correspondent à trois types de situations :

- une gestion conservatoire ancienne, bien ancrée dans le système agraire, avec des techniques lentement mises en place, une évolution progressive et une adaptation aux conditions locales ;
- des techniques mises en place très récemment, avec les moyens limités de la population locale et les revenus de l'émigration. Ces techniques ont été introduites par des migrants revenus dans le douar d'origine ;
- des aménagements utilisant la technologie moderne, initiés par des ingénieurs et des techniciens, dans le cadre de projets et que des individus ont parfois reproduits sur leur terre avec leurs propres moyens.

Ces pratiques locales sont suffisamment variées dans l'espace pour mériter un effort de spatialisation. En effet, l'analyse de la distribution spatiale s'avère nécessaire pour prendre en compte les profondes disparités régionales en délimitant, à l'intérieur du territoire national, des unités homogènes, en termes de contexte économique, de processus et de solutions à envisager, sur la base de critères écologiques, humains et technologiques, ainsi que sur le plan du niveau actuel des ressources et des potentialités de développement.

Cette spatialisation a un objectif principal, celui de présenter aux aménageurs, souvent réticents à recommander l'utilisation de ces techniques « traditionnelles », une palette de procédés, adaptés aux conditions locales car fondés sur une lente acquisition de savoir-faire sur plusieurs générations. Ces procédés sont par ailleurs en symbiose avec les conditions de climat, de relief, de sols, de disponibilité de l'eau. Ils sont aussi fonction du genre de vie des populations, de leur système de production et de leur degré d'organisation ; en un mot, ils reflètent le contexte naturel et social régional.

Cette spatialisation n'a pas qu'un objectif de connaissance ; elle a aussi un but pratique d'action. Il s'agit de se fonder sur les pratiques en présence, pour proposer des formes d'inspiration pour les projets de gestion conservatoire des terres. Il s'agit d'en comprendre la mise en place, le fonctionnement, ainsi que les possibilités d'extension et de généralisation. Cela nécessite que l'on parvienne à proposer des possibilités de modernisation, grâce à l'utilisation de tout ce qu'offre la recherche technologique comme perspectives, pour faciliter la mise en place de ces pratiques et en diminuer la pénibilité et le coût en heures de travail. Ainsi, il sera possible de convaincre que ces dispositifs de GCES améliorés et les systèmes agraires qui les ont engendrés peuvent être proposés comme alternatives. Mais pour cela, il y a une condition majeure, c'est que ces propositions ne s'arrêtent pas à la lutte antiérosive qui n'intéresse pas directement les exploitants, mais concernent aussi l'augmentation de leur productivité.

À la suite d'une évaluation de l'existant dans les différentes régions marocaines et d'une étude comparative, des « grappes » d'aménagements possibles pourront alors être proposées, comme alternatives aux situations de dégradation existantes et comme moyen d'améliorer les dispositifs en présence, en fonction du contexte agro-écologique et social. Les aménageurs auront alors la possibilité d'opérer des choix de techniques, parmi les mieux adaptées et en fonction des capacités de mobilisation locale du travail communautaire.

## **Les méthodes d'étude**

Dans la délimitation des espaces, nous nous sommes limités à des échantillons de zones décrites comme étant représentatives de la variété de conditions naturelles et sociales et comme présentant une panoplie de systèmes de GCES suffisamment variés. Ces unités ont été plus particulièrement analysées, discutées avec les paysans pour définir leurs avantages et inconvénients

Les zones de grande culture, notamment en milieu sub-humide ou même semi-aride, mais sans déficits majeurs et permanents en eau et les grands périmètres d'irrigation ne montrent pas de dispositifs particuliers de gestion conservatoire des sols. L'eau est par contre retenue et stockée de diverses façons dans les régions agricoles à tendance aride et à nappe phréatique pauvre ou peu accessible.

## **Les objectifs des aménagements**

Un gradient en fonction du climat peut être discerné.

– En zone humide et sub-humide, il faut à la fois se protéger contre l'eau en excès – générant soit du ruissellement et de l'érosion hydrique, là où les états de surface des sols sont fermés, soit des glissements et des affaissements, là où prime l'infiltration –, mais aussi accroître le rendement et donc profiter de l'eau quand les cultures en ont besoin. Dans ces milieux, les aménagements sont étendus et pourraient intéresser la totalité des espaces en pente, hors forêt. Pourtant, on constate leur absence de nombreux secteurs, parce qu'on peut arriver à produire sans aménagements, en zone humide, même si la menace d'érosion y est très grande. C'est le cas dans la montagne rifaine.

– En zone semi-aride, en dehors des zones de plaine, la culture en sec devient aléatoire ; sur les pentes, il faut donc capter les eaux de surface sur les versants pour les stocker (cuvettes d'infiltration, citernes, mares) ou les orienter vers des piémonts et glacis à sols plus épais ; là, les techniques culturales sont particulièrement adaptées à concentrer l'eau et les nutriments vers les plantes cultivées (billonnage cloisonné, planches, microbarrages, cuvettes pour les arbres fruitiers).

– En zone aride, il faut se protéger contre les épisodes de crues dans les fonds de vallées et disposer d'espaces plans irrigables (terrasses des fonds de vallée en plus de quelques sites de sources). Les aménagements sont ainsi circonscrits à la SAU et même à sa partie irriguée car, dans ces milieux arides, il n'est pas possible de produire hors des ouvrages de GCES.

La conservation du sol – sauf en ce qui concerne les actions de lutte contre l'érosion éolienne – comporte toujours une dimension gestion de l'eau. Mais l'objectif varie entre l'interception et le captage de l'eau pour en profiter, la diversion de l'eau pour s'en protéger ou enfin la dissipation de l'énergie de l'eau, sur les versants comme dans les ravins et les cours d'eau. Dans les régions montagneuses humides, toutes ces catégories d'actions peuvent s'associer, du fait de la nature du climat méditerranéen, caractérisé par des excès momentanés et des périodes de déficit en eau.

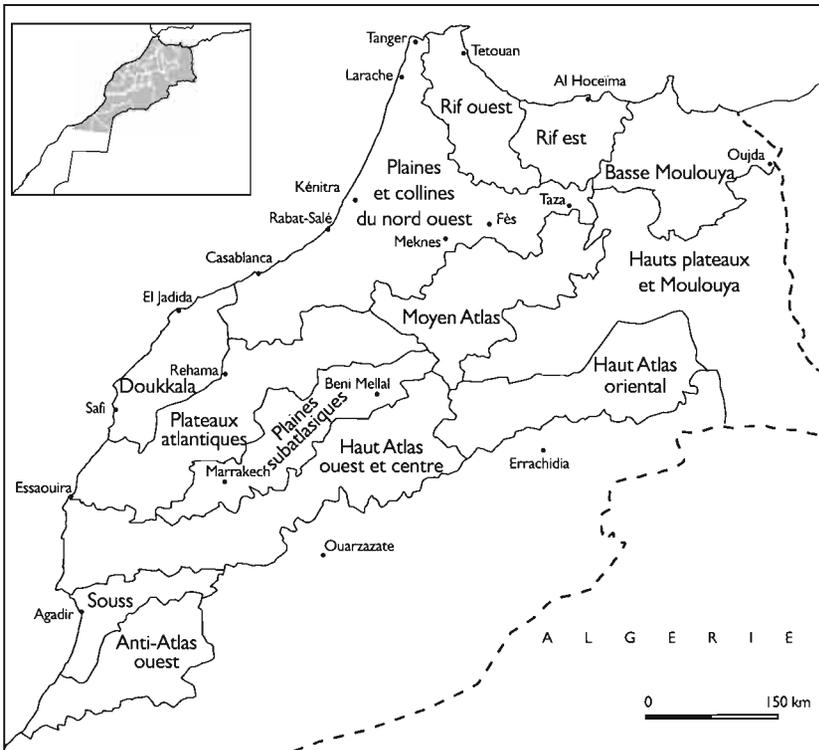


Fig. 17  
Carte des unités agro-écologiques du Maroc (d'après LAOUNA, 2009).

## Les critères principaux envisagés pour la distribution spatiale de la GCES

L'environnement du Maroc est caractérisé par sa variété, reflet des caractéristiques géographiques et notamment de la position du pays au sud de la Méditerranée, à une latitude subtropicale, en bordure du désert. La distribution du territoire selon les zones climatiques indique environ 560 000 km<sup>2</sup> en zone aride et saharienne, 100 000 km<sup>2</sup> en zone semi-aride et 50 000 km<sup>2</sup> en zone sub-humide et humide. L'essentiel du pays est donc situé dans le domaine aride à hyper-aride. Le relief joue un rôle non moins important dans la diversité des territoires.

### L'importance du relief dans la distribution des terres

L'espace marocain s'articule autour de chaînes de montagnes formant un domaine élevé de 300-400 km d'extension d'ouest en est, couvrant 21 % du ter-

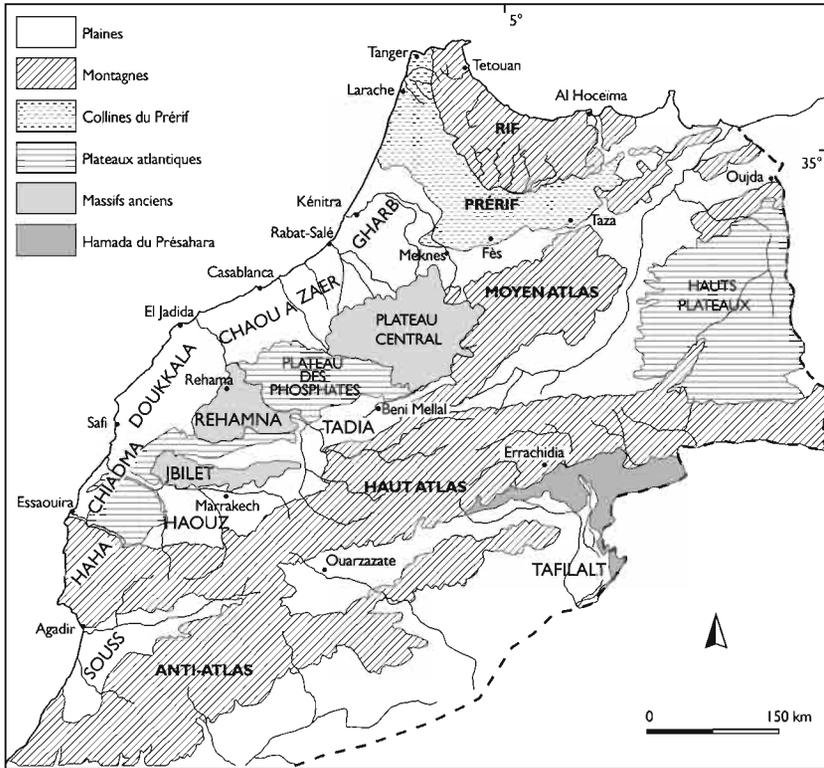


Fig. 18  
Carte du relief du Maroc.

ritoire national et subdivisé en masses étendues (Rif, haut plateau central, Moyen, Haut, et Anti-Atlas) et en massifs isolés (Bni Snassen, chaîne de Debdou-Jérada, Jbilet, Zerhoun). Les massifs montagneux sont bien individualisés, au cœur formé de roches dures, le Rif mis à part, ce qui explique les pentes fortes et les paysages cloisonnés. Dans le Rif, la proximité des niveaux de base et la vigueur du soulèvement récent expliquent la forte incision des vallées et la raideur des pentes. Les montagnes les plus élevées et disséquées représentent un milieu très difficile, car les conditions de relief et de climat imposent des contraintes particulières, alors que la population y est souvent trop nombreuse pour les ressources locales.

Au nord, le Rif s'étend en un grand arc de cercle de l'océan Atlantique à l'ouest, à la basse Moulouya à l'est. Il domine la Méditerranée par une côte rocheuse ; vers le sud, il s'abaisse plus doucement vers les collines prérijfaines. Peu élevé (le jbel Tidirhine, culmine à 2 465 m), le Rif, constitué surtout de roches schisteuses, marneuses et gréseuses, est très compartimenté avec des vallées encaissées, courtes et étroites, aux pentes abruptes, très incisées par l'érosion.

L'Atlas constitue un ensemble élevé et massif, allongé de l'Atlantique à la frontière algérienne, avec une largeur de 150 à 200 km. Les Haut et Moyen Atlas, montagnes jeunes, possèdent les plus hauts sommets (4 165 m au jbel Toubkal). Les reliefs élevés, les vallées étroites et profondes expliquent la difficulté des communications. Mais ces montagnes sont des régions riches en eau, couvertes de forêts et de pâturages, où le contraste entre les versants sud, plus exposés au soleil, et les versants nord est frappant.

Le vaste amphithéâtre du Maroc atlantique, constitué de plaines littorales (Gharb, Chaouia, Doukkala) et de plaines intérieures (Tadla, Haouz) séparées par des plateaux plus ou moins uniformes (Plateau central, Réhamna, Plateau des phosphates) est largement ouvert aux influences océaniques. À des conditions climatiques favorables s'ajoute la présence de bons sols et d'un potentiel d'irrigation important.

À l'est, au-delà du Moyen Atlas, la région de l'Oriental couvre des plaines (plaine méditerranéenne des Triffa, plaines intérieures d'Oujda-Taourirt, bassin de Guercif, moyenne et haute Moulouya) et de hauts plateaux (meseta marocoranaise) ; dans ces régions, l'aridité s'affirme alors que les sols sont peu profonds ; le couvert steppique originellement assez riche a été profondément dégradé. Cependant, des ressources en eau permettent d'installer quelques périmètres d'irrigation. Le pastoralisme constitue pourtant la ressource fondamentale de cette vaste région.

La zone saharienne et présaharienne s'étend au sud des chaînes atlasiques et relie le Maroc à l'Afrique tropicale. Ces régions sahariennes représentent sans doute le milieu le plus difficile, avec des chaleurs excessives, la violence des vents, la rareté de l'eau, le manque de protection végétale. La désertification menace les marges nord de ce domaine.

### **Le découpage climatique**

Le Maroc est entièrement soumis à un climat de type méditerranéen, à pluviosité concentrée sur les mois froids ou frais de l'année (de l'automne au printemps). La grande extension latitudinale du Maroc, l'importance des façades maritimes et la puissance du relief font que les éléments du climat présentent une grande variation géographique. Ainsi, les moyennes annuelles des précipitations varient de moins de 25 mm dans le Sahara jusqu'à près de 2 000 mm dans le Rif. Si l'on se place dans le cadre de la classification bioclimatique d'Emberger, tous les étages bioclimatiques sont représentés (étage de haute montagne, étages humide, sub-humide, semi-aride, aride et saharien), dans leurs variantes à hiver froid, frais, tempéré et chaud.

Partout, le climat est connu pour son irrégularité, le poids écrasant des sécheresses saisonnières ou même pluri-annuelles et, *a contrario*, l'effet dévastateur des crues subites. L'incertitude liée au climat demeure un fait fondamental. L'aridité impose ses marques même dans les zones les plus humides parce que la saison sèche peut se prolonger en automne ou au contraire débuter tôt au printemps, jusqu'à compromettre la culture d'une année. La sécheresse constitue

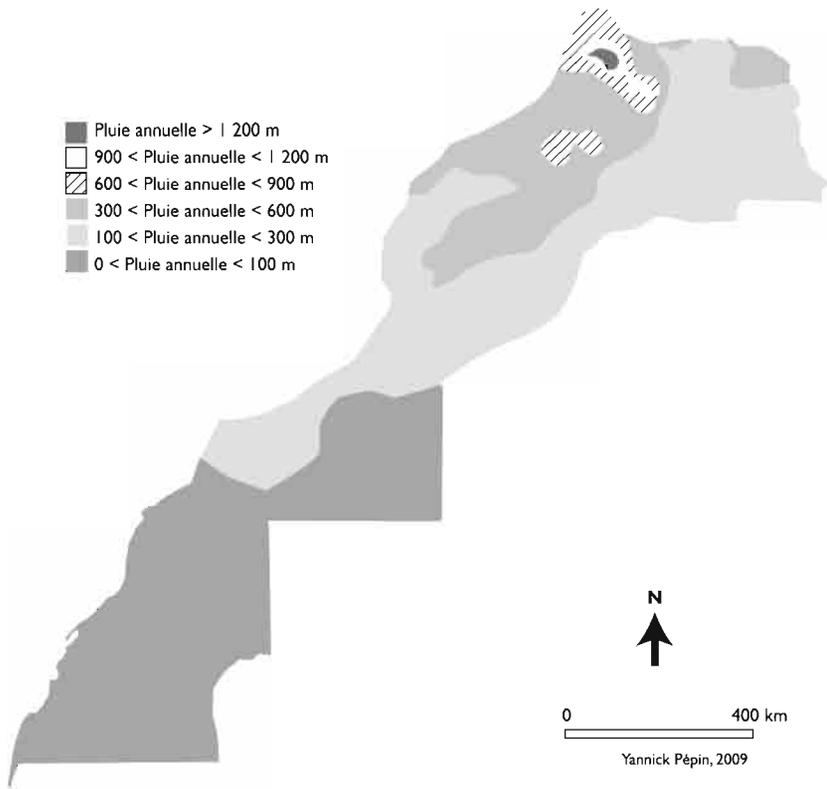


Fig. 19  
Carte des précipitations au Maroc.

donc une contrainte majeure, surtout si elle s'associe à d'autres risques tout aussi graves, comme la chaleur excessive et l'évaporation qu'elle entraîne, les vents continentaux chauds et desséchants ou même des crues dévastatrices, sans utilité pour l'humidité des sols et la reconstitution des nappes et provoquant au contraire des destructions réduisant sensiblement la production.

Le rôle fondamental du relief et de son orientation doit être signalé, notamment sur les dissymétries de façades. La carte des isohyètes est en effet parallèle à celle des isohypses. On peut ainsi distinguer au sein des zones humides montagneuses, recevant plus de 600 mm de pluie, des îlots hyper-humides atteignant plus d'un mètre de pluie et des poches semi-arides étendues recevant entre 300 et 600 mm de pluie.

Grâce à l'utilisation de l'indice xérothermique de Gaussen (nombre de mois secs) ou du quotient pluvio-thermique d'Emberger, il est possible de dégager les subdivisions suivantes :

– Des régions humides et sub-humides, dont l'indice xérothermique est inférieur à 100, et le quotient pluvio-thermique de 40-50, en milieu froid ( $m < 0^\circ$ ) et de 75-85 en région chaude ( $m > 7^\circ$ ). Deux types de contrées peuvent être dis-

tingués : des zones de forte pluie à faible altitude, notamment au Maroc atlantique, et des zones humides d'altitude dans le Rif et l'Atlas. Partout on note l'importance du couvert végétal et une gamme variée de sols.

– Des régions semi-arides, dont l'indice xérothermique varie de 100 à 160 et le quotient pluvio-thermique de 45-80 comme limite supérieure à 25-45, comme limite inférieure. Ce domaine couvre des plaines et des bas plateaux, en particulier des plaines côtières relativement méridionales, comme les Doukkala, des régions maritimes en position d'abri, comme le Rif oriental, des bassins semi-continentaux, comme le Saïs de Fès et des montagnes en position méridionale, comme les versants sud du Haut Atlas et certains sommets de l'Anti-Atlas.

– Des régions arides et sahariennes où le nombre de mois secs s'élève à 10-12 mois dans l'année.

### **Le découpage pédologique**

Le climat, le relief et la lithologie expliquent la différenciation spatiale des sols et leur grande diversité.

Dans les milieux humides et sub-humides maritimes, les horizons supérieurs des sols rouges sont lessivés, ce qui entraîne un appauvrissement en éléments fertilisants et au contraire la formation de nodules et de cuirassements ferrugineux. Il existe même localement des sols à caractère podzolique. En milieu continental, en raison de l'alternance de phases de rubéfaction, de lessivage et d'encroûtement calcaire, les sols sont plus minces et comportent souvent des horizons carbonatés qui se débitent sous l'effet de l'altération, mais aussi du labour, pour enrichir l'horizon supérieur en éclats de croûte calcaire. En montagne, on trouve localement des sols bruns forestiers riches en humus. Plus généralement, sur les affleurements rocheux, les sols pierreux dominent.

Les milieux semi-arides représentent le domaine principal de développement des sols bruns calcaires et des encroûtements carbonatés ; on trouve, à la fois, des sols caillouteux assez peu évolués sur les terrasses et les glacis, des sols rouges sur les affleurements calcaires et sur les croûtes, des sols vertiques tels que les tirs dans les plaines à matériel argilo-limoneux et à forte capacité de rétention. Sous climat aride et saharien, les phénomènes de salure des sols sont fréquents ; souvent aggravés par l'irrigation, ils conduisent parfois à des sols halomorphes, que l'on rencontre aussi dans les basses vallées et les estuaires des oueds littoraux. On peut enfin assimiler à des sols minéraux bruts les formations pré-désertiques et désertiques (escarpements rocheux, regs des piémonts et des hamadas, ergs et dunes isolées des plaines et vallées).

Dans tous les milieux à forte pente, les lithosols sur affleurements durs et les régosols sur formations superficielles dominent très largement, du fait de l'importance de l'érosion qui élimine les particules fines et explique la concentration en surface des éléments grossiers. La caractéristique caillouteuse est une des données les plus constantes des sols marocains, sauf dans quelques régions à larges affleurements de roche marneuse, comme le Prérif.

## Les critères secondaires

En plus des paramètres climatiques, orographiques, géologiques et pédo-écologiques, les régions se distinguent par une série d'indicateurs tirés des statistiques agricoles et sociales.

Tableau I  
Occupation des terres au Maroc

Types d'utilisation	Surfaces en Mha	%
Surface agricole utile (SAU)	9,24	13,0
Terrains gérés par l'administration forestière		
– forêts (arganier et acacias sahariens compris),	5,72	8,0
– nappe d'alfa	3,31	4,7
Terrains de parcours hors forêt	21,32	30,0
Parcours peu productifs, terrains nus et autres terrains	31,48	44,3

Source : Eaux et Forêts

### Le critère démographique

La densité humaine régionale varie beaucoup. Dans le contexte global marocain, la densité humaine totale (urbains et ruraux) ramenée à l'unité de surface est de 43 habitants/km<sup>2</sup>, ce qui est très faible et s'explique par la large extension des milieux arides et sahariens. Les plaines et plateaux du Maroc atlantique portent souvent des densités supérieures à 200 hab./km<sup>2</sup>. En ce qui concerne la montagne, la densité est aux alentours de 40 hab./km<sup>2</sup> (Haut Atlas et Moyen Atlas). Mais le Rif s'individualise avec une densité forte de 125 hab./km<sup>2</sup>, ce qui pose un problème de disproportion vis-à-vis des ressources, avec tout ce que cela induit comme potentiel de dégradation. Dans les zones arides, la densité tombe en dessous de 25 et s'abaisse à 5 hab./km<sup>2</sup> dans le Sahara, mais elle varie fortement des oasis très surpeuplées aux larges espaces désertiques pratiquement vides.

Cette notion de charge humaine très inégale d'une région à l'autre ne s'explique pas totalement par les conditions naturelles. Les facteurs historiques d'ancienneté de l'installation des populations sont également importants de même que les mouvements récents de population jouent un rôle non négligeable.

Le taux annuel d'accroissement, enregistré entre les recensements de 1982 et 2004, est de 1,7 % au Maroc. Certaines régions continuent à avoir un taux élevé, comme la plaine du Souss (3,4 %), le Sahara et le Rif, zones d'immigration de main-d'œuvre. Les régions à déficit démographique sont les montagnes où l'on enregistre un croît de 1,2 % dans le Haut Atlas occidental, 0,8 % dans le Moyen Atlas et un croît négatif proche du zéro, dans l'Anti-Atlas. Dans certaines de ces zones, le vieillissement de la population est une menace pour la durabilité des aménagements édifiés sur plusieurs générations.

### **Le critère de la surface agricole utile (SAU)**

Au Maroc, l'extension globale de la SAU est de 9,24 millions d'hectares, dont 5,6 Mha dans le Maroc atlantique (plaines et plateaux), zone où justement, les pratiques de GCES ne sont ni importantes, ni variées, du fait du caractère assez stable des terres, mais aussi du fait que les événements liés au ruissellement destructeur sont très espacés dans le temps et ne constituent pas une contrainte quotidienne pour les paysans. La productivité relativement forte des terres et l'extension de la SAU s'expliquent par les bonnes conditions naturelles dans de larges portions de ce territoire et par l'intervention de l'irrigation dans les plaines intérieures du Tadla et du Haouz, ainsi que sur les piémonts de l'Atlas. Curieusement, la deuxième zone agricole par l'importance de sa superficie correspond à la montagne rifaine (0,8 Mha), ce qui prouve que de larges espaces défavorables sont quand même utilisés comme terrains agricoles. Par contre, les montagnes atlasiques étendues ne couvrent pas plus de 1 Mha de terres agricoles. Les steppes et le désert ne comptent que 0,6 Mha.

Pour un taux moyen de 13 % que couvre la SAU par rapport à la superficie du pays, les variations régionales sont importantes. Le taux est de 61 % dans la région atlantique. Le taux de 39 % est visiblement trop élevé pour les conditions difficiles du Rif. Il est moyen dans les deux larges plaines du Souss et de la basse Moulouya (environ 30 %). Mais il baisse très fortement dans le Haut Atlas (10 %) et tombe à des niveaux très bas en zone aride et saharienne (< 7 %).

Les cultures céréalières dominent très nettement en termes d'extension. Un cumul céréales, légumineuses et jachère, couvre en moyenne 90 % de la SAU du pays. Les régions défavorables enregistrent des taux proches de 100 % de la SAU. C'est le cas des hauts plateaux de l'Oriental, du Haut Atlas occidental, de l'Anti-Atlas et des oasis sahariennes. En montagne et dans les oasis, les cultures annuelles viennent en intercalaire avec l'arboriculture. Les régions enregistrant moins de 80 % d'extension de ces cultures sont le Rif où de larges espaces sont plantés en arbres fruitiers et le Souss où se conjuguent plantations et cultures maraîchères.

Sur 1,3 M ha irrigués au Maroc, la moitié se localise dans le Maroc atlantique. Le reste se partage entre les autres régions, avec 1/10 pour le Sahara et respectivement, 1/20 pour la basse Moulouya, le Souss, le Moyen Atlas et le Haut Atlas. Seul le Rif a une faible extension des cultures irriguées.

### **Le critère du statut des terres et des régimes agraires**

Mis à part la forêt à statut domanial et les parcours steppiques à statut collectif, les terres cultivées sont à 76 % des terres à statut privé (*melk*). Le taux pour la SAU est très élevé en montagne (98 % dans le Rif, 95 % dans le Haut Atlas occidental et l'Anti-Atlas et 90 % dans le Moyen Atlas). Le taux reste fort (> 70 %) dans la zone saharienne (privatisation des terres oasiennes) et dans les plaines du Maroc atlantique. Ce n'est que sur les hauts plateaux de l'Oriental et certains plateaux intérieurs du Maroc atlantique qu'une large part des terrains cultivés se situe en terres collectives, récemment défrichées et semées.

Les 9,24 Mha de la SAU se subdivisent entre 1,5 M d'exploitations, ce qui donne une moyenne nationale de 5,8 ha par exploitation. On distingue des régions à exploitations moyennement étendues (7 ha et plus) dans le Maroc atlantique, la basse Moulouya, le Moyen Atlas et les hauts plateaux, des régions à exploitations proches de 5 ha (le Souss) et des régions montagneuses et arides à exploitations de très petite taille, nécessitant une intensification forte du système de culture et des soins particuliers (pratiques de GCES). La moyenne des exploitations est de 4 ha dans le Rif, 2,5 ha dans le Haut Atlas occidental, 2,7 ha dans l'Anti-Atlas et 2,4 ha dans la région saharienne.

Le taux de faire-valoir direct des terres atteint le chiffre de 88 %. Les plus basses valeurs sont enregistrées dans les plaines et plateaux du Maroc atlantique, notamment dans les fermes en location ou travaillées en association. Partout ailleurs, principalement en montagne, la gestion directe atteint des chiffres proches de 100 %.

Le taux de mécanisation national moyen est de 1 tracteur pour 200 ha. Les hauts plateaux, l'Anti-Atlas, le Rif et le Haut Atlas ouest ont un taux de mécanisation très faible (un tracteur pour 1 334 ha).

Pour un nombre total de 1,5 M d'exploitations agricoles, la main-d'œuvre totale employée par exploitation est de 1,4 travailleur, dont la majorité est familiale.

### **Le critère de l'élevage**

L'élevage compte 6,8 M UGB, dont 3,5 dans le Maroc atlantique et près de 0,5 M par région dans le Rif, les hauts plateaux, le Sahara, le Haut Atlas occidental et le Moyen Atlas. La charge animale moyenne, par unité de surface des régions est de 0,1 UGB/ha. Elle est élevée dans le Maroc atlantique (0,8), le Rif (0,26), le Souss (0,24) et le Moyen Atlas (0,22). La charge est moyenne dans le Haut Atlas atlantique et dans l'Anti-Atlas (0,2 et 0,1 UGB/ha). Elle est enfin numériquement faible en zone aride (0,1 dans les Hauts plateaux et le Haut Atlas oriental et 0,01 dans le Sahara), mais représente néanmoins assez souvent des taux disproportionnés par rapport à la ressource fourragère.

## **Conclusion**

Le Maroc présente une telle diversité bioclimatique, démographique, pédologique, sociale et économique qu'il n'est pas possible de recommander une seule série de techniques de gestion de l'eau et de la fertilité des sols. Des exemples au cas par cas seront analysés au chapitre 7.

Partant de l'observation de la distribution spatiale des techniques de GCES au Maroc, on a été amené à distinguer sept zones : 6 zones bioclimatiques (étages saharien, aride, semi-aride, sub-humide) et leurs variantes de plateau/plaine (à

faible pente) ou de montagne (à forte pente), et une septième zone de culture intensive ou (et) irriguée, où les techniques de GCES sont très peu fréquentes car l'eau est maîtrisée par l'irrigation et la fertilité des sols par les apports d'engrais minéraux et la gestion des résidus de culture.

Les facteurs humains interviennent également, mais il est difficile de les distinguer à cette échelle. Nous en tiendrons compte au dernier chapitre lorsque nous présenterons des grappes de techniques adaptées à chaque zone bioclimatique, laissant le soin du choix précis au paysan en fonction de ses conditions sociales (éleveur, cultivateur), économiques (disponibilité en main-d'œuvre et numéraire) et culturelles (groupe ethnique).



# Les techniques traditionnelles de gestion de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols

*Mohamed SABIR  
Éric ROOSE  
Jamal AL KARKOURI*

## Introduction : la gestion des eaux sur les versants pour protéger les sols Les fiches descriptives

La zone méditerranéenne a la réputation d'être sujette à des risques érosifs très élevés (HUDSON, 1987). D'abord pour des raisons écologiques : les pluies sont erratiques, les sols sont mal couverts durant la saison des pluies, le relief est très jeune car des roches dures protègent des roches argileuses tendres. Les séismes sont fréquents. Les versants sont raides avec des vallées étroites ou de longs glacis avec des vallées larges mais sujettes à la salinisation. Durant l'été très chaud, l'érosion éolienne est courante et les orages très violents. Par contre, à la fin de l'hiver froid, les pluies tombant sur des sols saturés et encroûtés provoquent de forts ruissellements, des rigoles évoluant rapidement en ravines (ROOSE, 2005). Les crues qui dévastent les berges des oueds entraînent des inondations, des glissements de terrain, l'envasement rapide des barrages, la destruction des routes et autres ouvrages d'art.

Par ailleurs, les nombreuses civilisations qui se sont succédé autour de la Méditerranée depuis trois mille ans ont défriché les forêts pour produire du bois de chauffe et du bois d'œuvre pour les constructions, les marines marchandes et militaires. Les peuples ont construit de grandes cités (milieu imperméable) et développé l'agriculture irriguée dans les plaines (salinisation) et l'élevage extensif en montagne. Il s'en est suivi la dégradation des couvertures végétales et des sols.

C'est pourquoi, les paysans méditerranéens ont développé diverses stratégies pour minimiser les risques d'érosion, la dégradation des ressources en eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (LOWDERMILK, 1975 ; ROOSE, 1994). Vu la grande diversité écologique, le bassin méditerranéen est une zone intéressante pour observer ces processus d'érosion et les méthodes de gestion de l'eau et de la fertilité des sols avant la modernisation de l'agriculture au vingtième siècle.

Dans ce chapitre, les auteurs présentent une synthèse des stratégies traditionnelles observées dans le Maghreb (Maroc, Algérie, Tunisie) sous forme de 30 fiches analytiques. Les auteurs ont classé les systèmes antiérosifs traditionnels en tenant compte des risques régionaux de ruissellement et du mode de gestion des eaux superficielles à l'échelle du versant.

Plusieurs systèmes de classification peuvent servir pour présenter les observations faites sur les diverses techniques de lutte antiérosive :

- une simple description technique sans relation particulière (ex. HURNI, 1995) ;
- une description par zones écologiques (voir chapitre 12) ;
- une classification par objectif comme nous le faisons ci-dessous dans les fiches techniques des aménagements antiérosifs observés en zone méditerranéenne.

Les différents systèmes antiérosifs observés seront classés selon quatre modes de gestion de l'eau et en raison de leur fonctionnement, ils sont résumés dans le tableau 2.

Tableau 2

*Structures antiérosives et pratiques culturales en relation avec le mode de gestion des eaux*

Mode de gestion de l'eau	Structures	Techniques culturales
<b>Capture</b>	Impluvium, citernes	Labour localisé, cuvettes
Agriculture sous impluvium	Drains vers microbassins	Microbassins
Zones arides et semi-arides	Digues sur les oueds	Zai, billons isohypes
	Terrasses discontinues	–
<b>Infiltration totale</b>	Fossés aveugles	Labour grossier
Zone semi-aride	Terrasses radicales	Billons cloisonnés
Zone humide sur sol très perméable	Gradins méditerranéens	Paillage
<b>Diversión</b>	Fossés de diversion	Billons obliques
Climat sub-humide,	Banquettes de diversion	Billons parallèles à la pente
+ mois très pluvieux	Terrasse radicale drainante	Double dérayure
ou sol peu perméable		
<b>Dissipation de l'énergie</b>	Terrasses progressives	Agroforesterie
Tous climats,	Cordons ou murs de pierres	Labours mottesux
Sols semi-perméables,	Talus enherbés,	Prairies alternées
pentés moyennes	Haies vives, lignes d'herbes	Paillage ou lit de cailloux

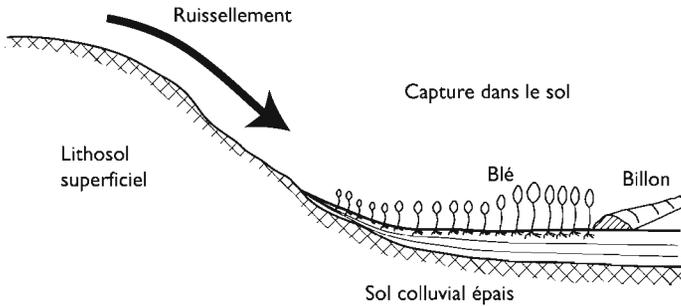
# La capture de l'eau en région semi-aride

## Fiche 1

### L'agriculture sous impluvium

#### Description

Un impluvium est une surface peu perméable (argileuse ou encroûtée), rocheuse ou tassée naturellement par le bétail ou artificiellement (épandage de produits pétroliers ou des déchets d'huilerie) qui produit un ruissellement en nappe abondant, disponible pour un champ cultivé à l'aval. Il n'y a pas d'aménagement antiérosif spécifique, sauf parfois un bourrelet en aval du champ. Il suffit de choisir un champ sous un impluvium et d'aménager la surface d'un sol profond capable de stocker à la fois l'eau de la pluie et le ruissellement provenant de l'impluvium. Un labour grossier, un billonnage cloisonné ou un semis direct sous paillage permettent d'assurer une infiltration satisfaisante.



#### Objectifs

En zone semi-aride, si l'on souhaite transformer un matorral dégradé ou une jachère dégradée en terrain de culture qui assure une production satisfaisante avec une fréquence acceptable, on a deux solutions : irriguer ou récupérer le ruissellement d'un versant inculte (ou d'une piste, d'un hameau), pour stocker dans le sol profond un volume d'eau suffisant pour assurer le cycle végétatif complet. Dans le cas présent, il s'agit donc de sélectionner une zone basse où les sols sont épais (> 1 m), surmontée d'un impluvium nu et tassé qui fournira un complément d'eau issue du ruissellement en nappe. Il faut donc comprendre que, contrairement à une irrigation qui est généralement faite en période sèche, quand les plantes manquent d'eau, dans le cas de l'agriculture sous impluvium, le complément d'eau est fourni lors des averses les plus importantes : il est donc essentiel de diriger le ruissellement vers un sol profond capable de stocker l'eau, mais aussi de maintenir un état de surface du champ permettant une infiltration permanente y compris en période humide.

### Extension

On a observé la capture du ruissellement des collines (parcours dégradés) et le stockage des eaux de surface dans les colluvions en bas de pente dans la région de Tiznit (Anti-Atlas), mais aussi dans l'Oriental et dans la zone s'étendant d'Agadir à Essaouira. On peut envisager d'étendre cette mise en valeur dans les zones arides et semi-arides du Maroc.

### Moyens et coûts

– Labour grossier du champ à cultiver : 400 Dm/ha<sup>1</sup>

ou bien

– Semis direct sous litière : 200 Dm/ha

Pour mémoire : on peut améliorer le ruissellement sur le versant en le pulvérisant d'huiles minérales ou de déchets d'huilerie. Généralement, c'est le passage du bétail qui se charge de tasser la surface du sol et de le débarrasser des herbes.

### Suivi et entretien

– Éviter l'érosion à la fois de l'impluvium et du champ en gérant la biomasse superficielle et la matière organique du sol.

– Recouvrir d'un paillis de cailloux sur impluvium.

– Reboucher les rigoles et tasser la surface de l'impluvium : lutter contre les termites, les vers de terre, les fourmis et autres animaux qui creusent des macropores dans le sol.

– Favoriser l'encroûtement de l'impluvium. En pratique, le passage répété du troupeau permet d'atteindre rapidement et au moindre frais cet état de surface.

#### Avantages

- Technique peu coûteuse
- Facile à réaliser (tracteur et charrue à socs ou à dents)
- Mise en culture limitée aux meilleurs sols, d'où moins de temps perdu pour le sarclage
- Récupération des eaux et des sédiments produits par l'impluvium, donc moins de ravinement en aval
- Amélioration de la productivité des meilleures terres

#### Inconvénients

- Risque de rigoles dans les impluviums et de ravinement des champs cultivés
- Dégradation de la surface du sol de l'impluvium : perte de MO et compaction de l'horizon superficiel

1. 1 dirham marocain = 1 euro en juin 2008.

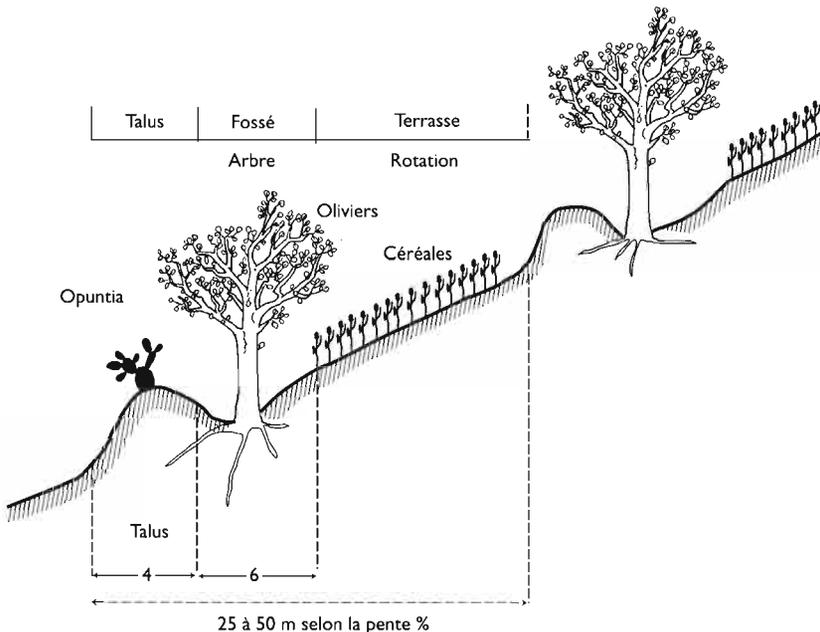
**Fiche 2**

**Les diguettes ou *tabia***

*Description*

Le mot « *tabia* » signifie tout type de diguette en terre, construite soit sur les versants, soit dans les ravins et les vallées pour capter le ruissellement et sa charge solide en vue de stabiliser les terres et d'intensifier la production des cultures (MOLLARD et WALTER, 2008).

En zone semi-aride, les longs versants cultivés produisent un ruissellement abondant, surtout sur les sols sensibles à la battance : celui-ci est intercepté par une série de levées de terre et forcé de s'infiltrer dans le sol. Traditionnellement, ces diguettes ne dépassent guère 50 cm de haut et de large et sont couvertes de mottes d'herbes, de cactus ou d'euphorbes : elles servent aussi de limite des parcelles. Ces diguettes en courbe de niveau peuvent barrer un champ ou s'allonger sur 70 à 500 m au travers du versant. Les extrémités de ces diguettes sont recourbées vers l'amont de façon à stocker 20 à 50 cm d'eau à leur pied : des pierres ou des touffes d'herbes protègent ces extrémités contre l'érosion par les eaux de débordement. Les parcelles entre les diguettes sont cultivées en rotation (céréales, légumineuses, jachères). Les *tabia* disposées en quinconce sont capables de stocker le ruissellement de toutes les pluies inférieures à 50 mm. Lors des plus grosses averses, l'excédent déborde soit des diguettes et ravine l'ensemble du versant, soit par les petits seuils aménagés en quinconce. Ces aménagements, surtout s'ils ont été réalisés mécaniquement à l'aide de gros engins qui raclent le sol sur une bande de 4 à 10 m de large pour élever des digues de > 1,5 à 2 m de haut tous les 30 à 50 m, entraînent une perte de surface cultivable de 10 à 25 % et réduisent considérablement l'eau collectée dans les lacs collinaires en aval (ALBERGEL *et al.*, 2004).



### Objectifs

Récupérer les eaux de ruissellement des champs cultivés pour les forcer à s'infiltrer dans les sols et apporter ainsi un supplément d'eau aux cultures des zones semi-arides. Ces diguettes réduisent aussi l'apport d'eau et de sédiments dans les retenues en aval.

Les *tabia* sont aussi utilisées pour restaurer la végétation dans les ravines (par exemple les *jessour* – voir fiche 23 – en milieux arides et les jardins de ravine en zones semi-arides et semi-humides)

### Extension

Rarement observée au Maroc (Oriental), cette technique, appelée banquette en Algérie et Afrique occidentale, et *tabia* en Tunisie, pourrait être étendue en zones de piémonts semi-arides du Maroc.

### Moyens et coûts pour 400 m<sup>3</sup>/ha

- Construction des bourrelets en bas de pente : 2 000 Dm/ha
- Protection des diguettes par cactus ou herbes pérennes : 1 000 Dm/ha
- Fumure (fumier, NPK) : 500 Dm/ha

Total : 3 500 Dm/ha

### Suivi et entretien annuel<sup>2</sup>

- Entretien des *tabia* (2 JT) : 100 Dm/ha
- Traitement phytosanitaire des cultures : 200 Dm/ha
- Apport de fumure (1 JT) : 500 Dm/ha

Total : 800 Dm/ha/an

#### Avantages

- Permet une production céréalière relativement stable dans les zones semi-arides
- Appoints en eau aux plantations arbustives
- Amélioration de la productivité des terres
- Réduction des risques de ruissellement, d'inondation et d'érosion à l'aval

#### Inconvénients

- Coût relativement important
- Exige beaucoup de main-d'œuvre
- Perte de 8 à 25 % de surface cultivable selon la pente (largeur de la diguette + la zone décapée)

2. Jour de travail payé 50 Dm/jour, le smic rural du Maroc = 5 US dollars/jours.

### Fiche 3

## Les meskat : capture du ruissellement d'un impluvium pâturé

### Description

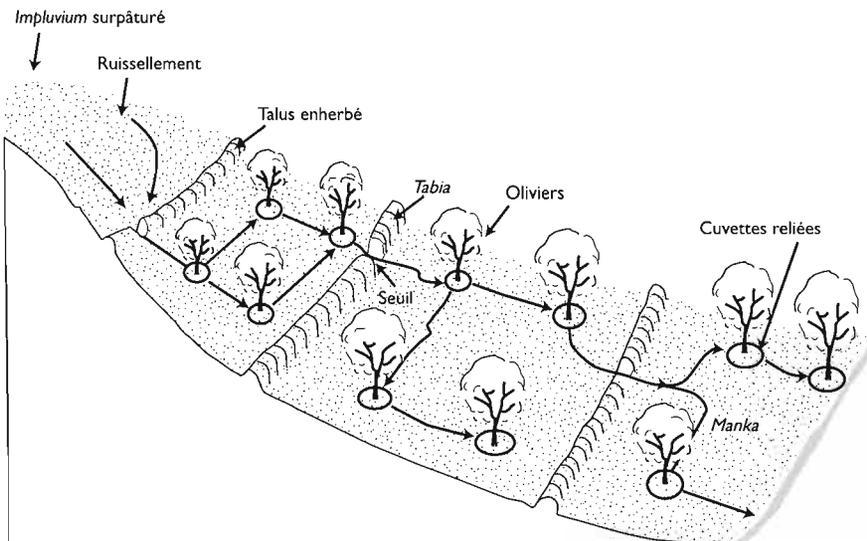
Les sommets des collines des zones arides maintenus dénudés par le surpâturage constituent un impluvium naturel. Celui-ci produit un ruissellement abondant lequel est redistribué dans une zone cultivée (*manka*), grâce à des gros billons (*tabia*), capables de stocker le ruissellement, même lors des plus fortes averses. Des petits seuils permettent aux eaux de ruissellement excédentaires de passer vers les parcelles suivantes. Des oliviers (ou amandiers, abricotiers, figuiers, grenadiers) sont plantés dans des cuvettes d'où les eaux de ruissellement débordent de cuvette en cuvette (EL AMANI, 1983). Entre les arbres poussent parfois des céréales d'hiver (sorgho, mil). La surface de l'impluvium atteint deux fois la surface cultivée au début de l'aménagement. Mais sous la pression foncière, presque toute la parcelle est finalement envahie par les plantations fruitières.

### Objectifs

Récupération des eaux de ruissellement des sommets de collines surpâturées pour les redistribuer de cuvette en cuvette dans des plantations d'oliviers dans des zones semi-arides. En zone humide ( $P > 600$  mm), les oliviers ont besoin d'un espace vital de  $5 \times 5$  m, mais leur espacement augmente jusqu'à  $10 \times 20$  m en zone aride ( $P = 200$  mm).

### Extension

Rarement observée au Maroc (Oriental), cette technique est très importante en Tunisie ( $> 200\ 000$  ha dans la région du Souss, pluie de 200 à 400 mm, irrégulièrement répartie) : elle pourrait être étendue en zones de piémonts semi-arides du Maroc.



### Moyens et coûts

- Creusement des cuvettes : 500 Dm/ha
  - Construction des bourrelets en bas de pente (*tabia* = 400 m<sup>3</sup>/ha) : 2 000 Dm/ha
  - Construction des seuils empierrés : 1 000 Dm/ha
  - Plantation (20 JT/ha) : 1 000 Dm/ha
  - Achat de plants (15 Dm) : 1 500 Dm/ha
  - Fumure (fumier, NPK) par cuvettes/arbre : 500 Dm/ha
- Total : 6 500 Dm/ha

### Suivi et entretien annuel

- Entretien des cuvettes et des *tabia* (2 JT) : 100 Dm/ha
  - Taille des arbres (1 JT) : 200 Dm/ha
  - Traitement phytosanitaire des arbres (1 JT) : 200 Dm/ha
  - Apport de fumure (1 JT) : 500 Dm/ha
- Total : 1 000 Dm/ha/an

#### Avantages

- Permet une production fruitière relativement stable dans les zones semi-arides
- Appoints en eau aux plantations
- Amélioration de la productivité des terres
- Réduction des risques de ruissellement, d'inondation et d'érosion à l'aval

#### Inconvénients

- Coût relativement important
- Exige beaucoup de main-d'œuvre
- Réduction de l'eau disponible dans les barrages à l'aval
- Réduction de la surface cultivable sur l'impluvium

## Fiche 4

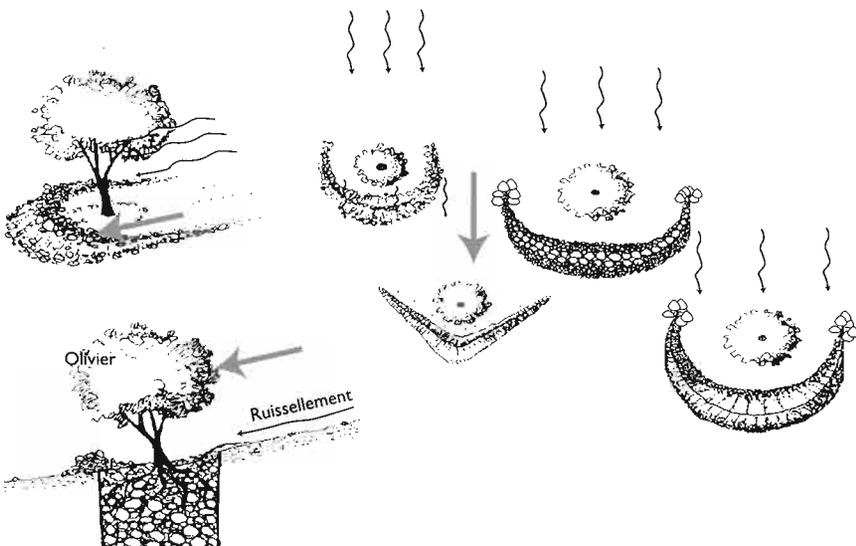
### Les micro-bassins : demi-lunes et cuvettes

#### Description

Une autre technique de piégeage des eaux de surface consiste à creuser des cuvettes de plantations d'arbres (fruitiers ou autres) et de les entourer de bourrelets en demi-lune faits de terre tassée, souvent recouverte de pierres. Leurs diamètres varient de 0,50 à 2 m et la profondeur de 15 à 25 cm. Les bourrelets ont une hauteur de 15 à 25 cm et une largeur moyenne de 25 cm. Ils peuvent être renforcés par des pierres issues de l'épierrage du champ. Les cuvettes sont disposées en quinconce et espacées de 4 à 10 m. Elles sont ouvertes face au sommet de la pente pour capter le ruissellement produit par les impluviums souvent constitués de terrains peu perméables, incultes ou rocheux, voués au parcours extensif des troupeaux. Les espacements entre les lignes sont variables (de 7 à 15 m) selon le type d'arbre, la pente du terrain et l'aridité.

#### Objectifs

Il s'agit de concentrer les eaux de ruissellement et leurs charges solides dans une cuvette creusée au pied des arbres. Les eaux de ruissellement captées en été et en automne par les cuvettes en demi-lune permettent un appoint d'eau important pour les arbres. Les sédiments déposés au fond des cuvettes apportent une fertilisation non négligeable. Cet aménagement minimal permet aussi l'apport de fumier qui, sans ce système, serait emporté par le ruissellement. La capture et l'infiltration des eaux du ruissellement sur le versant réduisent les effets des différentes formes d'érosion hydrique à l'aval (en nappe, ravinement et sapelement des berges).



### Extension

Les cuvettes en demi-lune sont observées dans le bassin versant de Srou, Sidi Driss (Haut Atlas), oued Lakhdar et dans le *dir* (« district ») de Beni Mellal. Elles peuvent être étendues sur tous les versants à pente moyenne du Haut Atlas, le Moyen Atlas et le Rif semi-arides et sub-humides.

### Moyens et coûts

- Creusement des cuvettes : 500 Dm/ha
  - Construction des bourrelets autour des cuvettes : 2 500 Dm/ha
  - Plantation (20 JT/ha) : 1 000 Dm/ha
  - Achat de plants (15 Dm) : 1 500 Dm/ha
  - Fumure (fumier, NPK) par cuvettes ou arbre : 500 Dm/ha
- Total : 6 000 Dm/ha

### Suivi et entretien

- Entretien des cuvettes et des talus en demi-lune (2 JT) : 100 Dm/ha
  - Taille des arbres (1 JT) : 200 Dm/ha
  - Traitement phytosanitaire des arbres (1 JT) : 200 Dm/ha
  - Apport de fumure (1 JT) : 500 Dm/ha
- Total : 1 000 Dm/ha/an

#### Avantages

- Production fruitière relativement stable dans les zones semi-arides et dans des zones rocheuses où le sol est limité à des poches
- Appoints en eau et nutriments aux plantations
- Récupération des eaux et des sédiments produits par l'impluvium
- Amélioration de la productivité des terres
- Réduction des risques de ruissellement, d'inondation et d'érosion à l'aval

#### Inconvénients

- Coût relativement peu important
- Exige de la main-d'œuvre

## Fiche 5

### Les chemins creux pavés et canaux de collecte du ruissellement sur les versants

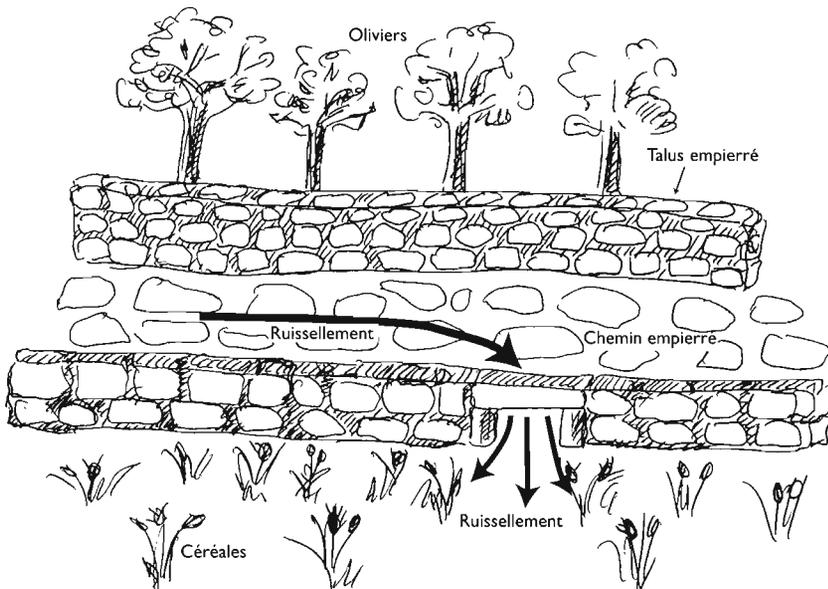
#### Description

Entre les étables, le parcours et le point d'eau, le bétail circule chaque jour sur des pistes qui souffrent du tassement du sol et du ruissellement lors des pluies. Le passage régulier du troupeau a pour conséquence la formation d'un canal qui intercepte les eaux du ruissellement sur le versant. L'érosion et le piétinement du troupeau font apparaître les éléments rocheux de la couverture pédologique. Ce pavage est complété par l'apport de quelques pierres extraites des champs environnants lors du labour. Ce pavage semi-naturel ralentit la vitesse et dissipe l'énergie du ruissellement.

Le talus amont du chemin-canal doit être protégé par une végétation pérenne (herbacée et arbustes) et la partie aval aménagée pour redistribuer les eaux de ruissellement vers les champs sans créer de ravine. Le chenal se termine par un radier formé de cailloux et de végétation.

#### Objectifs

L'objectif est de récolter les eaux de ruissellement issues des parcours sur les sommets des collines pour les transmettre en aval aux zones cultivées aménagées et de compléter l'apport hydrique aux cultures intensives d'arbres fruitiers, de légumes, de tabac, etc. Le pavage permet de dissiper l'énergie du ruissellement et d'éviter le ravinement des pistes.



### Extension

Cet aménagement a été observé dans le Rif occidental (Bettara), le Moyen Atlas et le Haut Atlas (Ait Blal) : il peut être étendu aux zones humides, sub-humides et semi-arides.

### Moyens et coûts

- Collecte et mise en place des cailloux formant le pavage (2 JT/an) : 100 Dm
- Entretien du fond du chemin/canal et des talus (2 JT/an) : 100 Dm

#### Avantages

- Gère le creusement naturel des pistes
- Réduit les risques de ravinement et d'inondation à l'aval
- Améliore l'alimentation hydrique et minérale de plantes exigeantes
- Évacue sans risque les excès d'eau en particulier des parcours en période humide

#### Inconvénients

- Produit des eaux polluées par le bétail
- Peut creuser des ravines dans les champs lors d'un ruissellement abondant durant les pluies



© M. Sabir

Draille ou piste de drainage des eaux de ruissellement vers les champs cultivés (Azaden, Haut Atlas)

## Fiche 6

### Les fossés de collecte sur les pistes (*r'foussi* en berbère)

#### Description

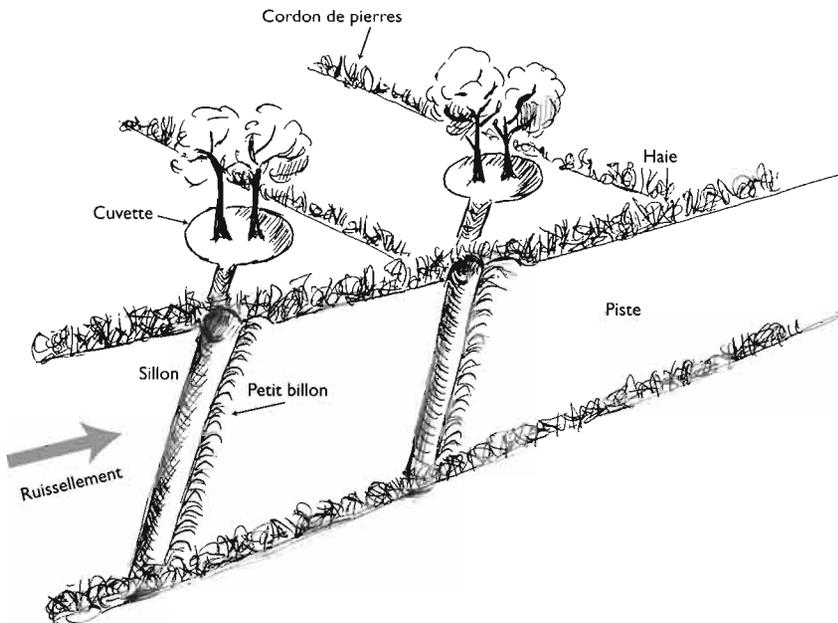
Dans le bassin versant du Kert (Rif oriental), sur un long glacis à pente de moins de 2 %, les eaux de ruissellement s'accumulent sur les pistes où elles risquent de former des ravines. On peut observer dans cette région que les pistes sont régulièrement rehaussées par un bourrelet de terre qui force les eaux de ruissellement à rejoindre un fossé qui les achemine vers les champs où elles sont soigneusement épandues sur les cultures annuelles (céréales) ou pérennes (oliviers).

#### Objectifs

Ces fossés captent les eaux des impluviums (piste et glacis) pour les étaler sur les champs de culture ou les orienter vers les cuvettes des oliviers. Ils complètent l'apport hydrique aux cultures de céréales ou d'arbres fruitiers et réduisent aussi le cumul du ruissellement le long des pistes et les risques de ravinement.

#### Moyens et coûts

- Creusement de fossés et construction du bourrelet (4 JT/an) : 200 Dm
- Entretien du fossé et des bourrelets (4 JT/an) : 200 Dm



**Avantages**

- Gère le creusement naturel des pistes
- Réduit les risques de ravinement et d'inondation à l'aval
- Améliore l'alimentation hydrique et minérale des plantes
- Quand les eaux sont chargées de déjections animales, elles améliorent l'alimentation des cultures

**Inconvénients**

- Handicape la circulation sur les pistes rurales
- Demande un entretien fréquent

## Fiche 7

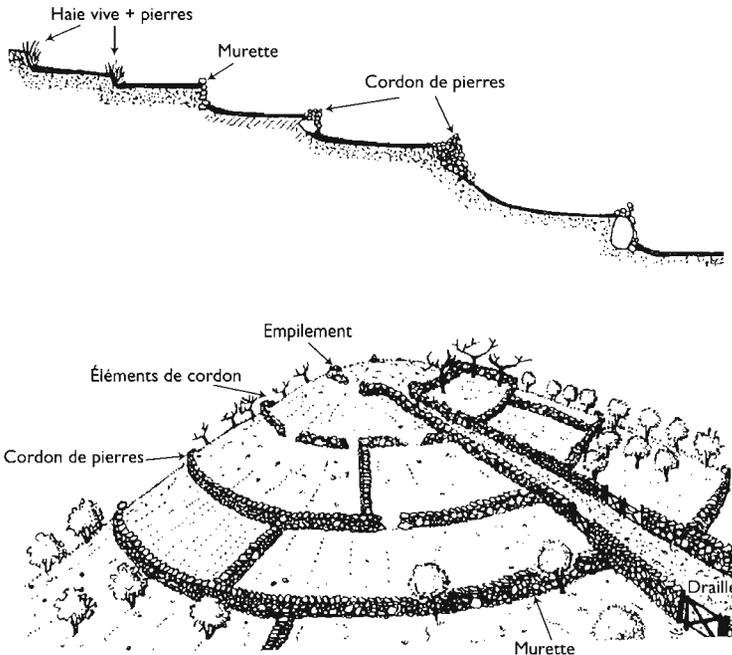
### De l'empilement des cailloux à la formation de cordons de pierres

#### Description

Des pierres dégagées par les labours sont empilées sans structure particulière sur de gros rochers, puis alignées en cordons le long des courbes de niveau. De tailles très variables, elles sont parfois également déposées directement sur le sol et empilées progressivement selon leur disponibilité. Ces empilements donnent naissance à des cordons continus ou discontinus selon l'importance de la charge caillouteuse des champs. Ils ont une largeur de 30 à 70 cm et une hauteur variable selon la pente (de 30 à 100 cm), et peuvent former des terrasses progressives qui tendent vers l'horizontale sans jamais l'atteindre.

#### Objectifs

L'épierreage permet de nettoyer les terres des débris de roches et d'améliorer leur capacité de production. La disposition des pierres en cordons le long des courbes de niveau à des espacements variables selon la pente a pour effet de freiner les eaux de ruissellement, favoriser leur infiltration et stocker les sédiments en amont des cordons. Les débris végétaux qui colmatent la porosité des cordons favorisent le dépôt des sédiments et l'infiltration de l'eau. Les herbes qui poussent aux pieds des cordons contribuent à leur consolidation. Pour réduire le risque de glissement de terrain, on peut planter des arbres (fruitiers) dans les cordons.



### **Extension**

Ces cordons ont été observés dans le Rif occidental, mais aussi dans tout le pays, là où les sols sont pierreux.

### **Moyens et coûts**

– Épierrage progressif des pierres et confection des cordons : 7 000 Dm/ha

On entretient les cordons en rajoutant des pierres et des touffes d'herbes pour éviter leur débordement par les eaux de ruissellement.

#### **Avantages**

- Valorisation de la terre par le déblaiement des grosses pierres de surface
- Récupération des eaux et des sédiments à partir d'un impluvium
- Amélioration de la productivité des terres

#### **Inconvénients**

- Demande une main-d'œuvre importante, mais construction progressive en 5 à 10 ans
- Difficulté de circulation à l'intérieur des parcelles
- Perte de surface de culture principale, mais diversification possible par introduction d'arbres sur les cordons

**Fiche 8**

**Les terrasses en gradins discontinus sur versant sec**

*Description*

Les terrasses en gradins discontinus sont taillées dans la couverture pédologique des versants à pente forte, 30 à 60 %, sur des sols profonds et drainants. Des gradins de petites tailles sont aménagés dans le versant avec une sole à déversement faible vers le talus (pente < 1 %). Le bourrelet est souvent tassé et consolidé par des pierres récupérées sur le versant. Ces terrasses, de faibles largeurs, 1 à 2 m, ne sont pas continues le long du versant et peuvent avoir des longueurs de 4 à 8 m. Dans certaines zones semi-arides, elles sont associées à une plantation d'amandiers ou d'arbres forestiers. Les arbres ne suivent pas de disposition régulière. Ils sont généralement plantés sur le bourrelet, mais parfois en bas du bourrelet en aval et même au fond du gradin.

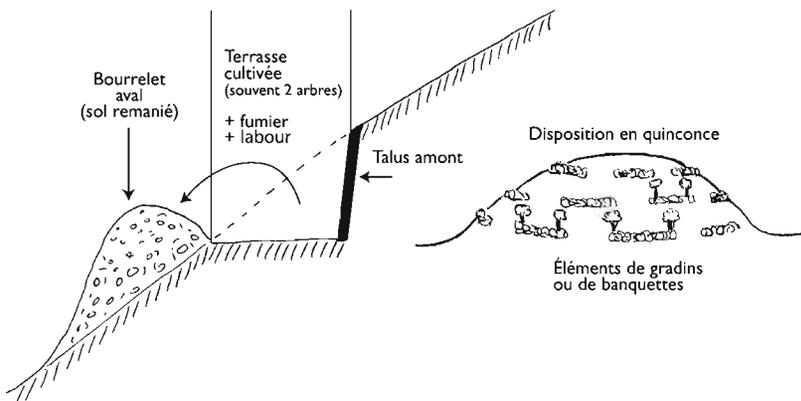
*Objectifs*

Ces ouvrages sont taillés sur les pentes pour capter le ruissellement sur un segment de versant et accumuler un volume suffisant de terre et d'eau pour produire de la biomasse (grains, paille) ou planter quelques arbres fruitiers rustiques (amandiers, figuiers ou oliviers). Sur le bourrelet, les paysans laissent pousser des herbes pérennes pour consolider l'ouvrage.

En réduisant le ruissellement, ces aménagements sur terres en forte pente sont mieux à même de les préserver du ravinement que des banquettes continues qui risquent de déborder.

*Extension*

Observé tant dans le Rif que dans le Haut Atlas, ce type d'aménagement convient bien sur les versants à sous-sol solide et filtrant. Il ne doit jamais être utilisé sur les sols imperméables et friables (schistes et marnes) de crainte de glissements de terrain.



**Moyens et coûts**

- Creusement des éléments de banquette : 1 JT par mètre linéaire, soit environ 20 000 Dm/ha.
- Entretien des talus, fauchage des herbes, renforcement des points faibles avec des cailloux : 10 JT.

**Avantages**

- Permet de cultiver des pentes très fortes en zones semi-arides tout en évitant les risques de glissement de terrain

**Inconvénients**

- Possibilité de ravinement entre les éléments de banquette

## Fiche 9

### Les bassins de collecte des eaux de sourcins

#### Description

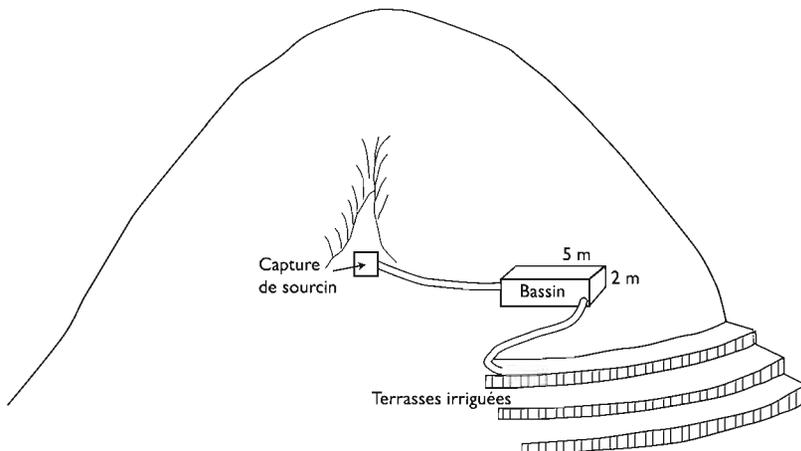
Il s'agit de petits bassins en terre ou en pierres cimentées, stockant 10 à 30 m<sup>3</sup> d'eau captée dans un sourcin à débit trop faible pour irriguer directement de petites terrasses en montagne semi-aride. La liaison entre le sourcin et le bassin se fait par une courte séguia ou par un tuyau en plastique s'ils sont éloignés. L'irrigation se pratique généralement suivant le tour d'eau (temps qui s'écoule entre deux irrigations), lequel est hérité en même temps que la terre irrigable. Les cultures pratiquées sur ces petites terrasses sont dominées par des légumineuses et le maraîchage, rarement par des arbres fruitiers car la disponibilité en eau est réduite. Dans le Rif central (bassin versant de Beni Boufrah), les terrasses ainsi irriguées sont construites de la façon suivante : on délimite des petites parcelles par des bourrelets de terre renforcés avec des cailloux et on y apporte de la bonne terre puisée dans le lit du cours d'eau. À l'aval, on construit un mur de soutènement de moins de 1 m de hauteur et 20 cm d'épaisseur.

#### Objectifs

Vu le faible débit des sourcins en saison sèche, l'eau est collectée durant la nuit dans des petits bassins en vue d'irriguer de jour des petits champs particulièrement soignés, fumés et cultivés intensivement. Ce dispositif complète souvent l'aménagement complet d'un versant pour renforcer la disponibilité de la « nappe suspendue » locale.

#### Extension

Ces bassins sont dispersés dans toutes les montagnes semi-arides du Maroc, surtout là où il n'y a pas de nappe phréatique importante et où l'eau constitue une denrée rare.



### Moyens et coûts

La construction du bassin de collecte d'eau ne requiert pas de compétence spéciale.

La construction d'un bassin de 4 x 2 x 1,5 m nécessite 4 jours de travail soit 300 à 500 Dm.

Avec la pierre, le ciment et les transports, l'ouvrage peut revenir à 1 000 Dm.

### Suivi et entretien

L'eau des sources étant généralement propre, le bassin de collecte nécessite rarement d'être curé. Il faut seulement prévoir la réparation des parties fragiles du bassin une fois l'an lorsque le débit du sourcin croît brutalement.

#### Avantages

- Simplicité du dispositif
- Récupération d'eau propre
- Disponibilité des débits juste suffisants pour une irrigation très localisée
- Faible capacité de stockage

#### Inconvénients

- Forte évaporation
- Risque de contamination microbienne par les animaux
- Débits aléatoires selon les pluies



© M. Sabir

Bassin observé à Armed (Haut Atlas).  
Noter le petit tuyau en plastique qui remplit lentement le bassin  
à partir d'un oued situé à plus de 200 m

**Fiche 10**

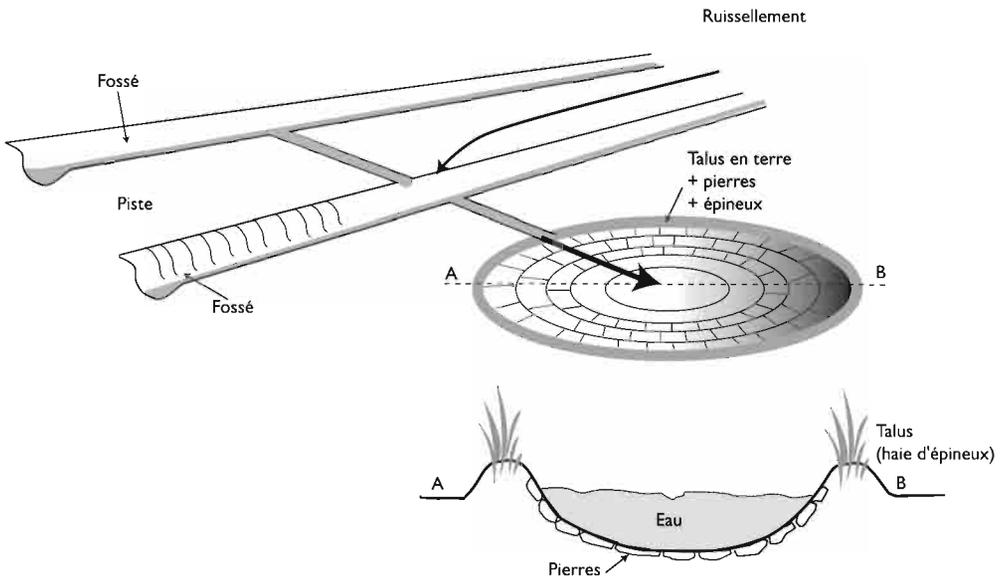
**Les mares (*madgen, aguelmam* ou *ghdir*)**

*Description*

La mare est constituée d'un bassin ovale, ouvert vers l'amont pour recueillir les eaux issues d'un canal captant le ruissellement produit par un impluvium de petite taille sur les replats des zones hautes des collines. Ses dimensions sont modestes : quelques dizaines de mètres cubes, 6 à 10 m de diamètre et 2 à 3 m de profondeur. La terre excavée sert à délimiter le bassin et à fortifier ses rebords souvent protégés par une haie d'épineux. Le fond de la mare est étanchéifié par un lit de terre battue : il est parfois pavé pour réduire la boue soulevée par les troupeaux qui s'abreuvent dans la mare. L'impluvium qui l'alimente (une piste, une surface rocheuse ou damée) est maintenu dénudé et tassé par la circulation du bétail. Un petit canal, plus ou moins stabilisé par des pierres, guide les eaux captées vers le bassin.

*Objectifs*

La mare est un bassin de faible étendue et profondeur, confectionnée pour emmagasiner temporairement les eaux de ruissellement d'un petit impluvium. Il s'agit d'une technique très ancienne utilisée dans les aires collectives de pâturage où il n'y a ni puits, ni nappe phréatique à faible profondeur. On la trouve actuellement soit à côté des maisons, soit au voisinage des pistes ou des terrains encroûtés dans les zones semi-arides. Elles servent principalement à abreuver le troupeau mais aussi pour des utilisations domestiques et l'irrigation de petits jardins. On parle de *madgen* ou *medgen*, mare creusée en zone semi-aride par des populations agropastorales fixées, et de *ghdir* (*aghdir*), mare naturelle en zone aride de pasteurs transhumants.



### Extension

Les mares couvrent les zones arides et surtout semi-arides où les nappes phréatiques sont absentes, notamment dans le Rif oriental et central, Abda, Doukkala, Jerada et dans l'Oriental. Cette technique se localise dans les aires collectives de pâturage, sur les pistes et sur les sentiers pratiqués par les troupeaux. Le rétrécissement de l'espace pastoral est à l'origine du recul de cette technique, sauf aux alentours des maisons.

### Moyens et coûts

L'aménagement d'une mare ne requiert ni compétence particulière, ni investissement important. Une mare de 5 m de diamètre et de 1,5 m de profondeur nécessite 4 à 9 jours de travail manuel, soit l'équivalent d'un total compris entre 420 et 820 Dm. Les travaux de mares collectives se font généralement dans le cadre d'entraide communautaire.

### Suivi et entretien

Nettoyage annuel de la vase qui s'accumule au fond des bassins : 2 ouvriers pendant 2 jours soit 280 Dm.

Entretien du canal et du bourrelet (2 jours/an) et entretien de la haie sur le bourrelet (taille, replantation), soit 7 JT = 500 Dm.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>- Disponibilité de l'eau dès les premières pluies</li><li>- Piégeage des sédiments</li><li>- Diminution des risques de ravinement ou inondation en aval</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Faible capacité de stockage d'eau trouble</li><li>- Forte évaporation (à sec au bout de 1 mois)</li><li>- Pertes par infiltration, engorgement rapide</li><li>- Contamination par les animaux</li></ul>

La mare peut être améliorée par les procédés suivants :

- étanchéification de la mare par de l'argile battue mélangée à de la chaux ;
- réduction des pertes par évaporation par un toit fait à base de roseaux et reboisement des alentours.
- aménagement d'un abreuvoir bétonné qui sera alimenté par siphonage vers un filtre à sable et charbon de bois, à partir de la mare pour réduire les risques de contamination par les animaux.

## Fiche 11

### Les citernes couvertes (*matfia*, *joub* ou *notfia*)

#### Description

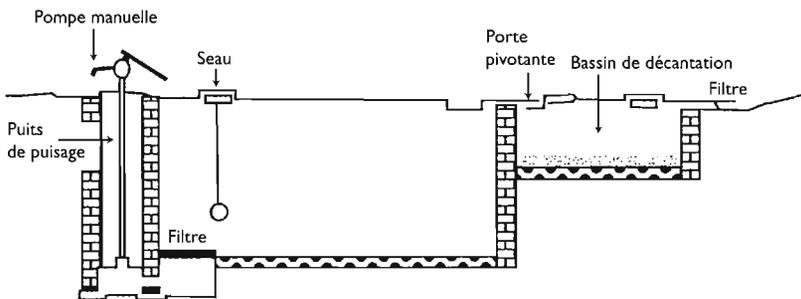
La *matfia* collective est composée de :

- un impluvium naturel plus ou moins aménagé : il coïncide avec le versant qui surplombe la *matfia*. Dans le Rif, le toit de la *matfia* (70 à 150 m<sup>2</sup>) est bétonné et utilisé comme impluvium, mais le plus souvent ce sont les eaux ruisselant des pistes et d'un petit versant qui sont captées ;
- un canal (*assarou*, séguia) de raccordement entre l'impluvium naturel et la citerne ;
- un bassin de décantation des sédiments, une conduite d'eau reliant le bassin de décantation à une ouverture perçant la dalle de la citerne et un orifice pour puiser l'eau, muni d'un couvercle en fer ;
- une citerne (réservoir souterrain) creusée dans le sol, construite en pierre et étanchéifiée par de la terre battue, de la chaux ou du ciment. Les dimensions de cet ouvrage varient de 100 à 300 m<sup>3</sup> en fonction du nombre d'habitants et de la taille du troupeau à abreuver. Le toit est construit avec des pierres moyennes ou avec des troncs d'arbres recouverts d'une couche de terre ou de ciment pour former une toiture étanche. Un puits muni d'une pompe ou d'un seau permet de puiser l'eau filtrée.

La *matfia* individuelle ou familiale est plus modeste : le toit de la maison joue le rôle d'impluvium. La citerne prend la forme d'un réservoir souterrain (*joub*) creusé dans la cour de la maison. Il est imperméabilisé avec de l'argile battue mélangée à la chaux ou avec du ciment.

#### Objectifs

Les eaux stockées dans la *matfia*, collective ou individuelle, sont destinées aux usages domestiques, à l'abreuvement de la famille et du troupeau et parfois à l'irrigation d'appoint d'un petit jardin en zones semi-arides et arides. Lorsque la saison sèche dure longtemps, la *matfia* ne suffit pas, et il faut la remplir à l'aide de camions citernes. De façon indirecte, la *matfia* réduit les risques de ravinement en aval.



Une *matfia* étatique (*makhzen*) (d'après EL FASSKAOUI, 2007).

### Extension

En plus du climat aride ou semi-aride, les pentes fortes, la géologie (schistes, marnes et calcaire, pauvres en eau souterraine) et la dispersion des habitations sont les facteurs qui expliquent la densité des *matfia* dans le Rif central et oriental, dans l'Anti-Atlas (en particulier les zones de Taroudant et Ighrem), le Haut Atlas oriental, le Haouz (province de Chichaoua), le Doukkala et l'Oriental. Dans ces régions parfois à forte densité humaine et aux longues périodes sèches, l'interception des eaux de pluie et de ruissellement abondant sur les sols tassés ou encroûtés est une pratique indispensable. L'État a encouragé la construction de *matfia* collectives dans les années 1970-1985.

### Coût d'installation

L'installation d'une *matfia* demande un investissement important. Le coût varie en fonction de la taille de l'ouvrage et des matériaux utilisés. Les travaux sont généralement réalisés dans le cadre d'une entraide sociale ou avec les subsides de l'État. Le coût de construction d'une *matfia* collective d'une capacité de l'ordre de 350 m<sup>3</sup> varie de 10 000 Dm (en terre battue + chaux + toit en bois) à 20 000 Dm dans le cas de l'utilisation de matériaux modernes (ciment, barres en fer à béton). Les citernes familiales traditionnelles (50 à 100 m<sup>3</sup> de volume) coûtent nettement moins cher.

### Suivi et entretien de la *matfia* collective

– Déviation des eaux des premières pluies qui sont souvent polluées et trop chargées de sédiments.



© E. Roose

Matfia dans l'Atlas

– Nettoyage de la vase qui s'accumule au fond des citernes (fréquence : 1 fois par an pour les citernes à impluvium constitué de formations tendres, 1 fois tous les 3 ou 4 ans pour les citernes cimentées).

– Changement du seau utilisé pour puiser l'eau (fréquence 1 fois par an) et entretien de la pompe.

Pour les *matfia* individuelles qui captent seulement l'eau des toitures, le toit est régulièrement nettoyé avant les périodes pluviales. Le curage se fait une fois tous les 3 ou 4 ans.

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>– Stockage de l'eau et utilisation différée</li><li>– Approvisionnement en eau domestique</li><li>– Amélioration des conditions d'hygiène de la famille</li><li>– Rôle majeur dans la pérennisation des activités pastorales</li><li>– Permet la fixation de la population dans le milieu rural</li><li>– Diminution des risques de ravinement et d'inondations</li><li>– Ouvrages enterrés donc discrets, à faible emprise foncière</li><li>– Réduction de la corvée de l'eau</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Volume insuffisant pour les besoins annuels</li><li>– Problème sanitaire : stockage trop long ou puisage par les enfants peu soigneux</li><li>– La corvée eau prive les filles de l'école</li><li>– Entretien difficile si accès difficile</li></ul>

## Fiche 12

### Les terrasses étroites le long des oueds

#### Description

En bordure d'un oued, une haie dense d'arbustes adaptés à la vie en zone humide ralentit le courant, favorise la sédimentation et permet le développement progressif d'une terrasse étroite en vue de l'établissement d'un jardin fruitier.

#### Objectifs

L'objectif consiste à récupérer les sédiments fins en transit dans l'oued, en provoquant le ralentissement du flux d'eau par la construction d'une haie vive de plantes arbustives (canne de Provence, frêne, peuplier, saule, laurier-rose). Au final, grâce aux dépôts de sédiments fins, on construit une terrasse étroite où se développent facilement des arbres fruitiers qui profitent de l'humidité de l'oued. Un deuxième objectif pourrait être de capter dans une séguia une partie des eaux de l'oued pour irriguer une zone un peu plus large dans une vallée secondaire située en aval.

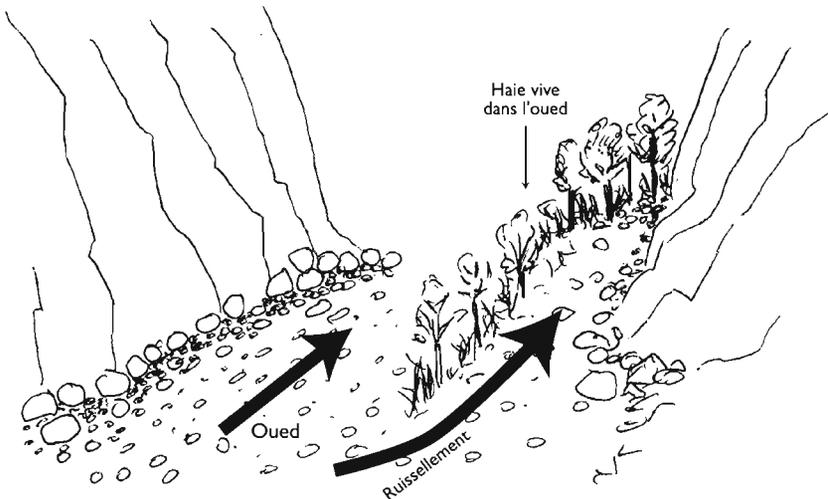
#### Extension

L'exemple décrit provient de la vallée du Nékor, dans le Rif central.

La technique pourrait être étendue à toutes les zones de montagne comportant des vallées larges et des oueds étalés : ensemble du Rif central et oriental, Haut Atlas central, Moyen Atlas occidental et oriental (Mgoun).

#### Moyens et coûts

- Travail progressif d'installation de la haie renforcée par des cailloux et prélèvement de boutures sur la végétation locale, soit environ 300 JT/ha : 15 000 Dm/ha
  - Achat et plantation d'arbres fruitiers sur la terrasse : 12 500 Dm/ha
- Total : 27 500 Dm/ha



*Suivi et entretien*

- Entretien de la haie et du talus de la terrasse étroite : 5 JT/ha/an soit 250 Dm/ha/an
- Fumure des arbres fruitiers : 500 Dm/ha/an

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>– Récupération des eaux et des sédiments circulant dans l'oued</li><li>– Protection des terres des versants</li><li>– Réduction du transport solide et des débits de pointe des oueds</li><li>– Réduction de l'envasement des barrages en aval</li><li>– Amélioration de la productivité des terres</li><li>– Amélioration de la biodiversité</li><li>– Utilisation des matériaux locaux</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Nécessite un entretien régulier de la haie et du talus de la terrasse, en particulier après chaque crue principale</li></ul>

## L'infiltration totale

### Fiche 13

#### Les micro-terrasses individuelles sur terrain rocheux

##### Description

Dans les zones à forte pente, à sol colluvial avec de grosses pierres pointant en surface, où il serait trop coûteux de trier la terre et les cailloux, on se contente d'écarter les plus grosses pierres pour dégager de petites terrasses susceptibles d'accueillir un arbre fruitier, olivier, noyer ou cerisier. On renforce les bords avec les petites pierres disponibles alentour, on creuse une fosse dont on trie la terre fine qu'on mélange avec un seau de fumier ou de compost auquel on ajoute un kilo d'engrais minéraux composite. On y plante un jeune arbre et on arrose au tuyau à partir d'une citerne ou d'une séguia.

##### Objectifs

La construction des micro-terrasses a pour objectif d'accumuler suffisamment d'eau et de terre pour développer des arbres fruitiers. Cet aménagement permet aussi de marquer clairement la propriété du terrain, de valoriser et de protéger des versants raides encombrés de rochers en montagne.

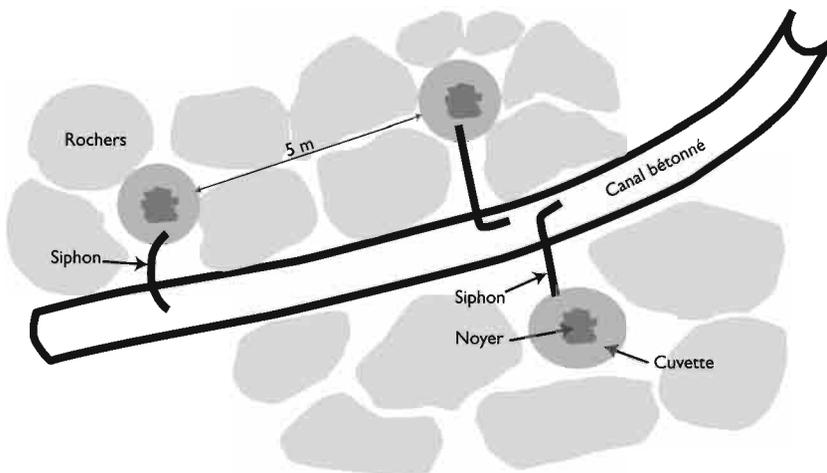
##### Extension

Ce mode d'utilisation des glissements de terrains rocheux a été observé près d'Imlil (Haut Atlas) : il pourrait être étendu partout en zone rocheuse humide, mais seulement à proximité des sources et des oueds dans les zones semi-arides.

##### Moyens et coûts

Premier cas : creusement d'une fosse (50 x 50 x 50 cm) entre les rochers de surface

- Dégager l'horizon humifère du sol
- Tailler la couverture pédologique jusqu'à la roche altérée



- Planer la terrasse et la recouvrir de l'horizon humifère enrichi en fumier : 1 JT/5 m linéaires

Deuxième cas : construction d'une murette avec des pierres trouvées sur place sur une dalle calcaire ou ferrugineuse

- Apporter de la terre de l'extérieur (par ex. des alluvions) et la mélanger avec le compost et l'engrais minéral : 2 JT/1 m linéaire
- Achat de plants (15 Dm) : 200 pieds soit 3 000 Dm/ha

### *Suivi et entretien*

- Entretien de la cuvette : 1 JT/ha/an soit 50 Dm/ha/an
- Fumure des arbres fruitiers : 500 Dm/ha/an
- Entretien du réseau d'irrigation et de drainage : 5 JT/ha/an soit 250 Dm/ha/an

#### **Avantages**

- Récupération des eaux du ruissellement, de source ou d'un oued, par une séguia ou une citerne
- Réduction de l'érosion du versant, des débits de pointe de l'oued et de l'envasement des barrages
- Stockage de la MO et des nutriments dans le sol
- Amélioration de la productivité des colluvions caillouteuses
- Amélioration de la biodiversité
- Utilisation des matériaux locaux
- Stockage des pierres du sol en surface

#### **Inconvénients**

- Nécessite un entretien régulier de la séguia
- Demande 50 à 150 jours de travail par ha en fonction de la nature du sol et de la pente
- Exige l'amélioration de la fertilité du sol par apport de fumier, de chaux et de NPK pour accélérer l'intensification de la production



© M. Sabir

*Plantation fruitière sur éboulis à Arned (Haut Atlas)*

## Fiche 14

### Les terrasses méditerranéennes avec murettes

#### *Description*

Dans les zones à forte pente, on transforme le versant en une série de gradins formés d'un talus, protégé par des herbes ou une murette en pierres, et d'un replat qui permet à la fois de stocker un volume d'eau et de sol suffisant pour la croissance d'arbres fruitiers et le développement de cultures intensives. La hauteur du talus est généralement comprise entre 1 et 3 m et la largeur de la terrasse entre 1 et 10 m selon la pente et la couverture pédologique meuble. Le fruit du talus (pente du talus par rapport à la verticale) est de l'ordre de 40 % s'il est nu, 20 % s'il est protégé de mottes d'herbes, et 10 % dans les cas des murettes. Ces investissements en terrasses ne sont entrepris que sur des pentes supérieures à 15 % et pouvant atteindre 40 à 60 % ; au-delà, les risques de glissement de terrain augmentent rapidement surtout sur argilite, marnes, schistes et gneiss et dans les zones humides à tremblement de terre (Rif). Le replat est généralement organisé en planches à pente longitudinale faible (< 1%) et à légère contre-pente vers le talus, ce qui lui permet d'évacuer les excédents d'eau lors des averses exceptionnelles (danger de ravinement catastrophique).

En zone sub-humide et humide, il n'est plus indispensable d'irriguer, et ces terrasses peuvent donc être réparties sur l'ensemble du paysage. Par contre, en zones semi-arides et arides, ces terrasses méditerranéennes sont dotées d'un système d'irrigation, soit par capture de l'eau de la vallée, soit par apport d'une eau de source. Les terrasses en gradins méditerranéens sont donc limitées à la présence d'eau.

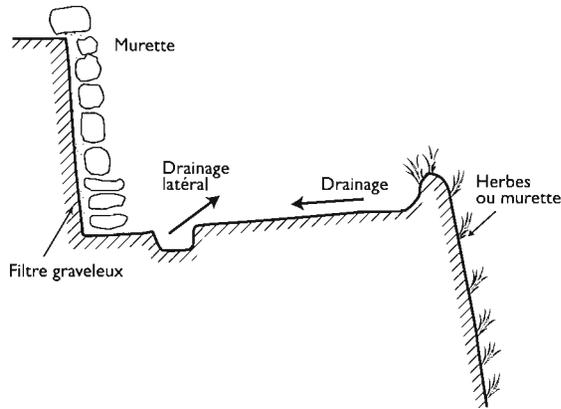
Dans la région d'Asni (Haut Atlas), les versants sont généralement occupés par les parcours, sauf à proximité des résurgences des sources et sur les colluvions encadrant la vallée. Les eaux sont dirigées vers ces terrasses en gradins par des séguias, canaux en terre battue ou en béton. La terrasse est structurée en planches creuses entourées d'un billon ou en billons parallèles permettant la répartition des eaux amenées par les séguias. On y cultive en rotation des céréales (maïs, blé, orge, sorgho), des légumes (oignon, bettes, carottes, etc.) et des cultures fourragères (luzernes, trèfle) et autres légumineuses (pois, haricots). On y concentre la fumure organique disponible et un complément minéral.

#### *Objectifs*

La construction des terrasses a pour objectif d'accumuler suffisamment d'eau et de terre pour développer une culture intensive, par exemple des arbres fruitiers avec un sous-étage de légumes, de céréales ou de cultures fourragères. Cet aménagement permet aussi de marquer clairement la propriété du terrain, de valoriser et de protéger des versants raides en montagne.

#### *Extension*

On trouve des terrasses méditerranéennes en gradins partout en zone humide, mais seulement à proximité des sources et des oueds dans les zones semi-arides et arides.



### Moyens et coûts

Premier cas : creusement du talus dans le versant

– Il s'agit de déplacer l'horizon humifère du sol, puis de tailler le versant jusqu'à développer un talus de 1 à 2 m de haut ; ensuite, planer le fond de la terrasse et la recouvrir de l'horizon humifère enrichi en fumier : 1 JT/5 m linéaire

Deuxième cas : construction d'un talus en mottes d'herbes

– Creuser un soubassement, puis construire un talus en mottes d'herbes placées vers l'extérieur, déplacer l'horizon humifère du replat, planer la base de la terrasse et la recouvrir de l'horizon humifère enrichi de fumier : 1 JT/2 m linéaire



© M. Sabir

Fumier sur terrasse en gradins à Tamater (Haut Atlas)

Troisième cas : construction d'une murette avec des pierres trouvées sur place  
Dans ce cas, il s'agit de piocher la terre pour sortir les pierres en même temps que de planer le replat, dégager le soubassement de la murette, construire la murette et ajouter du fumier en surface : 2 JT/1 m linéaire

Dans le Rif, les paysans commencent souvent par construire un talus en terre plus ou moins végétalisé qu'ils renforcent aux points faibles par des pierres.

#### **Suivi et entretien**

- Entretien de la murette ou du talus : 10 JT/ha/an soit 500 Dm/ha/an
- Fumure des arbres fruitiers : 500 Dm/ha/an
- Entretien du réseau d'irrigation et de drainage : 5 JT/ha/an soit 250 Dm/ha/an

#### **Avantages**

- Récupération des eaux du ruissellement, de source ou de l'oued par une séguia
- Réduction de l'érosion du versant, des débits de pointe de l'oued et de l'envasement des barrages,
- Stockage de la MO et des nutriments dans le sol
- Amélioration de la productivité des terres
- Amélioration de la biodiversité
- Utilisation des matériaux locaux
- Stockage des pierres du sol sur la murette

#### **Inconvénients**

- Nécessite un entretien régulier de la murette, en particulier après chaque averse principale
- Demande 350 à 1 500 jours de travail par ha en fonction de la nature du talus (en terre ou murette en pierres) et de la pente
- Exige la restauration de la fertilité du sol par apport de fumier, de chaux et de NPK pour accélérer l'intensification de la production

**Fiche 15**

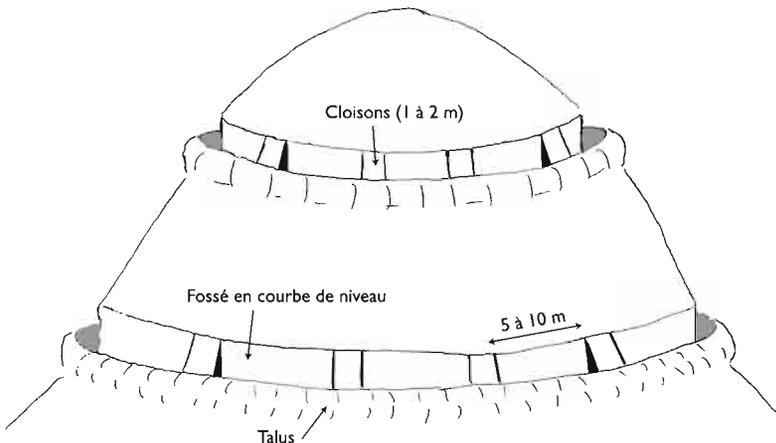
**Fossés, éléments de banquettes et banquettes d'absorption totale**

*Description*

Dans les zones à pente moyenne (10 à 30 %) et à pluies modérées (400 à 800 mm/an), en vue de faciliter l'infiltration des eaux de pluie et de ruissellement, on creuse des fossés en quinconce de 2 à 3 m de long, 50 à 100 cm de large et de 1 m de profondeur. Leur espacement varie de 1 à 3 m sur la ligne et de 2 à 5 m entre les lignes en courbe de niveau en fonction de la taille des arbres et de l'aridité de la zone. En principe, les fossés doivent pouvoir stocker le ruissellement des plus grosses averses. La bonne terre humifère de la fosse et des environs est remise dans la fosse (avec un peu d'engrais), tandis que les pierres et terres minérales sont disposées en croissant autour de la fosse pour délimiter une cuvette de rétention du ruissellement. Un arbre est planté à chaque extrémité de la fosse.

Si le sol est suffisamment profond et perméable et qu'il ne risque pas de glisser sur la roche altérée (hors marnes, schistes, gneiss ou cendres volcaniques sur granite), on creuse sur les pentes des plateformes ou terrasses horizontales avec talus en amont et bourrelet en aval construites pour absorber toutes les eaux de surface (inter-banquettes et talus). Les fossés et banquettes d'absorption totale peuvent s'étaler en continu sur tout un versant, mais le risque est grand de voir les eaux stockées sur la banquette déborder du bourrelet lors d'une averse exceptionnelle en creusant une ravine qui va ruiner l'aménagement en aval. On préférera cloisonner les fossés ou réaliser des éléments de banquette distants de quelques mètres.

Si le terrain à replanter est homogène et pas trop pentu, on peut effectuer le travail par une pelleteuse qui va réaliser des éléments de banquettes séparés par des cloisons de 1 à 2 m. Mais si le sol est caillouteux, peu profond ou en poche (calcaire), le travail est réalisé à la main et adapté à la profondeur du sol : la disposition des fossés est plus souple.



### Objectifs

Le but est de capter le maximum d'eau et de nutriments aux alentours de jeunes arbres. Le reste du terrain doit être nettoyé, brûlé ou surpâturé avant la plantation de façon à produire le ruissellement qui viendra nourrir les arbres. Cette méthode convient pour restaurer des forêts dégradées ou planter des arbres fruitiers rustiques.

### Extension

Observation dans le Rif et le Haut Atlas, mais extension possible sur collines semi-arides moins pentues.

### Moyens et coûts

- Creusement à la main ou à la pelleuse de fosses de 3 m de long, 1 m de large et 1 m de profondeur : 5 000 Dm
- Creusement d'éléments de banquettes de 3 à 5 m de long : 10 000 Dm
- Plantation de deux plants d'arbustes fourragers ou d'arbres forestiers ou fruitiers par fosse : 12 000 Dm

### Suivi et entretien

- Entretien des fossés ou du talus : 10 JT/ha/an soit 500 Dm/ha/an
- Fumure des arbres fruitiers : 500 Dm/ha/an
- Irrigation des jeunes plants les deux premières années : 5 JT/ha/an soit 250 Dm/ha/an

#### Avantages

- Récupération de toutes les eaux du ruissellement
- Réduit l'érosion du versant, les débits de pointe et l'envasement des barrages
- Stocke la MO et les nutriments dans le sol
- Améliore la productivité des terres
- Permet d'enrichir la biodiversité de terrains dégradés ou non
- Utilisation des matériaux locaux

#### Inconvénients

- Demande peu d'entretien, sauf après chaque averse principale, et un arrosage les deux premières années
- Nécessite une mise en défens tant que les arbres sont trop jeunes pour résister au broutage

## La diversion des excès d'eau

### Fiche 16

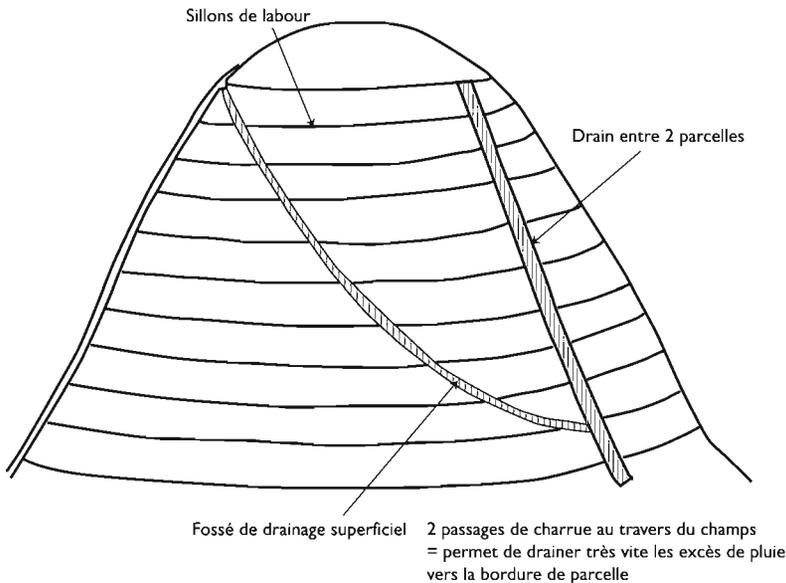
#### Dérayures, fossés et banquettes de diversion

##### Description

Dans les zones à forte pente et à pluies temporairement excédentaires (800 à > 1 500 mm/an), on ne peut infiltrer toutes les eaux de pluies sans risquer d'augmenter le ravinement et surtout les glissements de terrain : on est alors amené à creuser des dérayures, fossés ou banquettes de diversion qui guident les eaux de ruissellement vers un chemin d'eau protégé et renforcé ;

– Les dérayures : après avoir labouré le champ en suivant les courbes de niveau, le cultivateur trace avec sa charrue un sillon suivi en aval d'un billon, en oblique (angle de < 25 %) au travers de la parcelle jusqu'à la limite latérale de la parcelle, généralement couverte d'herbes. Puis l'ensemble de la parcelle est semé (et fertilisé). Le sillon collecte le ruissellement dès sa naissance entre les mottes de surface. Les eaux de drainage rejoignent la vallée par un chemin d'eau, fossé enherbé. Les dérayures sont provisoires et disparaissent à chaque labour.

– Les fossés obliques (0,5 à 1 m de profondeur) sont des structures stables de drainage espacées de 20 à 50 m sur le versant qui collectent les eaux de ruissellement ou hypodermique et conduisent ces excédents d'eau de surface jusqu'à un chemin d'eau aménagé ou un ravin naturel renforcé. Le danger est de raccourcir l'épaisseur de sol entre la zone d'infiltration et la roche pourrie et donc d'augmenter le risque de mouvements de masse.



Dérayure dans un champ labouré en courbes de niveaux

– Les banquettes de diversion sont des fossés à fond de 1 à 5 m de large, à talus taillés dans la couverture pédologique et à bourrelet de sol rapporté en équilibre peu stable à l’aval.

Les plateformes des fossés et des banquettes sont en pente latérale douce (0,2 au début à 0,5 % vers la fin de la banquette dont la longueur maximale ne dépasse pas 400 m). Avec les bourrelets en bordure, ils guident le ruissellement vers un exutoire aménagé (ravin naturel stable, chemin d’eau enherbé ou empierré qui conduit les eaux excédentaires des versants directement au fond de la vallée).

### Objectifs

L’objectif est de capter les eaux de surface excédentaires et de les évacuer latéralement vers un chemin d’eau, en vue de réduire les risques de ravinement et de glissement de terrain lors des grosses averses.

### Extension

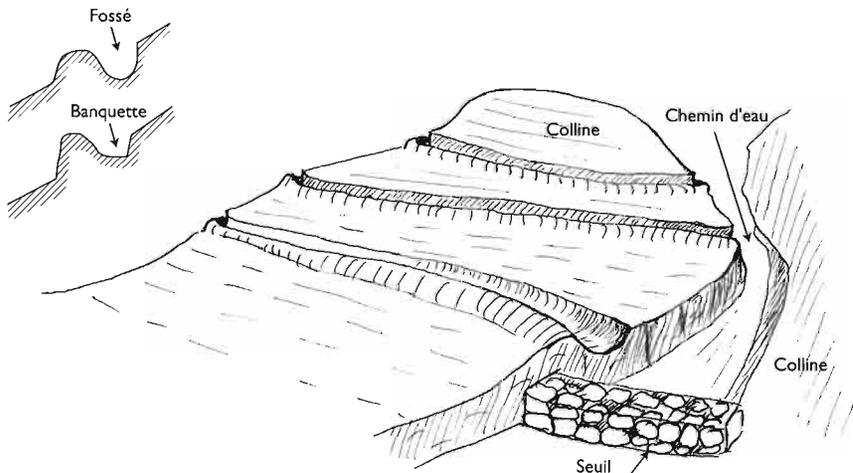
Ces banquettes ont été observées dans le Rif et le Haut Atlas, mais extensions possibles sur collines semi-arides peu pentues.

### Moyens et coûts

- Dérayures : très peu de frais
- Fossés : creusement, 5 000 Dm
- Banquettes : 5 000 à 10 000 Dm/ha

### Suivi et entretien

- Nettoyer le lit des fossés et banquettes pour assurer une bonne circulation de l’eau.
- Entretenir le bourrelet qui pourrait être endommagé par les excès d’eau de ruissellement.
- Prévenir le ravinement des chemins d’eau (seuils en pierres).



Fossés de diversion et exutoire aménagé

### *Avantages et inconvénients*

- Les dérayures ne comportent que très peu de frais complémentaire au labour, mais les eaux de drainage entraînent souvent le ravinement entre parcelles voisines.
- Les fossés et les banquettes selon la pente du terrain et la densité des ouvrages entraînent des travaux de terrassement pouvant atteindre 10 000 Dm/ha, des pertes de surface cultivables de 5 à 15 % et des difficultés pour mécaniser les travaux culturaux.
- Lors d'averses abondantes, les eaux peuvent déborder des drains et banquettes et former des ravines sur le versant ou aux points bas : l'ensemble du réseau de drain est alors mis hors d'usage.
- À la fin des averses, la vitesse de l'eau de drainage diminuant, la sédimentation des sables et limons entraîne à moyen terme la diminution de l'évacuation des eaux excédentaires et la rupture des bourrelets, puis le ravinement de tout le versant : il faut donc impérativement entretenir la perméabilité du fossé. Statistiquement, la majorité des banquettes peu entretenues sont dégradées au bout de 4 à 10 ans.
- Ces aménagements ne permettent pas l'amélioration de la production des terres cultivées entre banquettes, ni la diminution du gradient de pente du versant, contrairement aux terrasses progressives et aux terrasses en gradins.

Pour toutes ces raisons, les paysans n'apprécient guère ce type d'aménagement en banquettes ou en fossés de diversion. Ceux-ci ne se justifient que pour évacuer le drainage au-dessus de versants schisteux très sensibles aux glissements de terrain (un exemple remarquable est illustré par l'aménagement du vignoble de Banyuls).

# La dissipation de l'énergie du ruissellement

## Fiche 17

### Les haies vives

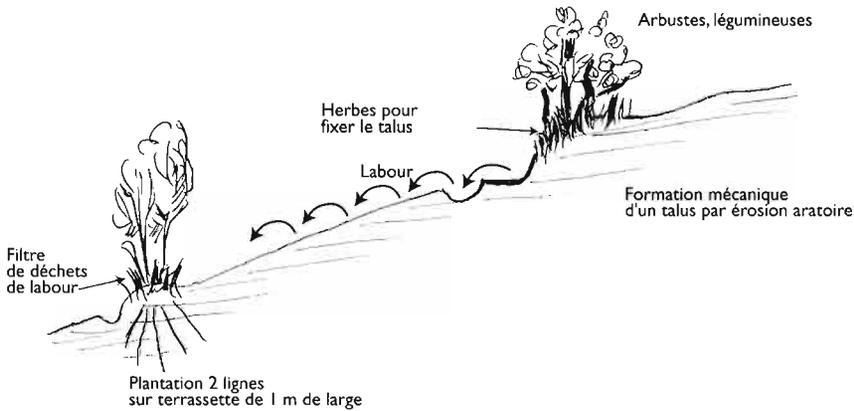
#### Description

Des plantations serrées d'arbustes ou de cactus (tous les 50 cm de dénivelée sur une bande de 1 mètre de large) sont réalisées en courbe de niveau, en vue de limiter un champ ou une partie d'une parcelle. Cette structure perméable au ruissellement provoque à moyen terme la formation d'une terrasse progressive par filtration de l'eau, dépôt des sédiments grossiers et des matières organiques, et surtout par érosion aratoire. Les haies vives sont constituées d'épineux (cactus raquette, ou opuntia, et autres, jujubier, aubépine, acacias divers, etc.), d'oléastres, amandiers, *Pistacia lentiscus*, frênes, genêts et autres fourragers ou herbacées (canne de Provence, palmier doum, *Pennisetum*, *Vetiver*). Ces haies vives peuvent être plantées ou simplement protégées lors du défrichage et des travaux culturaux (diss, palmiers doum, cistes, pistachiers). Les haies sont généralement constituées de plusieurs espèces végétales complémentaires : on peut imaginer une succession d'arbres fruitiers (par ex. oliviers, amandiers) tous les 5 m au centre d'une cuvette et, entre ceux-ci, une bande d'arrêt enherbée plantée de légumineuses fourragères pérennes (trèfle, luzerne, *Sylla*) ou d'arbustes fourragers (*Medicago arborea*). Pour limiter une parcelle, on peut implanter une ligne de piquets verts, c'est-à-dire des macro-boutures d'arbres qui reprennent facilement racine en saison fraîche et humide (peupliers, légumineuse) ou installer de jeunes plants à protéger du bétail par des branches épineuses jusqu'à ce qu'elles soient assez fortes pour supporter un fil de fer barbelé et la pression des animaux. Dans les régions plus arrosées, les haies vives peuvent aussi fournir du fourrage. Dans ce cas, on plante en quinconce 2 à 3 rangs de jeunes plants (ou graines) d'arbustes légumineuses (*Leucaena*, *Acacia* sp., *Ziziphus* sp., *Balanites* sp., *Atriplex* sp., etc.). Pour renforcer le pouvoir filtrant de ces jeunes plantations, on y dépose des racines, jeunes branches, adventices sarclées et autres cailloux ou déchets de labour qui ralentissent le ruissellement en même temps qu'ils vont améliorer l'humus du sol, sa capacité d'infiltration et sa fertilité. Dans ce milieu riche en MO, les vers de terre et autres animaux fouisseurs vont se développer et créer une zone d'infiltration préférentielle.

#### Objectifs

Les haies vives permettent de ralentir le ruissellement sur les marnes (Rif) où les banquettes et les terrasses d'absorption totale risquent de déclencher des mouvements de masse ou du ravinement.

Les haies vives peuvent aussi servir de base à la protection d'un talus, à la formation d'une terrasse progressive et à la production de fourrage. Elles ralentissent les eaux de ruissellement, provoquent la sédimentation des particules grossières et matières organiques et accumulent en amont les terres déplacées lors des travaux culturaux.



### *Extension*

On trouve des haies en bordure des champs dans tout le pays, en particulier là où on souhaite limiter le parcours des animaux (piquets verts ou haies dans le Rif). Les bordures de parcelles en cactus (raquettes, chandelles ou coussinets) sont nombreuses en zones semi-arides, où elles apportent un complément de recette lors de la vente des fruits (figues de barbarie) et servent de réserve de fourrage en cas de grande sécheresse.

### *Coût d'installation*

- Préparation du terrain et apport d'engrais : 500 Dm/ha
  - Achat des plants, boutures, graines : 500 à 1 000 Dm/ha
  - Plantation des lignes : 1 000 à 2 000 Dm/ha
  - Protection des jeunes plants pendant 2 à 3 ans (fourmis, bétail) : 2 000 à 4 000 Dm/ha
- Total : 4 000 à 7 500 Dm/ha

### *Suivi et entretien*

Les jeunes haies plantées sont efficaces pour réduire les transports solides dès la première année, si on les renforce par les déchets de culture ou un épais paillage. La croissance des jeunes plants doit être favorisée par un léger apport de nutriments (vieux fumier éteint, NPK et compost) et d'eau lors des périodes de sécheresse jusqu'à ce que les racines atteignent des niveaux frais du sol. Par contre, pour réduire la concurrence avec les cultures, il faut limiter l'extension latérale du réseau racinaire superficiel des arbustes en passant jusqu'à 30 cm de profondeur un coutre à 50 cm de la ligne de plantation dès la première année, lorsque les racines sont encore cassantes, et repasser chaque année lors du labour : cette intervention favorise l'enracinement profond.

Lorsque la haie vive commence à faire trop d'ombre aux cultures, il faut tailler la haie soigneusement avec un outil tranchant adapté pour blesser au minimum les branches (cisailles, sécateurs, scies). Les émondes, riches en éléments nutritifs,

peuvent renforcer la haie les deux premières années, puis servir de fourrage ou de paillage sur le champ amont labouré et semé : les feuilles se détachent d'elles-mêmes au bout de quelques pluies, et les branchettes pourront soit rester pourrir sur place, soit être récupérées au bout de quelques semaines pour divers usages (piquets pour faire grimper les pois et haricots, petit bois de feu).

La taille des haies se fait 2 à 4 fois dans l'année selon le climat et les espèces plantées.

### Coût à l'entretien

- Taille de la haie 2 à 4 fois dans l'année : 250 à 500 Dm
  - Disposition des émondes sur la terre semée ou comme fourrage pour le bétail : 50 à 100 Dm
- Total : 300 à 600 Dm

#### Avantages

- Technique ne nécessitant que peu de terrassement
- Peu de transport de matière à part les boutures
  - Peu de travail à l'installation (10 à 30 JT/ha)
  - Remonte en surface les nutriments du sol
  - Augmente la biodiversité (cache pour oiseaux)
  - Introduit une nouvelle production (bois, fourrage)
  - Permet la formation de terrasses progressives

#### Inconvénients

- Perte de 5 à 15 % de la surface cultivable
- Peut servir de refuge pour les nuisibles
- Entretien chaque année à l'occasion de la taille
- Un ruissellement trop abondant peut déborder et emporter la terrasse progressive suivante

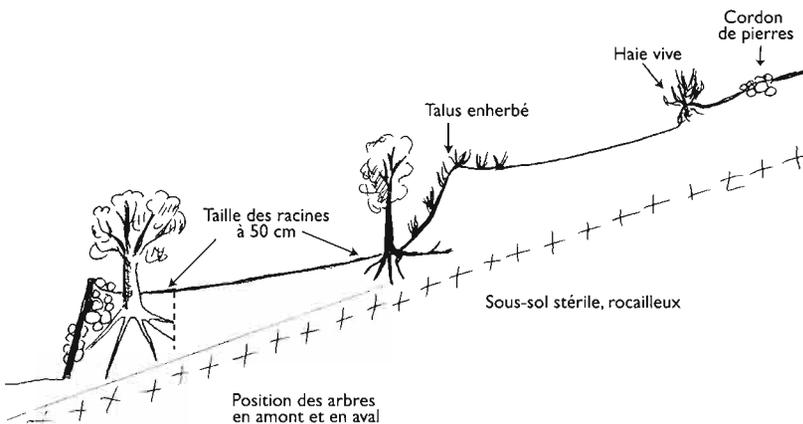
**Fiche 18**

**Les terrasses progressives avec talus perméables végétalisés ou empierrés**

*Description*

À la limite inférieure des parcelles cultivées, le cultivateur laisse généralement une bande d'herbes sauvages pour ralentir les eaux qui ruissellent. Avec les années et le labour régulier, la terre de la parcelle s'accumule en amont de cette bande enherbée, tandis que la charrue gratte la base du talus précédent. En 4 à 10 ans, le talus s'épaissit de 1 mètre tandis qu'en amont le sol s'amincit progressivement, repoussé par la charrue et par l'érosion vers le bas du versant. C'est ainsi que se forment progressivement des terrasses. Il est possible d'accélérer ce processus d'érosion aratoire, en installant en bordure de parcelle ou à 10-25 m les unes des autres des doubles lignes d'herbes, d'arbustes ou d'arbres en courbe de niveau, entre lesquelles on dispose des déchets de culture, des cailloux ou du paillage en guise de filtre. Les herbes sont efficaces dès la première année. Les arbres et arbustes ont besoin d'une année pour s'installer, mais l'addition de déchets organiques et minéraux accélère l'efficacité des bandes d'arrêt pour former des terrasses progressives.

La pente de la terrasse progressive, contrairement aux gradins, ne sera jamais horizontale, mais elle sera réduite de 30 à 50 % de la pente initiale et formera une concavité qui favorise la sédimentation des eaux de ruissellement. Le mouvement de l'horizon superficiel du sol entraîne l'accumulation de bonne terre humifère vers l'aval de la parcelle et l'appauvrissement de la partie haute. Il faut donc tenir compte de cette différence de fertilité du sol en choisissant des cultures exigeantes près du talus (des arbres fruitiers par exemple) et des cultures rustiques là où le sol est décapé progressivement : on peut aussi compenser par la fumure organique ou un paillage cette perte de stock d'eau et de nutriments de la partie amont. Le travail du sol se fait en courbe de niveau, en commençant à l'aval de la terrasse. Il est prévu en bout de terrasse une zone où l'attelage ou le tracteur peuvent manœuvrer et grimper sur la terrasse supérieure.



### *Objectifs*

Les terrasses progressives sont souvent choisies pour valoriser des terres arides, pauvres, caillouteuses ou trop pentues qui ne bénéficient pas de l'irrigation. Le propriétaire préfère modifier progressivement le profil de sa parcelle sans devoir faire un investissement foncier trop important (30 à 60 jours de travail pendant 4 années). La formation d'un talus permet d'accumuler localement sur une bande étroite la terre et l'eau du ruissellement qui favorisent la croissance de plantes plus exigeantes et plus rentables que sur la terre initiale. La réduction de la pente, la forme concave et la barrière végétale ou minérale perméable réduisent les risques d'érosion et de ruissellement de façon très significative sans provoquer de glissements de terrain sur des pentes de 45 à 70 %. Les dégâts sont nettement moins brutaux sur des terrains aménagés en terrasses progressives plutôt qu'en gradins ou en banquettes d'infiltration totale (talus de terre imperméable) lors des averses intenses ou particulièrement abondantes.

### *Extension*

Les terrasses progressives se retrouvent sur toutes les montagnes du Maroc, en particulier là où il n'est pas rentable d'établir des gradins par manque d'eau ou de sol (trop peu profond ou trop caillouteux). Dans le Haut Atlas, on a souvent observé des terrasses progressives au-dessus de la séguia qui irrigue les premiers gradins sur les colluvions de bas de pente. Dans les zones arides et semi-arides où les cultures sont aléatoires, des cordons de pierres ou des murettes basses permettent de concentrer le peu de terre et d'eau sur une mince bande de terre cultivable (arbres peu exigeants). Le choix de la protection du talus perméable (herbes, arbustes ou arbres et pierres) dépend beaucoup de la lithologie et de l'aridité du climat.

### *Moyens et coûts*

- Préparation de la terrassette en courbe de niveau : 250 Dm/m<sup>2</sup>
- Achat et transport des plants/boutures/pierres : 15 à 25 Dm/plant
- Plantation de la haie ou formation du cordon de pierres : 50 à 150 Dm/10 m linéaires
- Labour en courbe de niveau rejetant la terre vers l'aval : 10 Dm
- Fumure et fertilisation complémentaire : 50 Dm/10 m linéaires
- Paillage de la haie vive : 10 Dm/10 m linéaires

### *Suivi et entretien*

- Entretien de la haie, paillage, taille, transport des émondes
- Entretien du talus, renforcement des zones critiques, passages d'eau
- Labour profond au coutre pour casser les racines superficielles de la haie
- Fumure organique et complément minéral
- Construction d'un talus intermédiaire si le sol est peu épais et si une couche stérile apparaît
- Creusement d'un drain au pied du talus si les pluies sont trop abondantes

**Avantages**

- Réduction de la longueur de pente
- Réduction progressive du % de pente
- Réduction progressive des risques d'érosion
- Développement d'une zone enrichie en humus
- Diversification des cultures

**Inconvénients**

- Perte de surface cultivée (talus fourrager)
- Appauvrissement de la partie amont
- Ruissellement et érosion diminuent mais le risque n'est jamais nul



### *Objectifs*

Il s'agit d'arrêter l'approfondissement des ravines dès leur naissance pour éviter de réduire la surface cultivée, handicaper la circulation des outils de travail du sol et réduire la productivité de la parcelle. Cependant, il reste souvent une ondulation du versant par où circule le ruissellement venant de l'amont : cette zone restera fragile et il est prudent de la couvrir de végétation pérenne ou de pierres.

### *Extension*

Observations dans le Rif central mais extension possible en zone semi-aride.

### *Moyens et coûts*

Le comblement des petites ravines n'est pas coûteux et ne demande pas d'habileté particulière.

### *Suivi et entretien*

Si le comblement des ravines étale et ralentit le passage naturel de l'eau, lors d'averse intense, le débordement peut créer une autre ravine. Le suivi de ces opérations consiste à réduire la production du ruissellement sur la parcelle (impluvium) et à l'acheminer sans beaucoup d'impact jusqu'à un ravin principal. L'épandage de pierres issues des labours, la construction de petits seuils fractionnés en fagots ou en pierres et la revégétalisation du lit réduit le creusement de ces petites ravines.

#### **Avantages**

- Réduction de l'extension des ravines
- Piégeage des sédiments grossiers
- Récupération d'espace à cultiver
- Réduction du ruissellement en bas du versant
- Opération peu coûteuse
- Nettoyage des pierres et autres déchets du labour

#### **Inconvénients**

- Apparition de nouvelle ravine si le ruissellement n'est pas réduit à l'origine (impluvium)

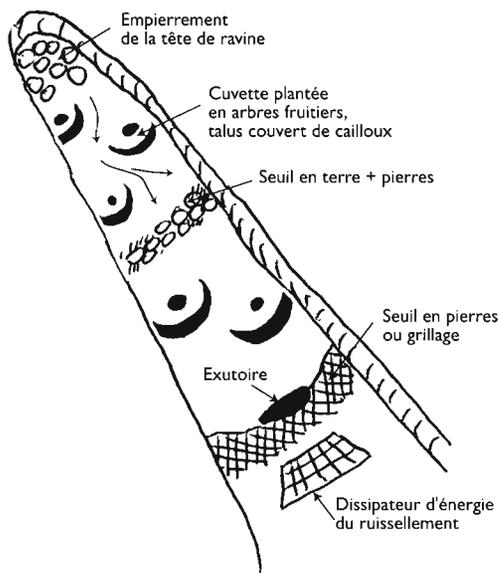
## Fiche 20

### La végétalisation des jeunes ravines

#### Description

Lorsqu'une couverture pédologique et des végétaux garnissent encore partiellement le fond de jeunes ravines, il est possible de regarnir la végétation existante avec une végétation permanente mixte, herbacée au centre du ravin, arbustive et arborée sur les côtés pour augmenter la rugosité du lit sans créer de tourbillons.

Les espèces sont choisies en fonction de leurs aptitudes écologiques à s'adapter au milieu spécial des ravines (inondées pendant les brèves crues, mais arides pendant la saison sèche et chaude), pour leur efficacité à fixer la terre et à valoriser le site. On a le choix entre des arbres fruitiers (oliviers, figuiers, amandiers, pommiers, pruniers, abricotiers, caroubiers, noyers, pêchers), des arbres forestiers et fourragers (*Fraxinus* sp., *Populus alba*, *Acacia cyanophylla*, *Tamarix* sp., *Salix* sp., *Eucalyptus* sp., *Atriplex* sp., *Ziziphus* sp., *Nerium oleander*) et diverses plantes (*Retama* sp., *Phragmites* sp., *Opuntia* sp., *Agave* sp., cannes à sucre et cannes de Provence). Les arbres sont plantés à forte densité (> 2 000 plants/ha) sur les berges du ravin et alentour, juste après l'atterrissement des seuils en pierres, grillage ou bambous. Le fond du lit ne doit comporter que des arbustes souples (lauriers, *Atriplex*, cannes de Provence, roseaux, saules) et des herbes qui se couchent lors des crues en protégeant les sédiments déposés sur le fond. Les arbres sont plantés dans des cuvettes en quinconce : le collet doit être apparent après avoir tassé le sol de chaque côté des plants. L'époque de plantation dépend des risques de gel et de la disponibilité en eau/pluies : on évitera les plantations tardives de printemps et on assurera une ou deux irrigations la première année.



Un apport modéré de fumier bien décomposé ou d'engrais est recommandé dans le trou de plantation (50 x 50 x 50 cm). Un gardiennage durant la période d'installation est souvent nécessaire : la plantation et la surveillance peuvent être assurées par les paysans voisins (contrat), comme gage de protection contre la divagation du bétail.

### *Objectifs*

L'objectif principal est d'arrêter l'évolution des jeunes ravines à moindre coût et d'une manière durable. L'installation de la végétation, notamment pérenne, permet d'assurer une lutte durable contre les effets des écoulements.

Pour intéresser les paysans à la gestion de ces aménagements, il est recommandé de choisir les espèces végétales adaptées à l'écologie locale, mais aussi à l'usage des bénéficiaires.

### *Extension*

La végétalisation des ravines jeunes a été observée dans le Rif occidental sub-humide et le Moyen Atlas sub-humide à humide. Elle peut être étendue dans tout le Rif, le Moyen Atlas et le Haut Atlas. On a observé de nombreux ravins plantés de fruitiers dans le Rif et en zones semi-arides, ou même arides derrière des *jessour*. Le choix des espèces pour la végétalisation des ravins tient compte du degré de dégradation des terres, mais les paysans préfèrent les arbres fruitiers, fourragers ou producteurs de perches. Cependant, il faut tenir compte du statut foncier, de l'instabilité des lieux et des conditions écologiques. L'adhésion des paysans à ces actions valorisantes des zones dégradées est favorisée par le salaire (plantation, gardiennage), une formation et le matériel apporté par l'État ou une ONG au démarrage, en particulier les jeunes plants.

### *Moyens et coûts*

Le choix des espèces et le coût de la végétalisation dépendent du type de ravin, de la pente des berges, de la densité choisie, de l'accessibilité et de la distance de la pépinière.

À titre d'exemple

- Production des plants : 2 à 15 Dm/plant
- Transport et plantation : 5 Dm/plant
- Fumure (fumier ou NPK) : 5 Dm/plant

### *Suivi et entretien*

- Regarnissage des zones où la reprise a été insuffisante
- Arrachage des arbres gênants, poussant au milieu du lit
- Valorisation des berges et atterrissements par plantation de fruitiers
- Contrat type de gestion de ces espaces particuliers
- Taille des arbres pour valoriser leur production (perches droites, taille de fructification, traitements phytosanitaires)

**Avantages**

- Traitement des ravines à moindre coût
- Récupération de terres perdues pour les riverains
- Diversification de la production en fourrage, bois de feu et perches
- Protection des versants contre l'érosion
- Protection des barrages en aval contre les crues et la sédimentation ;
- Réhabilitation des paysages et de la biodiversité
- Allègement de la pression sur les espaces forestiers (bois, fourrage, fruits)

**Inconvénients**

- Nécessite un suivi régulier
- Source de litige entre paysans et l'administration (statut foncier)
- Source de mauvaises herbes, de parasites et ravageurs

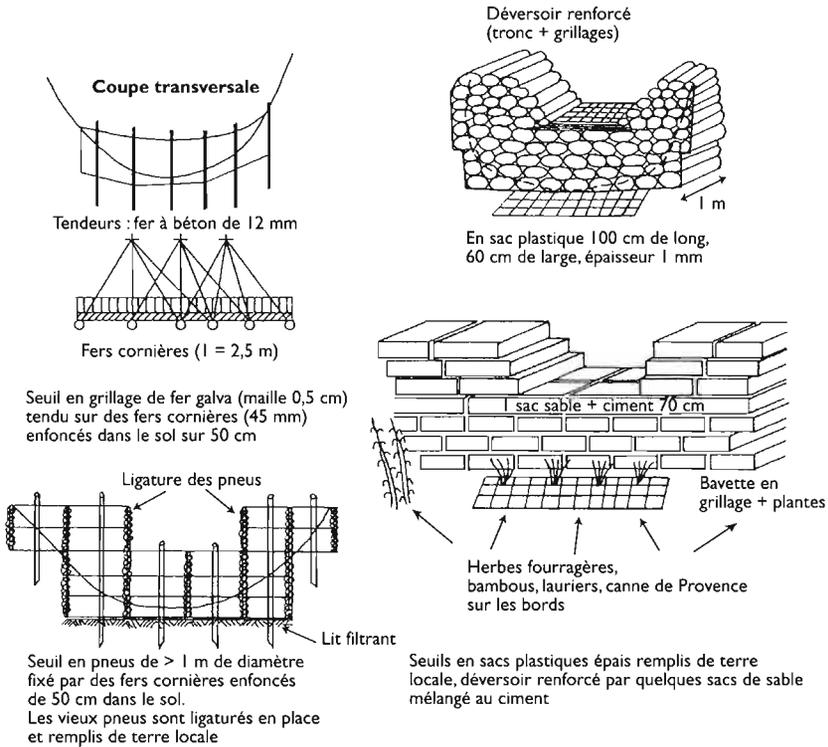
**Fiche 21**

**La restauration de ravines moyennes à l'aide de seuils**

*Description*

Sur les ravines de taille moyenne, c'est-à-dire dont le fond a été décapé de son sol et de la végétation, il est indispensable de fixer d'abord mécaniquement le fond du ravin par une série de seuils (en pieux, en pierres sèches, en gabions, en grillages ou même en terre compactée) avant de revégétaliser les versants et les abords du ravin, sous peine de voir les plantations emportées à la première crue.

Toute une série de règles doivent être respectées pour que les seuils résistent à la pression du ruissellement et des sédiments transportés. Évoquons brièvement les plus importantes : poser le seuil sous le niveau du ravin et l'appuyer sur les versants en prévoyant de relever les bords du seuil au-dessus du niveau des crues ; choisir l'emplacement pour appuyer le seuil sur un rétrécissement des



Prix pour un seuil de 4 m<sup>3</sup>  
(matériel + main d'œuvre + transport)

400 Dm en gabion.....	100 %
en pierres sèches.....	84 %
en grillage de fer.....	34 %
en toile brise-vent plastique...21 %	
en pneus récupérés.....	20 %
en France 100 € / m <sup>3</sup> de gabion	

*Différents types de seuils perméables*

berges ; prévoir la dissipation de l'énergie de chute des eaux (renards) ; garder perméable le seuil pour éviter la pression hydrostatique des crues, la base du seuil amont doit être à la même hauteur que l'exutoire du seuil aval, à la pente de compensation près (soit 5 à 20 % selon la résistance de la roche) ; limiter la hauteur des seuils à 1,2 m quitte à poser une nouvelle série de seuils dès que la première est comblée de sédiments (au-delà, la moindre erreur de construction entraîne des ruptures et la destruction progressive de tout le réseau). Des seuils en terre compactée peuvent s'avérer souples (sur marnes) et très efficaces à condition de renforcer l'exutoire (barre de béton, de fer ou de pierres cimentées). Ce ne sont pas forcément les seuils les plus chers et les plus solides (voile de béton ou gabion) qui résistent le mieux aux assauts des eaux boueuses circulant dans les ravines : l'infiltration de l'eau sous pression entraîne souvent le détournement des écoulements sous le seuil ou sur ses côtés.

En plus des seuils au travers de la ravine principale, il faut prévoir l'enrochement des têtes de ravine pour supprimer sa force de cisaillement et réduire le ruissellement en amont, soit en détournant les pistes et leurs drains, soit en améliorant l'infiltration dans les champs ou les parcours par une mise en défens temporaire avec enrichissement du couvert végétal.

Une fois les seuils envasés (après quelques grosses crues), il faut procéder le plus rapidement possible à la végétalisation de l'ensemble du ravin et de ses environs immédiats (bordure en défens de 4 m minimum autour du ravin). On peut planter des arbres fruitiers, fourragers ou forestiers bien adaptés à la diversité écologique des ravines : fond humide durant les pluies mais sol peu profond sauf en amont des seuils, versants plus profonds mais très bien drainés aptes pour les arbres, distinguer les versants secs (adrets) des versants mieux exposés aux vents humides porteurs de pluies. Fréquemment, les oliviers, figuiers, amandiers, caroubiers et palmiers sont plantés sur les côtés du ravin dans une cuvette où ils sont fumés et entretenus : le centre du ravin doit être couvert d'herbes souples fourragères qui seront exploitées en saison sèche. Des bambous ou cannes de Provence sont parfois plantés en lignes concaves au travers de la ravine comme seuil secondaire : leur réseau racinaire très dense protège bien le sol tandis que leurs nombreuses tiges semi-rigides ralentissent les écoulements.

### *Objectifs*

L'usage combiné de seuils et de plantations diverses a trois objectifs : stopper l'élargissement, le creusement et le rallongement des ravines qui fournissent beaucoup de sédiments dans les barrages, ruinent les espaces cultivés ou pâturés ; valoriser les terres récupérées ; réduire le coût de l'entretien des ravines restaurées.

### *Extension*

Ces techniques mécaniques et biologiques conjointes sont utilisables aussi bien en zone humide que semi-aride et même aride, pourvu que les espèces plantées soient choisies en fonction des conditions écologiques locales. Elles sont aussi

utilisées pour des ravines importantes mais ont plus de chance de réussir durablement sur les ravines moyennes et petites, sur des pentes faibles à moyennes (< 30 %) et dans des zones suffisamment pluvieuses (> 200 mm). Leur réussite augmente lorsque ces travaux réalisés par des ouvriers qualifiés sont ensuite adoptés par les paysans formés qui sont chargés de les entretenir et peuvent les exploiter sous contrat. En Inde, ces nouvelles terres sont confiées aux paysans « sans terre » dont c'est l'unique ressource. En Haïti, de véritables « jardins de ravins » sont soigneusement entretenus et valorisés par toutes sortes d'arbres fruitiers ou fourragers. Construits en série en zone semi-aride du Maghreb, ces ravins se transforment en *jessour* ou oasis linéaires.

### Moyens et coûts

- Construction de cordons, murettes, seuils divers, selon le type, environ : 500 Dm/m<sup>3</sup>
  - Achat de plants (2 000 x 10 Dm/ha) : 20 000 Dm/ha
  - Confection de cuvettes et plantation (5 Dm/plant) : 10 000 Dm/ha
  - Fumure (fumier ou NPK) (5 Dm x 2 000 plants) : 10 000 Dm/ha
- Total pour un petit seuil de 1 x 5 m en gabion + 20 plantes = 3 000 Dm pièce + main-d'œuvre

### Suivi et entretien

- Arrosage la première année
- Regarnissage des plants non repris
- Taille des arbres, des fourrages et soins phytosanitaires
- Entretien des seuils selon dégâts (réduction des fuites, réparation des dégradations par les paysans)
- Surveillance de la mise en défens pendant 3 à 5 ans et enrichissement du parcours autour du ravin

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>– Assurer la durabilité de la correction des ravines</li><li>– Réduire les crues et ensablement des barrages</li><li>– Réduire le coût des aménagements et leur entretien</li><li>– Améliorer la production de bois et fourrage des riverains</li><li>– Réhabiliter la biodiversité</li><li>– Renforcer les liens entre paysans et l'administration</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Nécessite un suivi des paysans</li><li>– Source de litiges entre paysans et usagers</li><li>– Problème du statut des terres ravinnées</li><li>– Litiges entre les paysans et l'administration</li><li>– Source de parasites, ravageurs, adventices</li></ul>

**Fiche 22**

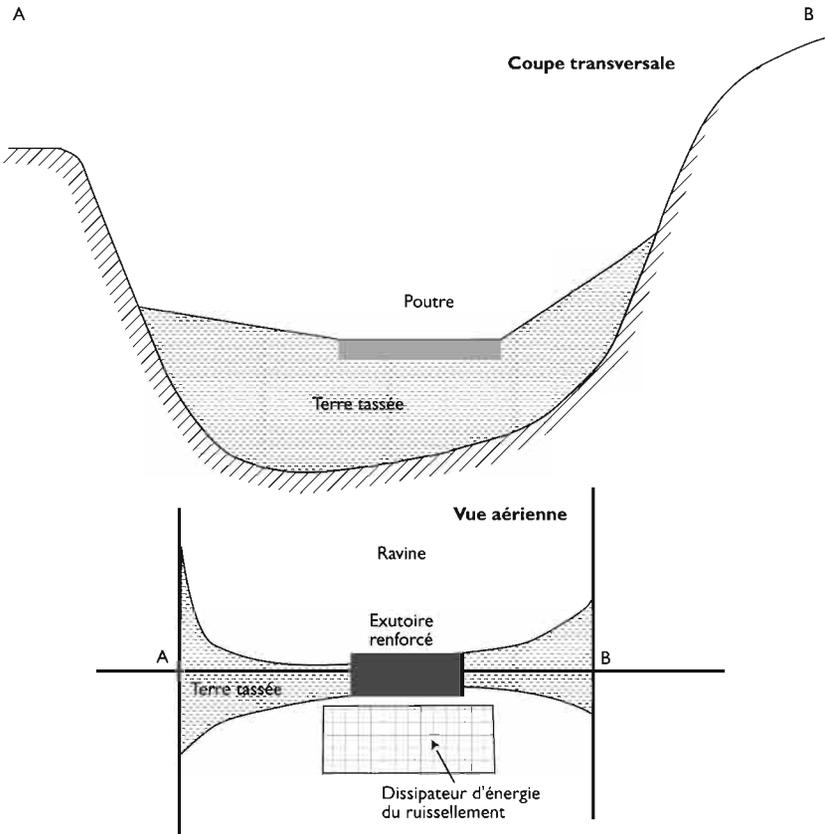
**Les seuils en terre enherbée avec exutoire renforcé**

*Description*

Dans les ravins de petites dimensions à pente faible et à écoulement peu agressif, des diguettes en terre tassée, agissant en tant que seuils, sont construites au fond du lit et à espacement court. Pour augmenter la rugosité du lit et ralentir les écoulements, elles sont renforcées par des pierres ou par une végétation herbacée permanente. Elles ont une épaisseur et une hauteur d'environ 50 cm. Les écoulements excédentaires sont canalisés vers des déversoirs renforcés par des pierres plates, des troncs ou des barres de fer.

*Objectifs*

Ces seuils sont utilisés pour stabiliser progressivement les ravins peu actives à moindre coût. Elles fractionnent le ravin et piègent le ruissellement. En ralentissant l'écoulement, elles évitent le creusement et l'élargissement des ravins. Elles favorisent l'installation de la végétation naturelle (herbacées, arbustes) ou introduite (*Acacia cyanophylla*).



### *Extension*

Rencontrés dans les bassins versants de l'oued Lakhadar, Haut Atlas central semi-aride et de l'oued Srou, Moyen Atlas sub-humide, ces seuils enherbés conviennent dans tout le Haut Atlas, Moyen Atlas et Rif.

### *Moyens et coûts*

Les coûts sont relativement faibles. Une diguette de 1 m de long, 0,5 m de large et 0,5 m de hauteur peut revenir à 50 Dm. Les opérations de construction se résument comme suit.

- Creusement et ramassage de la terre du talus
- Tassement de la terre
- Empilement des pierres sur le déversoir
- Enherbement des seuils et plantation entre les seuils

### *Suivi et entretien*

L'entretien de ces diguettes consiste à combler les ouvertures et dégâts causés par les écoulements agressifs durant la saison pluvieuse, notamment au niveau des déversoirs. L'installation de la végétation doit être favorisée par la mise en terre de boutures d'espèces à usages multiples (saule, frêne, acacia, cactus, etc.).

#### **Avantages**

- Arrête l'évolution des ravines
- Réduit les écoulements et améliore l'infiltration de l'eau dans le sol (amélioration du bilan hydrique pour les plantes)
- Permet à la végétation de s'installer

#### **Inconvénients**

- Fragile durant les crues importantes
- Demande un entretien fréquent durant la période hivernale

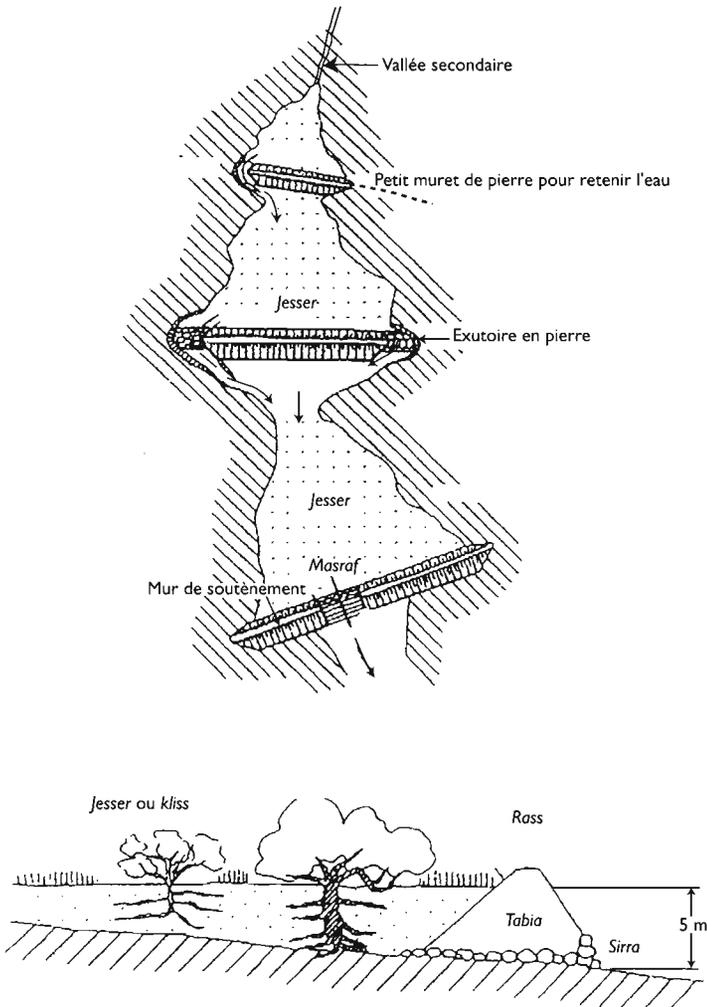
# Aménagement des vallées

## Fiche 23

### Les jessour (sing. jesser)

#### Description

Dans les zones arides de montagnes, des petites digues en terre sont construites en série dans les vallées secondaires pour capter le ruissellement et sa charge solide. Ces digues permettent la formation progressive de terrasses plantées en arbres fruitiers (palmiers, figuiers et oliviers dont les tiges supportent d'être enfouies sous les sédiments) et semées en céréales et légumineuses (BONVALLOT, 1986). La digue (*tabia*) en terre compactée se construit soit manuellement, soit



au bulldozer. La hauteur est de 1 à 3 m, la longueur de 10 à 50 m et l'épaisseur de 2 à 3 m à la base et de 50 à 100 cm au sommet. La digue est parfois protégée d'une murette en pierres et équipée d'un exutoire latéral qui s'appuie sur le bord du versant. Si le déversoir latéral s'attaque à une zone tendre du versant, il est renforcé par des lignes de pierres.

### Objectifs

L'objectif consiste à récupérer l'eau et les sédiments fins en transit dans le fond d'un vallon derrière une série de digues, pour construire progressivement des terrasses qui seront cultivées intensivement en arbres fruitiers, légumes, céréales et fourrages.

### Extension

Les *jessour* peuvent être étendus dans toutes les zones arides du pays : Oriental, Haut Atlas oriental, Moyen Atlas oriental, Anti-Atlas, Abda, Haha.

### Moyens et coûts

– Construction d'une diguette en terre parfois renforcée par un revêtement de cailloux qui sont prélevés sur place 10 JT/20 m<sup>3</sup> à 100 JT/100 m<sup>3</sup> x 50 Dm/JT : 500 à 5 000 Dm

– Aménagement soigneux du déversoir par une maçonnerie de pierres taillées : pour une surface de 1 m x 1 m : 150 Dm

– Achat et plantation d'arbres fruitiers (oliviers, figuiers, palmiers) : 20 à 40 Dm/plants

– Fumure (fumier et NPK) : 500 Dm/ha

Total : 5 000 à 15 000 Dm/ha



© M. Sabir

Aménagement de vallée par des jessour peu sophistiqués

**Suivi et entretien**

- Entretien de la digue : 5 JT/ha/an soit 250 Dm/ha/an
- Fumure des arbres fruitiers : 500 Dm/ha/an

**Avantages**

- Récupération des eaux et des sédiments circulant dans le vallon
- Réduction du transport solide, des débits de pointe et de l'envasement des barrages
- Amélioration de la productivité des terres
- Renforcement de la biodiversité

**Inconvénients**

- Nécessite un entretien régulier de la digue et du déversoir, en particulier après chaque crue principale.
- La production dépend des pluies (ni trop abondantes ni trop faibles et bien réparties)

## Fiche 24

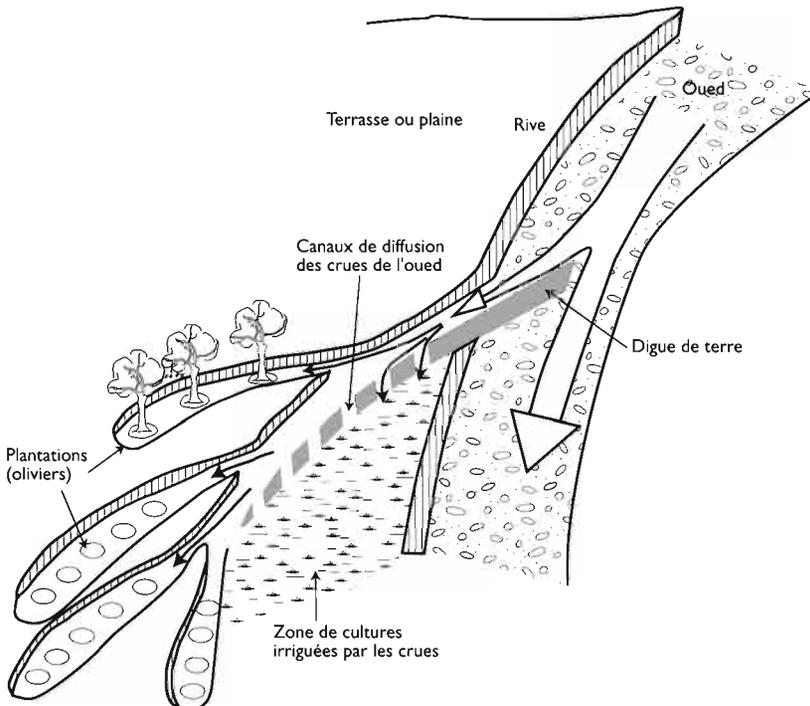
### Les digues d'épandage de crue (*faïd*, *amzaourou* ou *amazighe*)

#### Description

Dans les montagnes arides, des digues en terre grossière (*ouggoug*) sont construites dans l'oued principal pour dévier les eaux de crue vers des canaux qui permettent l'irrigation de plaines en aval. La digue en terre a une hauteur de 1 à 2 m de façon à contenir la crue décennale. L'eau de l'oued est déviée vers un canal (1 à 2 m de large), où décantent les sables et limons, puis vers des canaux secondaires de distribution de l'eau d'un champ à l'autre et, dans les champs, d'une cuvette à l'autre. La propriété est ainsi divisée en petites parcelles (*lagroura*) aménagées en petits bassins isolés par des levées de terre de 1 m ; ces bassins font 3 à 5 m de long et 2 m de large.

#### Objectifs

L'objectif consiste à récupérer l'eau et les sédiments fins en transit dans l'oued et à les canaliser vers des surfaces planes pour irriguer et fertiliser les cultures et les plantations d'arbres fruitiers.



### Extension

Observation sur le versant sud présaharien du Haut Atlas (Tafilalt, Ouarzazate, Tata, etc.) où les pluies ne dépassent pas 200 mm, mais cette technique pourrait être étendue à toutes les zones arides de montagne et, en piémont, aux alentours des oueds. Les apports d'eau sont de courte durée et aléatoires comme les pluies : les cultures sont donc elles-mêmes très aléatoires.

### Moyens et coûts

Il n'y a pas de déversoir : la crue circule naturellement dans l'oued

- Construction d'une digue parfois renforcée par un revêtement de cailloux : 2-10 JT/an : 600 Dm
- Achat et plantation d'arbres fruitiers (oliviers, figuiers, palmiers) : 500 Dm
- Fumure (fumier et NPK) : 600 Dm

Total : 1 700 Dm

### Suivi et entretien

- Entretien de la digue et des billons : 5 JT/ha/an soit 250 Dm/ha/an
- Fumure des arbres fruitiers : 500 Dm/ha/an

#### Avantages

- Récupération des eaux et des sédiments circulant dans l'oued
- Réduction du transport solide, des débits de pointe, de l'envasement des barrages et de la salinisation des sols
- Amélioration de la productivité des terres peu pentues au pied des collines par l'apport des sédiments
- Amélioration de l'alimentation de la nappe
- Enrichissement de la biodiversité
- Utilisation des matériaux locaux

#### Inconvénients

- Nécessite un entretien régulier de la digue et des parcelles cultivées, en particulier après chaque crue principale
- La durée et la période d'irrigation ne sont pas maîtrisées
- Caractère aléatoire des crues et donc des productions

**Fiche 25**

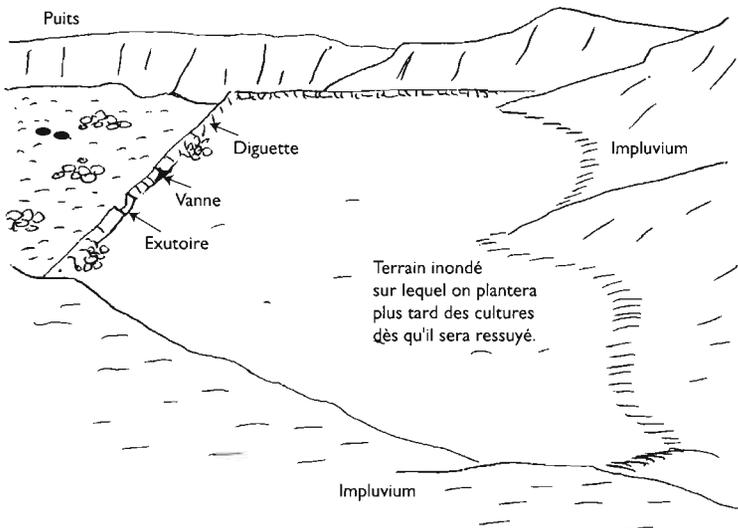
**Les liman : digues de stockage dans les hautes vallées**

*Description*

Dans les montagnes arides, à la confluence de deux vallées secondaires, une digue en terre, de 1 à 2 m de haut, est construite pour capter le ruissellement et sa charge solide : elle permet une culture dans une bonne terre alluviale qui a absorbé une réserve d'eau suffisante pour produire une céréale (500 mm) ou une culture de légumineuse à croissance rapide. Pour évacuer une crue exceptionnelle, un exutoire est prévu, généralement protégé par un mur de pierres cimentées. La pente du talus de la digue dépend de la texture du matériau, elle est de l'ordre de 50 % pour des alluvions argilo-sableuses. La surface cultivable après infiltration de la nappe d'eau stockée dépend de la largeur des vallées et de la pente du fond de vallée. Cette technique correspond au « tank » des zones semi-arides indiennes. Dans le cas des *liman*, c'est la vallée elle-même qui va être irriguée, tandis que dans la *faïd* la digue dévie une partie des eaux de l'oued dans un canal qui va irriguer les plaines environnantes en aval. Enfin, un barrage collinaire accumule des eaux qui seront pompées pour irriguer des sols en aval et en amont du barrage. Contrairement au barrage, le *liman* profite de la charge solide du ruissellement pour améliorer la production des cultures.

*Objectifs*

L'objectif de ces petites digues consiste à valoriser les sédiments fins en transit à l'embranchement de deux vallons derrière une digue rustique et à accumuler suffisamment d'eau dans les bons sols alluviaux pour permettre à une culture de céréale de terminer son cycle. L'objectif secondaire est de réduire l'importance de la crue et des transports solides sur les versants des hautes vallées, avant qu'ils n'atteignent les barrages principaux.



### Extension

L'observation d'un *liman* a été réalisée dans le Moyen Atlas aride faisant partie de la haute Moulouya. Actuellement on en connaît peu au Maroc, mais on peut proposer une extension dans toutes les zones arides de montagne (Anti-Atlas, Rif oriental, Oriental, hauts plateaux).

### Moyens et coûts

- Construction au bulldozer d'une digue de 1,5 m de haut et de 2 à 3 m de large, barrant complètement la zone de confluence de deux vallons : 400 Dm/m linéaire
- Recouvrement du déversoir par une maçonnerie de pierres : 150 Dm pour une surface de 1 m x 1 m

### Suivi et entretien

Semis direct des terres ressuyées

Entretien de la digue et de l'exutoire : 5 JT/100 ml/an soit : 250 Dm/ha/an

#### Avantages

- Valorisation sur place des eaux et des sédiments circulant dans deux vallons
- Réduction du transport solide, des débits de pointe, de la salure du sol et de l'envasement des barrages
- Amélioration de la productivité des terres
- Utilisation des matériaux locaux

#### Inconvénients

- Nécessite un entretien régulier de la digue et du déversoir, en particulier après chaque crue principale

**Fiche 26**

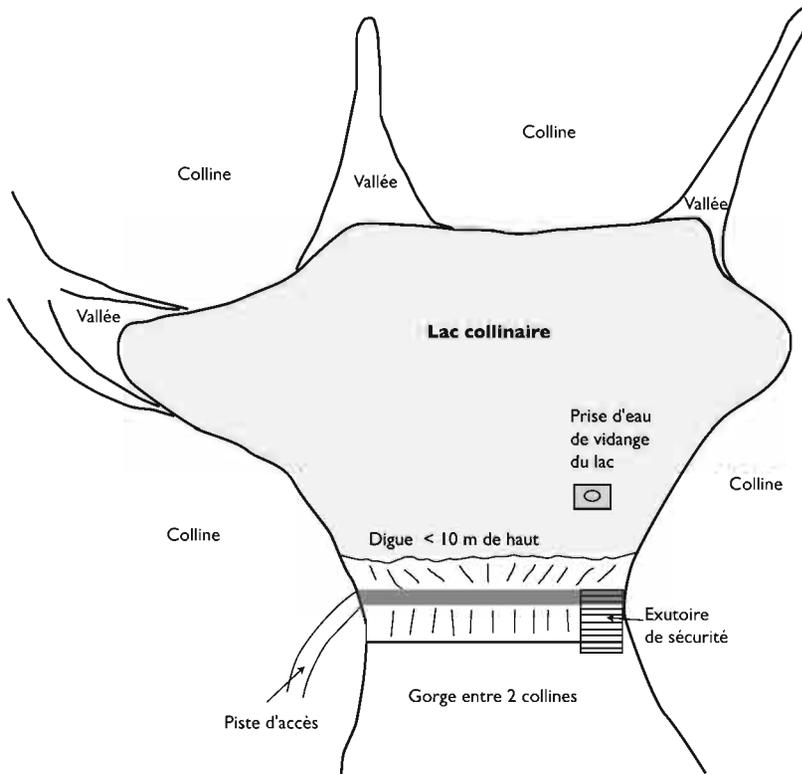
**Les petits barrages collinaires**

*Description*

Un lac collinaire est un réservoir d'eau retenue par une digue construite en terre argileuse compactée ou en béton. Sa hauteur est comprise entre 5 et 10 m, elle peut aller jusqu'à 15 m (limite inférieure des grands ouvrages retenue par la Commission internationale des grands barrages). La digue est équipée de déversoirs latéraux de conception rustique, capables d'évacuer quelques dizaines à plus de 100 m<sup>3</sup> par seconde. Le lac possède parfois une vanne de fond. Les lacs collinaires peuvent retenir quelques dizaines à plusieurs centaines de milliers de mètres cubes d'eau (ALBERGEL, 2008).

*Problématique et objectifs*

Comme les sites des grands barrages sont limités et que leur envasement est plus rapide que prévu, le Maroc a lancé dans les années 1990 la construction de petits barrages collinaires (digue < 10 m et volume < 1 million de m<sup>3</sup>). Les petits barrages collinaires sont des digues en terre compactée aménagées par l'homme, à l'exutoire d'un petit bassin versant (de quelques hectares à quelques kilomètres carrés), qui collectent le ruissellement. Ces ouvrages sont destinés principalement :



- aux besoins domestiques, à l’abreuvement du bétail et à la micro-irrigation des vergers et au maraîchage des paysans qui vivent dans les hautes terres ;
- au développement des activités agricoles, de la pêche et de la chasse, du tourisme, des aires récréatives et des résidences secondaires ;
- à la protection contre les crues, l’envasement rapide et la dégradation des infrastructures situées en aval ;
- à la régulation et à la conservation des flux d’eau par captage du ruissellement et la recharge des nappes phréatiques (ALBERGEL *et al.*, 2004).

### *Extension*

Les efforts de mobilisation des eaux de surface déployés par l’État marocain (construction de 140 grands barrages depuis 1920) avaient comme objectifs essentiels le développement de l’irrigation et l’approvisionnement en eau potable des grands centres urbains. Le monde rural qui constitue plus de 50 % de la population et qui est le plus touché par le manque d’eau a été le moins bien desservi. Une nouvelle stratégie a été adoptée depuis les années 1980. Elle consiste à créer des lacs et barrages collinaires. Une fois construites, ces petites infrastructures ont été oubliées : elles se trouvent actuellement dans un état critique, dû à la dégradation de leur environnement et à une mauvaise gestion des réserves en eau. Leur capacité diminue de 0,5 à 1 % chaque année en relation avec l’érosion des sols.

Après les graves inondations à Mohammedia, Berrechid et Settat (2002-2003), lors desquelles les petits barrages ont joué un rôle important dans l’amortissement des dommages qu’auraient pu entraîner de telles crues, le Maroc connaît un regain d’intérêt pour les petits barrages qui constituent des leviers pour un développement agricole local reposant sur l’irrigation ou l’élevage. En 2004, le Maroc disposait de 50 barrages collinaires et avait programmé 500 unités. Ils sont implantés



© J. Albergel

*Lac de barrage collinaire*

dans des milieux forts différents : le bassin de la Moulouya en compte 41, le bassin du Sebou 44, le Bouregreg 9, la région de Chaouia-Ourdigha 19 et le Souss Massa 9. Dans les régions dépourvues de cours d'eau pérennes et de nappes phréatiques (l'Oriental), ils visent, essentiellement, la mobilisation des eaux de crues pour répondre aux besoins en eau destinée à des fins domestiques. Dans d'autres régions plus humides (bassin du Sebou), c'est surtout la lutte contre l'envasement et la protection des infrastructures qui sont visées.

### *Coût d'installation*

Le coût unitaire d'implantation est de l'ordre du demi-million d'euros, voire quelquefois nettement moins (ALBERGEL, 2004).

### *Suivi et entretien*

- Contrôle annuel de la végétation sur l'ouvrage et ses abords : colmatage du système de drainage (collecteurs en particulier) par le système racinaire des arbustes en aval ; création de zones de cheminement préférentielles pour l'eau le long des racines, en particulier après la mort des arbres et en prévision du risque de développement de renards ou de soulèvement d'ouvrages rigides (par exemple, l'évacuateur de crues lors de la croissance des racines)
- Entretien régulier des parements en maçonnerie
- Comblement systématique des ravines sur le remblai
- Réparation des fils rompus des gabions
- Entretien des ouvrages hydrauliques (évacuateur, vidangeur)

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>– Protection des infrastructures aval</li><li>– Prolongation de la durée de vie d'un grand barrage</li><li>– Recharge de la nappe alluviale sur des sites choisis</li><li>– Implantation dans des milieux ruraux à faible concentration humaine</li><li>– Création de petites zones humides qui favorisent la diversité biologique et plus particulièrement la protection des oiseaux</li><li>– Intégration harmonieuse dans le paysage et maintien des populations rurales en leur assurant de réelles possibilités de développement</li><li>– Envasés, ils serviront de zones de culture intensive et de petits deltas d'épandage des eaux et d'amortissement des ondes de crue</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>– Risque de rupture de digue</li><li>– Envasement rapide, durée de vie 2 à 40 ans</li><li>– coût très élevé pour ces sites en zones rurales enclavées</li></ul>

## Fiche 27

### Les murs de canalisation des eaux des oueds

#### Description

Des murettes (0,5 à 2 m) construites en pierres sèches le long des berges permettent de canaliser les eaux d'écoulement des oueds, notamment les crues. Elles protègent les terrasses quaternaires mises en culture et souvent richement irriguées par la nappe et les apports par séguia.

Par manque de terre dans les vallées encaissées du Haut Atlas, les terrasses agricoles aménagées descendent jusque dans le lit principal de l'oued. Pour protéger les terres, les paysans construisent des murs épais (1,5 m) et parfois très hauts (2 m) en grosses pierres des deux côtés du lit de l'oued pour canaliser les eaux. Le fond est pavé par des grosses pierres plates pour faciliter la circulation de l'eau.

#### Objectifs

L'objectif principal de la construction de ces murs le long du lit des oueds est de faire transiter rapidement et sans danger les eaux des crues. En procédant ainsi, on peut gagner quelques m<sup>2</sup> pour les terrasses agricoles utilisées intensivement.

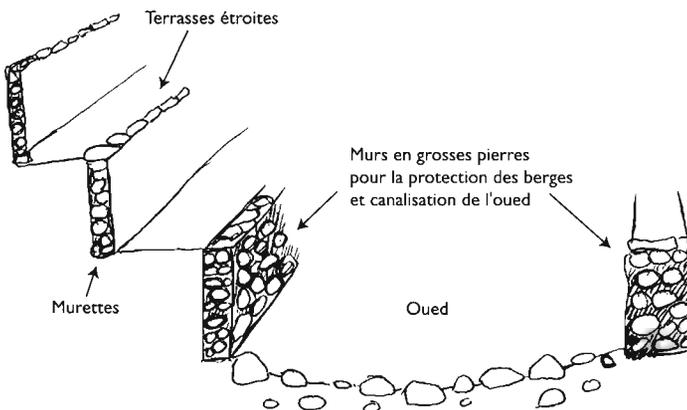
#### Extension

Ces ouvrages ont été observés dans les vallées encaissées du Haut Atlas (Rhéraya, Azaden, Ait Blal, etc.). Ils peuvent être utilisés dans d'autres vallées pour gagner des terres sur le lit de l'oued à condition de bien aménager les berges.

#### Moyens et coûts

Les moyens nécessaires pour la confection de ces murettes sont : leviers en acier pour déplacer les grosses pierres, masses, marteaux.

La confection de ces murs est progressive selon la formation et l'occupation des terrasses. En termes de travail, on peut considérer que la formation d'un mur de 1 m de long, 1 m de large et 2 m de hauteur nécessiterait pour : le ramassage des pierres, 3 JT ; la construction du mur, 2 JT ; au total, 5 JT, l'équivalent de 300 Dm.



### *Suivi et entretien*

L'entretien de ces ouvrages consiste en la vérification de leur stabilité après chaque forte crue et après la saison pluvieuse. Les chocs des blocs qui circulent lors des crues de l'oued sur les murs peuvent engendrer des cassures et des points de déséquilibre.

#### **Avantages**

- Stabilisation des berges des oueds
- Conservation des terrasses irriguées
- Formation de terres agricoles nouvelles

#### **Inconvénients**

- Handicap à la circulation des animaux habitués à emprunter le lit de l'oued
- Coûteux en travail

## Fiche 28

### Les épis de protection des berges et des terrasses

#### Description

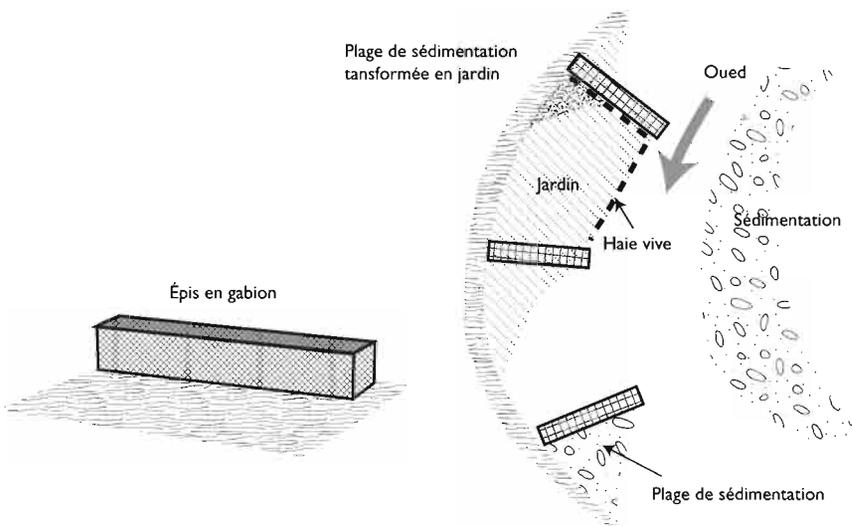
Des murs assez larges (0,5 à 1 m) sont installés au travers des ravins torrentiels pour réduire la vitesse des crues et protéger les berges et les terrasses mises en culture. Le fond du lit est souvent protégé par des pierres de différentes dimensions (pavage). Ces épis peuvent être utilisés comme chemin pour les hommes.

Les paysans creusent des fossés de quelques dizaines de centimètres de profondeur et de la largeur et de la longueur des épis. Les pierres sont empilées dans un ordre particulier, selon leurs tailles et formes, pour assurer le maximum de stabilité au mur qui devra protéger les terrasses et les berges des crues torrentielles à forts débits. La hauteur dépend souvent de l'importance des crues et de la disponibilité des pierres (0,5 à 1 m).

Ces épis augmentent la rugosité du lit et réduisent la vitesse de l'écoulement. Un chenal pour la circulation de l'eau est toujours maintenu. Les épis peuvent être inclinés ou perpendiculaires au lit de l'oued. Les épis ne sont jamais isolés, leur espacement est variable, 5 à 25 m selon la longueur des épis, l'importance des crues et des terres à protéger.

#### Objectifs

L'objectif de ces épis est de ralentir les crues des rivières et de protéger les berges, les terrasses et, dans certains cas, d'accumuler des sédiments pour donner lieu à des terrasses fertiles. Parfois, ils sont utilisés comme chemin de passage entre les parcelles.



### *Extension*

Ces techniques sont observées dans les vallées encaissées du Haut Atlas et du Rif occidental. Elles peuvent être utilisées dans toutes les vallées où les crues causent des dégâts importants sur les terrasses agricoles (perte de terre) et les infrastructures, notamment routières : Haut Atlas, Moyen Atlas, Anti-Atlas, Rif.

### *Moyens et coûts*

Les moyens nécessaires pour la confection de ces épis sont : barre à mine, pioches, pelles, marteaux, masses et cordes.

Creusement du lit de l'épi (0,5 x 0,5 x 5 m) : 250 Dm

Ramassage des pierres : 250 Dm

Empilement des pierres et construction de l'épi : 500 Dm

### *Suivi et entretien*

L'entretien et le suivi de ces ouvrages consistent en la vérification de leur stabilité après chaque forte crue et après la période pluvieuse de l'année. Les chocs des blocs sur les épis engendrent des cassures, des effondrements et des points d'instabilisation.

#### **Avantages**

- Stabilisation des berges des oueds
- Stabilisation et conservation des terres agricoles des terrasses
- Formation de terres agricoles nouvelles
- Protection des infrastructures (pistes)

#### **Inconvénients**

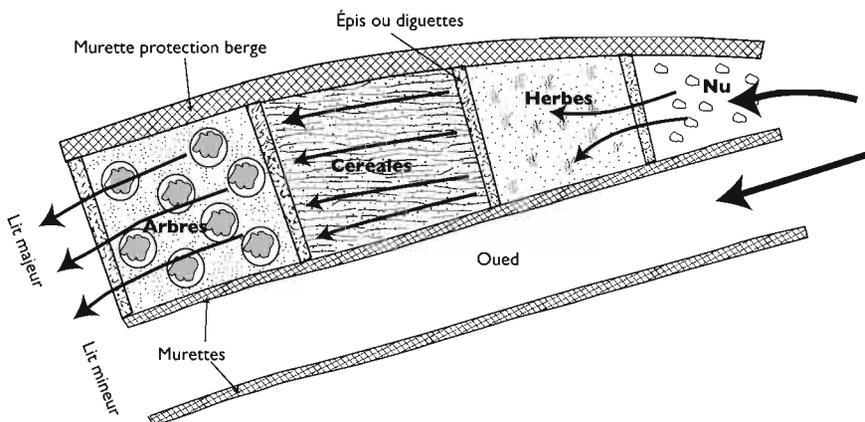
- Obstacle à la circulation des animaux et des outils
- Coûteux en travail (500 h/m<sup>3</sup>)

**Fiche 29**

**Épis, cordons et murettes de pierres perpendiculaires au lit majeur des oueds**

*Description*

En plus des murettes construites pour protéger les berges des oueds, il arrive souvent que les paysans construisent des cordons de pierres ou des épis de 50-100 cm de large, 30 à 80 cm de haut, reliant les berges au lit mineur de l'oued dans une zone où ce lit s'élargit et forme naturellement une plage de sédimentation. Ils commencent par accumuler de grosses pierres prélevées dans la parcelle puis dans le lit de l'oued pour former la base d'une solide murette. Une fois encadrée, la parcelle est organisée pour capter une partie du flux de l'oued, pour épandre le ruissellement et les sédiments (sables et particules fines) et pour évacuer l'excédent d'eau vers l'oued du côté aval. Progressivement, la murette est renforcée et surélevée à mesure que ce dispositif piège les sédiments circulant avec l'eau des crues de l'oued. Au début, l'espace reste minéral, formé des sédiments de plus en plus fins apportés par le ruissellement. Puis se développe un pâturage d'herbes sauvages plus ou moins sélectionnées par l'exploitant et son bétail qui restitue sur place ses déjections. Dans une deuxième phase, le sol atteint 20 cm : il est épierré, enrichi en matières organiques, superficiellement gratté à l'araire et semé en céréales et légumineuses fourragères, puis en céréales pures. Finalement, au bout d'une dizaine d'années, ces parcelles cultivées ont acquis une épaisseur suffisante (> 50 cm) pour y planter des arbres fourragers (frênes, peupliers, saules, aulnes) ou fruitiers (noyers, caroubiers, cerisiers). Si les crues ont été suffisamment nombreuses et pas trop fortes, cette portion d'oued se trouve alors stabilisée. Mais s'il vient une crue brutale avec un mur d'eau de ruissellement et de pierres atteignant plus de 2 m, l'ensemble de ces aménagements temporaires sera dévasté et le cycle de restauration des berges va recommencer plusieurs fois au cours d'un siècle.



### *Objectifs*

Ce quadrillage en murettes du lit mineur des oueds sert d'abord à étendre la surface cultivée, à récupérer les terres dégradées par l'oued en temps de crue majeure, mais aussi à canaliser l'oued et à réduire les pics de crue et les transports solides vers les barrages et les plaines. Il permet aussi l'infiltration des eaux de ruissellement et des fontes des neiges vers les nappes alluviales et l'alimentation de l'étiage des oueds, indispensable pour l'irrigation des terrasses et des plaines.

### *Extension*

Les exemples ont été observés dans les vallées des oueds Ourika et Rhéraya dans le Haut Atlas et dans les montagnes du Rif central. Mais ces tentatives de restauration des terres dévastées par les crues brutales des oueds s'observent dans toutes les montagnes semi-arides du Maroc.

### *Moyens et coûts*

La construction des murs est progressive et exige beaucoup de main-d'œuvre, ainsi que des barres à mines, masses et des mules pour déplacer les pierres trop lourdes, des maçons spécialistes dans la construction des murs en pierres sèches perméables mais résistants à la pression des crues.

– Épierrage, ramassage et transport des pierres + construction des murettes :  
7 000 Dm/ha

– Fumure + engrais : 500 Dm/ha

– Plantation d'arbres et transport des plants + trouaison (1 000 pieds x 20 Dm) :  
20 000 Dm/ha

Total : 27 500 Dm/ha



© M. Sabir

*Restauration après une crue dévastatrice du lit majeur dès l'oued Rêrhaya sur une succession de murettes perméables*

**Suivi et entretien**

Entretien des murettes et rehaussement annuel (10 JT) : 500 Dm

Épierrage des alluvions du champ (2 JT/ha/an) : 100 Dm

Entretien des cultures (5 JT/an) : 250 Dm

Soins phytosanitaires des cultures : 150 Dm

**Avantages**

- Restauration progressive des terres dégradées par les grosses crues
- Stabilisation avec les moyens locaux des lits des oueds
- Réduction des pics de crue et des transports solides des oueds
- Amélioration progressive des revenus des paysans
- Irrigation par la nappe des racines des cultures

**Inconvénients**

- Beaucoup de main-d'œuvre : 400 JT/ha
- Dix ans pour la restauration totale
- Travail à recommencer à chaque crue majeure

## Fiche 30

### La mise en défens (jachère, *agdal*, *exclosure*)

#### Description et objectifs

Il s'agit d'une mise au repos de terrains dégradés pour réaliser divers objectifs :

- durant quelques mois pour permettre la croissance du fourrage, la récolte des fruits (arganiers), la croissance des jeunes arbres (plantations) ;
- durant quelques années pour surmonter la dégradation du couvert végétal et du couvert herbacé puis arboré et, indirectement, pour restaurer la fertilité physique, chimique et biologique du sol.

Du point de vue des utilisateurs, c'est une technique de gestion durable de la biomasse mais, pour l'aménagiste, la mise en défens a des conséquences sur la gestion de l'eau, sur la séquestration du carbone, sur la protection et de la restauration du sol et du paysage.

Cela va se traduire par cinq situations :

- en milieu cultivé, une jachère de 5 à 15 ans va réduire la pression des adventices et des nuisibles, couvrir le sol d'une litière, réduire l'érosion et restaurer la fertilité des sols, en particulier en améliorant le stock de matières organiques de l'horizon superficiel, la stabilité de la structure, la macro-porosité, l'infiltration et les activités de la faune fouisseuse (vers, termites et fourmis) ;
- en milieu de parcours collectif, l'*agdal* suit une décision communautaire de mise en réserve durant 3 à 6 mois d'une aire de parcours pour permettre la croissance des herbes fourragères, en particulier des graminées pérennes ;
- sur prairie individuelle, c'est la mise en réserve durant une saison pour favoriser le développement du maximum de biomasse utile pour le troupeau ;
- en milieu forestier domanial, où il existe un droit d'usage de parcours, le forestier représentant l'État a aussi la possibilité de mettre en défens un versant dégradé en vue de réhabiliter le milieu (végétation, faune, sol) et aussi de protéger les jeunes générations d'arbres et les nouvelles plantations (grillage). En compensation du droit de parcours, l'État verse à la communauté 25 Dm/ha/an de mise en défens.
- au niveau de l'arganeraie, la communauté rurale décrète chaque année une mise en défens des forêts domaniales pour permettre la récolte des précieuses noix d'argan (de juin à août).

Ces surfaces mises en défens sont souvent délimitées par le chaulage des grosses pierres ou des troncs d'arbres, en milieu cultivé, ou par des grillages, en milieux forestiers.

#### Extension

Cette pratique de mise en réserve existe en milieu cultivé du Rif et du Moyen Atlas, en milieu de parcours dans les montagnes du Rif, de l'Atlas et de l'Anti-Atlas, et en milieu forestier y compris les arganeraies. Elle n'existe pas en plaine où la jachère est broutée par les troupeaux des éleveurs nomades (contrats oraux)



*Agdal dans le Haut Atlas*

ou mis à la disposition de tous. Dans les milieux de culture irriguée intensive, il n'y a plus de jachère, remplacée par les engrais, fumier et pesticides.

### ***Moyens et coûts***

- En milieu cultivé, délimitation par chaulage des grosses pierres, mottes et arbres : 10 Dm/ha
- En forêt domaniale, clôture autour des plantations (piquets et barbelés) : 4 000 Dm/ha
- Sur prairies privées, délimitation de la parcelle par haies, cordons de pierres, murettes
- Sur parcours communautaires, pancartes expliquant les objectifs de protection et les amendes en cas de non-respect

### ***Suivi et entretien***

- En forêt, un gardien pour < 10 ha = 1 500 Dm/mois x 60 mois : 90 000 Dm
- En parcours, pas de gardien, mais surveillance par la population, amende de 500 Dm/jours
- En terrain privé, pas de gardien mais la population assure la surveillance de la faune
- Collectes des graines puis des foins et entretien des pare-feux

### ***Propositions d'améliorations***

Profiter de la mise en défens pour enrichir en espèces plus productives ou fixatrices d'azote :

- sous cultures, semis décalés de légumineuses sous le couvert de la culture ;
- en parcours, semis d'arbustes fourragers et de légumineuses ;
- sous forêts, plantation en cuvettes de bois nobles (protection individuelle des troncs) ou de bois à croissance rapide ou améliorant la litière et l'humus.

### Avantages

- Moyen très efficace pour lutter contre l'érosion et le ruissellement, et bon marché si toute la population assure le gardiennage
- Moyen indispensable pour protéger la régénération des arbres en zone d'élevage
- Gardiennage coûteux mais souvent indispensable si on veut obtenir la coopération des populations rurales usufritières
- Technique très efficace pour réhabiliter la végétation et la fertilité du sol, protéger le paysage et la biodiversité, l'apiculture et la chasse, modifier le bilan hydrique en réduisant le ruissellement, les crues et en régulant les étiages

### Inconvénients

- Réduction de la surface de culture et la durée du parcours
- Peut augmenter les risques de feu de brousse
- Peut gêner la circulation du bétail et des hommes
- Peut entraîner des tensions sociales (parcours sauvage, bêtes échappées)
- Peut obliger les femmes à collecter le bois de chauffe plus loin

## Les techniques culturales appropriées à la gestion de l'eau

Les techniques de LAE décrites ci-dessus constituent la structuration du paysage mais, pour renforcer leur efficacité concernant la gestion de l'eau au niveau des champs, il faut compléter l'aménagement par des techniques culturales particulières, qui démultiplient l'efficacité des structures car elles recouvrent l'ensemble de la surface cultivée.

### *En milieu semi-aride, on cherche à capter les eaux de ruissellement*

Pour capter le ruissellement à l'intérieur d'un champ, on peut procéder à un labour suivi d'un billonnage en courbe de niveau à grand espacement : les cultures étant semées sur ou entre les billons vont profiter d'un large impluvium.

En cas de plantations arborées fruitières, on peut creuser des cuvettes à écartement d'autant plus grand que le milieu est aride et que l'arbre nécessite beaucoup d'eau pour porter du fruit : en ce qui concerne les oliviers, l'espacement varie de 5 à 8 m et jusqu'à 20 m en zone aride (région de Kairouan en Tunisie).

La technique traditionnelle du *zai* (voir fig. 24) en milieu tropical (pluies de 300 à 850 mm) ou la pratique des micro-bassins en zone méditerranéenne découlent du même principe qui consiste à creuser des petites cuvettes (30-100 cm de diamètre et 20 cm de profondeur) distantes de 80 à 120 cm, permettant de cultiver des céréales dans des milieux particulièrement dégradés.

### *En milieu semi-humide, on cherche à améliorer l'infiltration*

Pour améliorer l'infiltration de toutes les pluies, on peut réaliser un labour profond et grossier perpendiculaire à la pente la plus forte, laissant une surface rugueuse qui piégera longtemps les pluies si la structure du sol argileux est suffisamment stable. On peut aussi procéder après le labour à un billonnage cloisonné particulièrement efficace sur des glacis à faible pente : cependant, à la longue, le sol finit par se dégrader car l'érosion emporte sélectivement les particules fines et légères qui contiennent une grande part des nutriments. Par contre, les sables grossiers et stériles s'accumulent sur place.

Enfin, la technique la plus efficace à long terme consiste à couvrir le sol d'un paillage de résidus de culture, de plantes de couverture ou de légumineuses fourragères (ou à défaut d'un mulch de petites pierres) qui protègent la surface du sol contre l'énergie des gouttes de pluie et du ruissellement superficiel : la structure du sol reste stable beaucoup plus longtemps. Cependant, il est difficile en milieu semi-aride et même semi-humide de maintenir des résidus de culture ou une autre couverture végétale à la surface des champs car le bétail circule librement à la recherche de biomasse dont il pourrait faire sa pitance. Il existe

cependant des trèfles à cycles courts qui produisent beaucoup de graines qui vont couvrir rapidement le sol dès que les pluies apparaissent et se dessèchent après floraison au bout de 3 mois.

*En milieu temporairement trop humide,  
on cherche à évacuer une partie des excès d'eau*

Après le labour, on construit des billons obliques ou dans le sens de la pente, mais décalés tous les 10 m pour casser l'énergie du ruissellement. Le ruissellement doit alors trouver son chemin vers des drains, sortes de chemins d'eau protégés, des ravins stabilisés ou simplement le fond de la vallée. S'il va directement en bas du versant, on peut réduire sa vitesse en alternant les bourrelets avec les sillons, couvrir entièrement les billons, protéger les sillons avec les résidus de culture et quelques cailloux (voir encadré 1).

*En milieu humide,  
on vise la dissipation de l'énergie des pluies  
et du ruissellement*

Il faut valoriser toute la gamme des techniques permettant d'augmenter la rugosité et la couverture de la surface du sol.

Le labour grossier suivi d'un paillage léger (1 cm d'épaisseur sur 80 % de la surface) permet de maintenir très longtemps les effets positifs du labour sur l'infiltration des eaux de pluie, tout en protégeant la surface du sol de la dégradation de la structure par la battance et de l'érosion sélective. Comme il est toujours difficile de se procurer et de transporter de la biomasse, on peut, lors du sarclage, poser les adventices à plat par terre en bandes perpendiculaires à la pente : même si elles ne couvrent que 30 % du sol, elles auront une influence favorable pour prolonger la perméabilité et réduire les transports solides.

Pour réduire la vitesse du ruissellement, d'étroites bandes enherbées (ou des céréales semées dru) peuvent aussi fournir de la biomasse apte à couvrir partiellement la surface du sol entre bandes. Des cultures alternées avec des bandes fourragères ou fruitières, des plantations arborées (haies vives) peuvent aussi apporter un complément de matières organiques qui couvrent le sol et améliorent le statut organique du sol des bandes cultivées (agroforesterie).

Enfin, la tendance actuelle est de réduire le travail du sol à la ligne de plantation ou même au semis direct sous litière et de laisser en surface les résidus de la récolte précédente ou même d'installer un paillage de plantes de couverture, de légumineuses ou d'adventices maîtrisées par le fauchage, le pâturage ou des herbicides (usage classique dans les vignes du Moyen Atlas). Pour les sols totalement dégradés et tassés, il faut prévoir une période préliminaire de remise en forme (jachère protégée non pâturée) ou une préparation mécanique et biologique améliorant à la fois la macro-porosité et la structure des horizons exploités par les racines. Durant les premières années va se développer un mince horizon humifère particulièrement riche en matières organiques travaillées par la micro- et la macro-faune, comme dans les sols forestiers.

# Conclusions

## **La dynamique des systèmes traditionnels**

Les systèmes traditionnels de conservation de l'eau et des sols que nous avons décrits et classés en fonction du bilan hydrique local sont limités par les conditions climatiques et socio-économiques qui varient dans le temps et dans l'espace. La stabilité des versants est donc dynamique et peut passer par diverses phases en relation avec l'évolution des populations et des conditions socio-économiques : dégradation du milieu lors du défrichement et des premières cultures, stabilisation par les aménagements, déstabilisation à cause de l'émigration de la main-d'œuvre jeune, mais réhabilitation au retour des émigrés grâce aux investissements des retraités pour s'assurer la propriété du foncier.

## **La pérennité des techniques traditionnelles**

De nos jours, certains systèmes traditionnels sont en voie de disparition, non pas qu'ils soient incapables de préserver les ressources naturelles, mais parce que les conditions humaines ont changé. Au sud de la Méditerranée, la population a quintuplé depuis le début du siècle : elle exige des systèmes plus performants qui tiennent compte des situations économiques des populations.

En zone de montagne semi-aride, la majorité des techniques de LAE visent d'abord la gestion de l'eau, sa capture, son stockage et sa valorisation. Mais en même temps qu'il « irrigue » les terres, le ruissellement capté apporte des matières en suspension et entretient la fertilité du sol. Nous avons vu que divers systèmes complexes aident à maintenir un niveau minimal de production.

## **L'agriculture de montagne oubliée du développement**

Ces cinquante dernières années, les gouvernements du Maghreb ont investi dans l'industrie, les grands projets d'irrigation et l'intensification de l'agriculture des plaines pour faire face à la pression démographique : mais il n'y a pas eu d'investissement dans l'intensification de l'agriculture des montagnes où les paysans pauvres ont dû assurer leur subsistance par leurs propres moyens, étendant les cultures céréalières jusque sur les versants les plus raides, sacrifiant les arbres, le matorral et même les résidus de culture pour assurer la survie de l'élevage (principale ressource financière) et pour couvrir leur besoin énergétique (30 % du temps est consacré à la récolte du bois et des réserves fourragères). Faute d'investissements productifs et de recherches, bien des versants sont dénudés, les terres abandonnées sont ravinées et la couverture pédologique envase les réservoirs. L'émigration s'accélère dans ces zones arides.

## **Perspectives**

Pour tenter de résoudre au niveau local les problèmes d'érosion qui ne peuvent trouver de solution purement technique, l'étude des performances des stratégies

traditionnelles s'avère particulièrement utile. Les paysans connaissent mieux que quiconque les difficultés du milieu qu'ils exploitent. L'approche participative dès le stade du diagnostic améliore les connaissances du milieu écologique et humain. Les chercheurs, en relation étroite avec les techniciens du développement et les paysans, doivent étudier les potentialités, les limites et les améliorations possibles des techniques traditionnelles connues des paysans. Du dialogue entre paysans et scientifiques peut naître une prise en charge de l'environnement rural par la communauté qui exploite ses ressources naturelles moyennant une aide technique et financière de l'État : en effet, l'entretien du « château d'eau » que constitue la montagne profite aux occupants des vallées et des villes en aval. Cependant, il reste des problèmes graves : les phénomènes catastrophiques (glissements de terrain, inondations, ravinement torrentiel, érosion par les oueds) qui sont du ressort d'équipes techniques spécialisées plus compétentes au service de l'État.



# Intégration des structures de GCES à l'échelle du versant, du terroir ou du bassin versant

*Abdellah LAOUNA*

*Mohamed SABIR*

*Éric ROOSE*

Au chapitre 6, les aménagements qui structurent le paysage en vue de gérer la circulation des eaux superficielles sur les parcelles cultivées, les versants et les bassins versants ont été décrits dans une trentaine de fiches et analysés comme des entités élémentaires. En réalité, plusieurs dispositifs sont conjugués sur les versants ou les bassins versants qui combinent leurs actions bénéfiques pour la valorisation de ces ressources naturelles que sont les eaux, la biomasse et les sols sur les terroirs exploités par des sociétés rurales.

Dans ce chapitre sont présentées des études réalisées par des agro-pédologues sur des toposéquences (versants) ou par des géographes sur des zones rurales du Maroc, où sont présents dans le paysage divers aménagements complémentaires. L'analyse de ces cas, représentatifs d'une zone agro-écologique supportant une même grappe d'aménagements, va intégrer des aspects socio-économiques tels que l'origine des populations (éleveurs ou agriculteurs), la dominance de certains types de roches et de sols, la fréquence et la forme des pentes, les dangers de pluies exceptionnelles.

## Les usages de la GCES selon les ensembles agro-écologiques

Le croisement des facteurs physiques et sociaux donne plusieurs types de contextes au Maroc.

– Les aménagements diversifiés des montagnes du Nord marocain, où la conservation du sol devient primordiale pour les sites les plus productifs, alors que le reste des versants est utilisé sans dispositifs de protection. Deux sous-types y seront distingués, celui du Rif occidental (sub-humide) et celui du Rif central et oriental (semi-aride).

– La GCES associée aux aménagements complexes des terrasses irriguées ou en sec du Haut Atlas occidental et central avec, pour impératifs primordiaux, la constitution d'une surface cultivable et la gestion des risques dans un environnement difficile.

– La GCES associée à l'aridoculture des montagnes et piémonts arides, type Anti-Atlas, Souss, Maroc oriental ; dans ce contexte de rareté, l'avantage est à l'interception et à l'infiltration de l'eau, c'est-à-dire créer les conditions pour cultiver et profiter au maximum des eaux de pluie et de ruissellement.

– La GCES associée aux oasis irriguées de montagne, de piémont ou de plaine dans les zones arides ; l'objectif est double, construire un espace plan, aménagé pour y conduire l'eau d'irrigation.

– Les aménagements limités des régions agro-pastorales atlantiques et des régions pastorales steppiques.

– Les zones de grande agriculture à faible emprise des aménagements de GCES.

### **Les aménagements diversifiés des montagnes du Nord marocain**

Le Rif souffre d'un certain isolement dû à des raisons physiques et historiques. C'est un pays de moyennes montagnes tombant brutalement sur la Méditerranée et qui fut longtemps isolé par la frontière des deux protectorats espagnol et français. L'importance de la masse montagneuse est accentuée par l'entaille profonde des vallées, qui gêne fortement les communications. Cette zone barrière est néanmoins fortement peuplée de montagnards sédentaires qui peinent à satisfaire leurs besoins à travers l'activité agricole et sont donc à la recherche de ressources d'appoint.

Cette montagne composite juxtapose divers éléments. Le cœur montagneux continental est constitué de schistes gréseux donnant de lourds massifs, bordés vers le sud par des collines marneuses et vers le nord-ouest et le nord par des affleurements de calcaires. Les crêtes de grès ou de quartzites dominent des bassins intérieurs perchés et des collines ravinées d'où s'échappent des vallées profondes. Une nette opposition climatique sépare la montagne occidentale, recevant jusqu'à 1 500 mm de précipitations, couverte de cèdres ou de sapins, au-dessus de l'étage du chêne-liège, de la montagne orientale plus sèche, où la forêt de chênes verts, en lambeaux, est souvent remplacée par un matorral très dégradé.

Traditionnellement, le système agraire se basait sur la complémentarité agro-sylvo-pastorale et parvenait, grâce à la culture itinérante, à pallier les risques liés à l'érosion. C'est pourquoi, dans le Rif, les aménagements en gradins sont restés limités aux terres « *demna* », proches des habitations. Ailleurs, on observait peu d'aménagements car les précipitations sont suffisantes pour assurer régulièrement les récoltes. Mais, actuellement, le système a tendance à changer. On observe de nombreux cas d'extension des aménagements hors des terrains irrigués, en liaison avec le retour des émigrés, les investissements qu'ils réalisent sur leurs terres et en liaison avec l'argent du cannabis (terrasses en gradins, fiche 14).

### *Le Rif occidental*

Le Rif occidental est une région aux sols pauvres sur pentes fortes ; l'érosion active sous toutes ses formes est accélérée par les défrichements liés à la forte densité de la population. La mise en culture des sols squelettiques est peu rentable. Dans ces conditions, les paysans rifains ont toujours été à la recherche de revenus extérieurs ou ont opté pour des cultures spéculatives hautement rentables.

L'éclaircissement des peuplements forestiers par surexploitation du bois, les effets de la culture itinérante qui nécessite de disposer continuellement de nouveaux terrains à défricher et l'association au système de culture d'un cheptel caprin, conduit de façon extensive en forêt, constituent des contraintes majeures. De plus, on enregistre une augmentation rapide de la population, dans une région déjà très densément peuplée (plus de 200 hab./km<sup>2</sup> dans certaines communes). La population continue de s'accroître en grande partie du fait de l'expansion de la culture du cannabis qui provoque un appel de main-d'œuvre. Cela induit des besoins en espaces et en ressources naturelles en constante augmentation.

Différentes approches ont été tentées pour apporter des solutions à ces problèmes. On peut ainsi relever différentes générations de projets, dont le plus important a été le projet DERRO. De nombreux périmètres aménagés ont vu le jour dans la région. La plupart d'entre eux ont ignoré les aménagements endogènes et la technologie traditionnelle. Cette dernière est pourtant remarquablement variée, en fonction des conditions locales. Deux exemples vont permettre d'illustrer ces aménagements de GCES.

#### ***L'exemple du périmètre Lamrabortach, au sud-ouest de Chaouen<sup>3</sup>***

Sur une surface de 1 250 ha, dont 700 de SAU et le reste en matorral servant de parcours, s'étend le douar Lamrabortach qui regroupe plus de 1 200 habitants à la fin du XX<sup>e</sup> siècle. L'agriculture représente l'activité principale de la population : les adultes s'occupent des travaux agricoles, alors que les enfants conduisent les troupeaux dans les parcours proches. C'est le chef de famille qui conduit les travaux compliqués, comme le labour, l'entretien de l'arboriculture ou la moisson. C'est aussi lui qui s'occupe de construire les ouvrages d'amélioration foncière ou de protection du sol ; les femmes et les grands enfants l'aident dans ces différents travaux et effectuent d'autres travaux considérés comme secondaires.

3. Ce travail est le résultat de recherches conduites en collaboration avec l'étudiant A. El Mansouri.

Le système foncier de la région comporte 3 statuts principaux, qu'on peut classer ainsi par ordre d'importance :

- les terres de propriété privée (*melk*) couvrent plus de 75 % du terrain et sont fortement morcelées ; la taille moyenne n'atteint pas 1 ha ; par ailleurs, chaque propriété est morcelée en parcelles dispersées (12 parcelles en moyenne) ;
- les terres domaniales sont régies par le droit forestier et couvrent les forêts naturelles, le matorral dense et les plantations forestières ; elles représentent pour la population un parcours et la source de bois pour la consommation énergétique ;
- les terres des religieux (*habous*) sont limitées à de petits secteurs et sont louées à des particuliers.

La culture est pratiquée sur des terres qui résultent d'un défrichement ancien pour une bonne partie du finage et récent sur les bordures, malgré le contrôle des services forestiers. Sur les bordures, le paysage en mosaïque mêle des parcelles cultivées et d'autres de cistes en matorral bas ; ces marges connaissent des abandons périodiques sur 8 à 10 ans. La présence dans ces parcelles de plantes post-culturelles et de vieux ouvrages construits prouve l'ancienneté de l'exploitation de ces terres et leur abandon momentané.

Les habitants pratiquent des cultures annuelles de faible productivité (céréales et légumineuses). Le blé se place au premier plan en termes de surfaces cultivées et de production. L'orge et les fèves viennent en deuxième et troisième places et servent d'aliments du bétail. Le maïs est cultivé comme fourrage.

La faible quantité de fumure produite sur place ne suffit pas à amender les terres. C'est pourquoi la tendance à utiliser des engrais chimiques est de plus en plus affirmée ; la fumure n'est plus utilisée que pour les parcelles irriguées et les plantations.

Les techniques culturales varient d'une parcelle à l'autre, en fonction de la pente, de la taille de la parcelle et des possibilités matérielles du paysan, et notamment des animaux de trait qu'il possède. Le labour à l'araire tracté par deux animaux (bœufs, mulets, ânes) représente la technique la plus usitée sur les champs de faible pente. Sur les terrains rocheux avec des blocs parsemés, ainsi que sur les terrains en forte pente, l'araire devient difficilement utilisable ; les paysans recourent alors à des moyens manuels, comme la pioche ou la sape. Mais en tout cas, sur tout terrain, l'utilisation des pioches est obligatoire en association avec l'araire, dans le but de déchausser certains blocs rocheux ou des arbustes qui entravent le chemin de l'attelage.

L'arbre fruitier occupe une place importante et accompagne souvent les cultures annuelles et les terres irriguées. Les plantations se répartissent dans tout le finage et ont tendance à couvrir aussi bien les sols favorables que ceux qui présentent des conditions plus difficiles. La moyenne d'arbres par famille semble être, selon le sondage réalisé, 44 oliviers, 16 pieds de vigne et 13 figuiers. Par ailleurs, la majorité des arbres plantés sont assez jeunes. L'olivier est encore essentiellement greffé sur oléastre, mais les oliviers plantés ont tendance à devenir de plus en plus répandus. L'intérêt pour l'arboriculture est évident ; le sol est soigneusement labouré entre les arbres pour éradiquer les mauvaises her-

bes et empêcher ainsi la pénétration du troupeau ; la fumure est utilisée. La production est pourtant loin d'être satisfaisante puisque chaque famille ne tire qu'environ 1,5 à 2 tonnes d'olives de sa plantation.

Un certain nombre de techniques de GCES ont été développées dans une optique de protection contre le ruissellement violent et d'utilisation rationnelle des eaux afin d'améliorer la production. Les techniques de conservation du sol concernent aussi bien les terrains irrigués (fiche 14) et les parties du *bour* (culture en sec) utilisées de manière permanente, c'est-à-dire les sols anciennement défrichés et progressivement améliorés. Les terrains récemment conquis sont, par contre, plus rarement concernés par l'implantation de ces techniques, quoiqu'on remarque une certaine extension des cordons de pierres (fiche 7). Par ailleurs, on observe un parallélisme important entre les concentrations de l'habitat et la localisation des techniques de GCES. Enfin, cette localisation est étroitement dépendante de la disponibilité en pierres puisque, sur versants purement schisteux, les techniques de conservation du sol deviennent beaucoup plus rares.

Les techniques de GCES sont anciennes dans ce secteur, mais elles ont été étendues récemment à certaines parties du finage. L'habitat s'est installé dans les secteurs les plus favorables, ceux que les hommes ont eu tendance à protéger depuis longtemps. La technique de conservation la plus usitée dans cette partie du Rif humide se base sur la pierre comme élément de construction pour servir de barrage au ruissellement sur le versant. Le but de la mise en place de ces techniques semble confus dans l'esprit des habitants ; certaines réponses avantagent l'amélioration foncière par l'épierrage et la réalisation de champs géométriques ; d'autres font référence à la volonté de conservation du sol ; mais il existe aussi le désir de disposer de limites des parcelles. Cependant, la généralisation des techniques de murettes, leur quadrillage géométrique précis, leur réalisation soignée sur les terrains irrigués, et donc les plus productifs et les plus précieux, signifient sans doute que le but de conservation est présent à l'esprit au moment de leur mise en place.

Les murettes de pierres (fiche 14) concernent les versants à matériaux détritiques à blocs rocheux ; elles sont construites perpendiculairement à la pente. Le choix est porté sur les blocs les plus angulaires, les plus proches du parallélépipède ; ce muret barre derrière lui les matériaux fins en transit, par ruissellement, glissement lent ou sous l'effet de l'érosion aratoire. La hauteur du muret est fonction de la pente et de la stabilité du socle sur lequel il est disposé ; la tendance est à la construction d'un mur plus élevé lorsque la pente est forte, mais en prenant les précautions nécessaires pour qu'il ne s'éboule pas, c'est-à-dire en le disposant sur un socle de rochers bien enracinés. La morphologie du versant a guidé l'aménagement qui s'y est adapté dans ses moindres contours. Ces réalisations expliquent la constitution naturelle de terrassettes progressives (fiche 18) derrière les vieux murs, aujourd'hui totalement fossilisés sur leur face amont. Ces terrassettes ont un double avantage : d'une part, elles sont de pente nettement plus faible que le versant originel, ce qui facilite leur labour et réduit leur érodabilité ; d'autre part, elles sont débarrassées d'une bonne partie des blocs les plus gros qui en jonchaient la surface, ce qui améliore leur potentiel de production.

Certaines murettes sont construites parallèlement à la pente ; il s'agit alors de simples limites de parcelles et d'amas pour les blocs retirés des sols ; leur hauteur est souvent plus faible et leur disposition moins travaillée ; mais elles ont un effet indirect sur la stabilité des sols puisqu'elles empêchent la pénétration du troupeau dans les champs.

Les rejets de pierres et blocs dans les ravines agissent pour empêcher toute reprise de creusement des ravins (fiche 19). C'est là le fruit d'une observation que les habitants ont faite dans de nombreuses ravines de ce bassin versant, naturellement bloquées dans leur incision par les grands blocs éboulés. Là où la tendance à la reprise du creusement apparaît, les habitants ont rapidement pensé à aménager le lit de la ravine en y jetant de grosses pierres. L'observation des processus naturels a guidé les choix de l'aménagement. Il faut pourtant continuellement entretenir ces ouvrages, pour empêcher les ravins de contourner ces amas de blocs en s'encaissant sur leur côté. Les ouvrages de maintien des ravines et vallons permettent de fixer les axes de ruissellement et d'empêcher les débordements pouvant entraîner des dégâts sérieux.

Globalement, les ouvrages antiérosifs sont bien entretenus et refaits après chaque événement responsable de dégâts. Des ouvrages récents, mais moins continus, sont édifiés sur des parcelles nouvellement conquises, sans doute dans l'espoir d'en faire une parcelle de culture permanente et intensive.

Les travaux de construction ou d'entretien des ouvrages de GCES ont tendance à être de plus en plus menés individuellement par les membres de la famille, alors qu'ils étaient pratiqués avec l'aide des autres habitants du douar. Ces travaux, à la différence des autres tâches agricoles, sont exclusivement masculins.

Les travaux de terrassement sur les pentes ont aidé dans l'extension de l'irrigation. En effet, les eaux de sources à faible débit sont multiples au contact du massif gréseux, mais sont difficilement utilisables sur les pentes raides de la région. La technique la plus répandue consiste à mener l'eau des sources et des vallons vers des réservoirs de stockage (fiche 9), d'où elle est par la suite distribuée grâce à des canaux en terre dans le finage. Les réservoirs sont de petite taille, mais ils pullulent dans le terroir cultivé, car les points d'eau sont eux-mêmes éparpillés. Ils sont souvent représentés par de simples trous d'environ 2 à 3 m<sup>3</sup>, ou construits avec des blocs de pierres enduits d'argile ; ce n'est que récemment que des bassins véritables se sont construits.

Les canaux ressemblent plus à de simples sillons peu incisés. Leur rôle de distribution de l'eau est purement local et n'intéresse qu'une petite portion d'espace. La plupart sont creusés à la limite des parcelles et distribuent l'eau à des canaux internes à la propriété, plus sinueux, en fonction des carrés de culture, intéressés par l'irrigation.

Les ressources en eau, quoique multiples, sont insuffisantes. La propriété de l'eau est indépendante de celle de la terre ; avec l'effet de l'héritage, la part de chaque famille est allée en se réduisant fortement ; elle se limite pour certaines familles pauvres à moins d'une heure par semaine, ce qui empêche ces familles de pratiquer l'irrigation, l'eau devenant ainsi réservée exclusivement aux usa-

ges domestiques ; les plus nantis possèdent un tour d'eau de 24 heures par semaine. La distribution de l'eau et la réparation constante des canaux et des réservoirs exige un temps de travail très long ; c'est là aussi un travail essentiellement masculin.

Le drainage des champs est aussi un souci majeur ; en effet, dans ces milieux où de grosses pluies sont enregistrées, l'excès d'eau est un phénomène commun. Ses effets sont doubles, mais répartis dans l'espace, avec d'une part des mouvements de masse dans certains secteurs et ailleurs un ruissellement abondant. Heureusement, la position du finage sur le terrain occupé par un paléoglisserment et l'abondance des blocs rocheux explique la rareté des secteurs intéressés par des phénomènes de ruissellement sur de longs parcours ; rapidement, l'eau ruisselante est déviée par les obstacles naturels représentés par la blocaille et son énergie fortement réduite. Des sillons creusés selon un tracé oblique par rapport à la pente (fiche 17), contribuent à évacuer les eaux qui s'accumulent dans le sol sur les parcelles les plus longues. Le danger de solifluxion est lui aussi combattu de cette manière ; les sols argileux peuvent retenir de l'eau en excès en cas de pluie prolongée ; les sillons obliques répondent ainsi à ce besoin de drainage de l'eau hypodermique.

L'élevage a connu, comme c'est le cas dans l'ensemble de la chaîne rifaine, un ralentissement important durant les 30 dernières années. Les troupeaux de moutons et de chèvres ont été fortement réduits en raison de l'extension du domaine cultivé, de la délimitation de la forêt et de la plantation d'arbres forestiers dans de nombreux secteurs. Un autre facteur concourt à expliquer cette situation de ralentissement de la fonction pastorale et réside dans la raréfaction de la main-d'œuvre disponible pour s'occuper du troupeau, en relation avec la scolarisation et l'exode rural. La comparaison de la taille moyenne du troupeau familial, il y a 15 ans est aujourd'hui est pleine d'enseignements. Cette réduction quantitative n'a malheureusement pas été accompagnée par une amélioration de la qualité de l'activité pastorale. Les troupeaux sont toujours conduits dans le matorral et sur les jachères où leur influence sur la dégradation n'a pas nécessairement baissé.

#### **La toposéquence de Bettara**

Bettara est un petit village entre Tétouan et Chaouen, dans la vallée de l'oued Laou. Le bioclimat est méditerranéen sub-humide à variante tempérée. Les précipitations annuelles varient de 700 à plus de 900 mm. La pluie journalière de fréquence décennale est de l'ordre de 100 mm. La saison sèche dure 4 mois de juin à septembre.

Le sommet de la colline (altitude de 800 m) est façonné dans la dorsale de calcaire dolomitique perméable, profondément dégradée par l'exploitation des forêts de chênes et thuyas et par le surpâturage. Sur les rares friches s'étendent des nappes de cistes de Montpellier, de *callicotum*, de lentisques, d'oléastres, de palmier doum et quelques restes de la forêt de chêne vert, de chêne-liège et de thuya, dans les vallons à pentes très raides. Les sols sont des rendzines sur les calcaires ou des sols minéraux peu évolués d'érosion ou colluviaux sur schistes, flysch ou marnes et des sols peu évolués alluviaux dans les vallées. Les

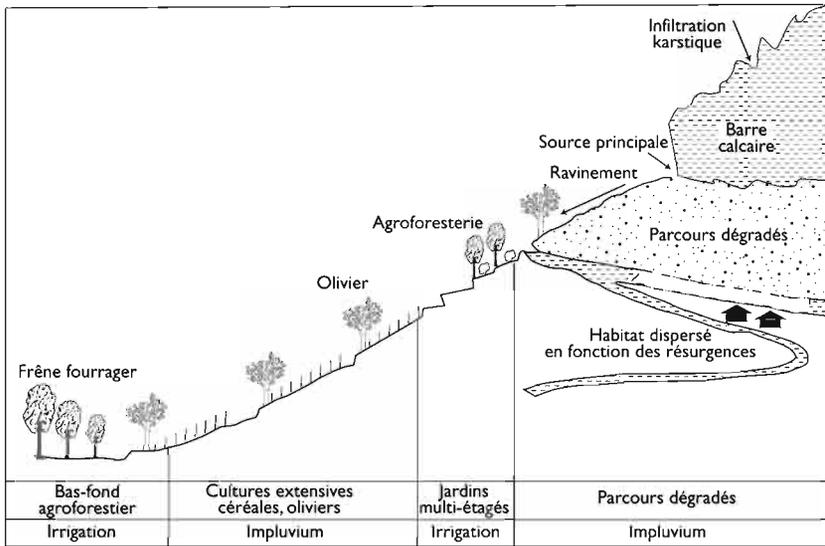


Fig. 20

Séquence de Bettara : alternance de zones tassées produisant du ruissellement et de zones aménagées pour absorber le ruissellement (d'après SABIR et ROOSE, 2002).

seuls aménagements observés sur les parcours des sommets sont des murettes de pierres ajourées qui servent plus à contenir le troupeau et à délimiter les parcelles qu'à retenir la terre.

Plus bas, au contact avec des couches moins perméables de schistes, grès et marnes débouchent quelques sources aménagées. Des ségias dirigent les eaux abondantes vers les hameaux du douar Bettara, situés plus bas au milieu d'une zone de terrasses en gradins irriguées et drainées (fiche 15) où sont concentrées la fumure organique et diverses cultures de légumes, de fourrages et de tabac. Sur ces terrasses agroforestières se développe une grande diversité d'arbres fruitiers et forestiers : pruniers, oliviers, cognassiers, figuiers, pommiers, chênes verts, frênes et quelques acacias et eucalyptus.

Les talus des gradins sont en terre, protégés par une abondante végétation (ronces, lierre, arbres) et renforcés localement par des murettes de pierres. La base des talus est drainée par des petits fossés rejoignant la terrasse sous-jacente (fiche 17). Des chemins creux et empierrés (fiche 5) relient les douars aux parcours : ils captent les eaux de ruissellement des parcours dégradés et les redistribuent sur les terrasses (sauts empierrés pour disperser l'énergie du ruissellement). Là, les eaux de source et de ruissellement sont guidées vers les cultures sur billon ou sur planches par des petits sillons, et l'excédent d'eau rejoint un drain, puis un vallon ou une ravine aménagée.

Sous la zone habitée, constituée de terrasses en gradins, s'étend une zone de culture de céréales avec ou sans oliviers, très peu aménagée sur marnes : les rendements en céréales sont très modestes (1 à 5 q/ha selon la pluviosité) ; seul le



Blé, maraîchage et jardins agroforestiers se côtoient dans la vallée de Bettara.

cannabis et le tabac profitent d'un appoint d'engrais minéraux. Localement, le projet DERRO y avait aménagé des oliveraies sur banquettes d'absorption totale (fiche 2), mais celles-ci ont mal résisté aux grosses averses, au surpâturage ou aux labours traditionnels à l'araire tracté aux mules : on y déplore des ravines et des glissements de terrain liés au terrassement. Plus récemment, le projet PREM a encouragé l'aménagement de seuils sur les ravines (fiche 22), le stockage du ruissellement dans des citernes bétonnées (fiche 11) dont les eaux sont utilisées pour une irrigation d'appoint des jeunes oliviers plantés sur cuvettes ou éléments de banquettes (fiche 4).

Enfin les bas-fonds et vallées, les sols alluviaux plus riches sont traités en jardins agroforestiers

(frênes, peupliers blancs, noyers), irrigués, souvent fumés : les cultures de céréales alternent avec du maraîchage ou des cultures fourragères (luzerne, orge mélangé à des légumineuses). Les petites parcelles sont isolées par des talus enherbés. Des puits sont creusés dans les colluvions pour les besoins domestiques, le bétail et l'irrigation, là où il manque de sources permanentes.

L'élevage est extensif avec le parcours du matorral comme source principale de fourrage. En moyenne, chaque exploitation dispose de quelques poulets et lapins, 2 à 4 caprins/moutons, 1 à 2 vaches et 2 mulets. Le bois constitue la source d'énergie dominante (consommation = 8 stères/an/foyer). Le gaz est utilisé pour l'éclairage et la préparation du thé. Avec 2 à 6 ha de terres de montagne, le budget familial ne pourrait suffire pour nourrir les grandes familles rurales sans l'apport financier de l'émigration et du cannabis.

### *Le Rif central et oriental semi-aride : le cas de la vallée des Beni Boufrah (J. Al Karkouri, 2003)*

Le Rif central et oriental est couvert de roches tendres (marnes, flysch) et de calcaires sur lesquels on trouve des lithosols, des sols brun rouge et des rendzines. Les pluies sont irrégulières, généralement insuffisantes (ETP = 2 000 mm) et varient de 200 à 400 mm selon les années, l'altitude et l'orientation du massif. La pluie décennale journalière est de l'ordre de 40 mm.

Le Rif central montagneux et le Rif oriental semi-aride sont caractérisés par des terres cultivables limitées et de faibles réserves hydriques, dans un contexte de sécheresses récurrentes et de phases de pluies violentes.

Dans la vallée des Beni Boufrah, le paysage est caractérisé par la disparition presque généralisée de la forêt de thuya. Au sommet, seuls restent quelques témoins isolés au milieu des champs sur fortes pentes et quelques matorrals pâturés. Sur les versants, la céréaliculture est l'utilisation dominante des terres. Le rendement en grain est faible (0,1 à 0,5 t/ha/an) en relation avec la répartition des pluies dans l'année. La production de paille a beaucoup d'importance pour l'élevage : on stocke les pailles les bonnes années pour assurer l'élevage extensif en complément du parcours dans le matorral résiduel et les jachères. Les plantations d'oliviers s'effacent en faveur des amandiers qui résistent mieux à la sécheresse.

Un système de production polyvalent a été lentement développé, basé sur la diversification des ressources et la complémentarité des terroirs. Le souci de sauvegarde est en tout cas présent, attesté par les comportements d'entretien collectif et par la gestion itinérante des terrains (défrichage et utilisation sur quelques années, puis reconstitution de la végétation et de la fertilité des sols, sur une plus longue période). L'appropriation des terres a été à la base du développement de pratiques de conservation, avec le partage dans le sens des courbes de niveau, l'assolement, l'épierrage, la fertilisation, la construction de cordons de pierres et la protection de terrasses derrière des rideaux de roseaux ou d'arbres. Le stockage de l'eau, pour les besoins d'eau potable, d'abreuvement et d'arrosage complète cette panoplie de mesures, suite à la collecte d'eau de ruissellement.

En dépit des conditions contraignantes (climat semi-aride, ressources en eau limitées et averses orageuses agressives, roches peu résistantes, sols dégradés sur pentes fortes), ces moyennes montagnes abritent une population très dense (100 à 150 habitants/km<sup>2</sup>) et sédentarisée depuis longtemps. Il s'en suit une occupation intense du sol aux dépens du couvert naturel : la SAU représente 60 à 70 % de ces massifs montagneux aux potentialités agronomiques médiocres. Plus de 80 % de la surface de la région sont touchés par le ruissellement intense qui entraîne le décapage de la couche humifère, le ravinement très fréquent et la perte de fertilité des terres. D'où une forte émigration, l'abandon des terres agricoles marginales, le développement de l'arboriculture et d'un grand nombre de techniques culturales et de dispositifs de capture du ruissellement pour faire face à la désertification du milieu.

La forte pression humaine au xx<sup>e</sup> siècle et l'intensification de l'utilisation des ressources, par la mise en valeur de terrains marginaux supplémentaires, expliquent la recrudescence des phénomènes de dégradation. Par ailleurs, la discipline communautaire s'est relâchée, après la colonisation espagnole, à l'avantage de comportements plus individuels et moins conservateurs.

La population est organisée en finages subdivisés en 3 terroirs inégaux : la terre irriguée, les terrains de cultures en sec (*bour*) et les terrains de parcours. Les aménagements de conservation intéressent la totalité de l'espace irrigué et une petite partie de l'espace en *bour*.

Au sein des terrains en *bour*, la délimitation des parcelles est matérialisée par des ruptures de pente en talus qui se sont exagérées avec le temps dans la roche tendre, du fait du labour. Ces talus suivent à peu près les courbes de niveau et sont localement enherbés, ce qui en renforce la stabilité, ou sont maintenus grâce à des blocs issus de l'épierrage des champs, dans les sites fragiles. Dès que la pente devient trop forte, les talus montrent leur inadaptation et sont parfois ravinés. Mais, en conditions normales, ces talus jouent le rôle de rupture dans l'énergie du ruissellement.

Les cordons de pierres sont fréquents dans cette région où les affleurements rocheux sont abondants. Leur forme de petite taille est la plus représentée et consiste dans un simple empilement en ligne, de blocs et de cailloux à des distances variables le long du versant, suite à l'épierrage des champs, sur une longueur de 5 m en moyenne, souvent en quinconce. Le mouvement des sols, du fait du labour et de la reptation, crée progressivement une rupture de pente et parfois un replat. Le terrassement joue à la fois le rôle de réduction d'énergie des eaux ruisselantes et de facilitation du travail du sol. Les grands cordons dérivent de la jonction de petits cordons par construction progressive.

Les terrasses en gradins encadrent le cours de l'oued principal sur les bas de versant et sont réservées aux cultures irriguées, souvent maraîchères. D'autres terrasses sont localisées en amont, immédiatement à l'aval des sources. Dans ce cas, leur taille est beaucoup plus petite. On peut les rapprocher des terrasses construites à proximité des douars et qui reçoivent le maximum de soins. Très souvent, leur extension récente s'explique par la multiplication des motopompes. Dans tous les cas, l'investissement en efforts de construction et d'entretien est élevé. C'est un travail continu et qui ne progresse que très lentement, dans les sites les plus favorables. Les rideaux de roseaux et d'arbres, en fond de vallée, arrivent normalement à protéger les terrasses contre les inondations. Mais lors des crues, des portions de ces terrasses peuvent être emportées.

Sur les portions ravinées, des traitements particuliers sont réalisés pour limiter l'extension des incisions. Le comblement par des pierres, de la terre et des végétaux, la plantation d'arbres et arbustes et la construction de seuils ont localement des effets encourageants. Mais l'investissement en travail est souvent jugé disproportionné par rapport au résultat atteint.

En ce qui concerne les pratiques de culture, l'épierrage est très fréquent, mais seules les grosses pierres sont ramassées. Cet épierrage a aussi une signification sociale d'appropriation et de présence effective sur le terrain. La jachère et la rotation des cultures sont des pratiques de conservation de la fertilité des sols, dans des régions où l'épuisement guette vite les terrains utilisés. La rotation n'est pas en soi une pratique de conservation, sauf là où l'assolement introduit une culture de légumineuses en alternance avec les céréales. Mais la pression humaine a réduit cette pratique, sauf dans les parcelles éloignées de l'habitat et souvent délaissées à une culture très extensive. La jachère devient alors synonyme d'abandon, du fait de l'émigration. Ces terrains délaissés sont les plus exposés à la dégradation, car le parcours empêche la reconstitution végétale. En



*Dans la vallée des Beni Boufrah, un cordon de pierres en épi capte l'eau de l'oued pour l'alimentation d'un jardin.*

ce qui concerne la fertilisation, la rareté de la stabulation explique le déficit en fumure organique. Seules les terres proches de l'habitat bénéficient régulièrement d'un apport en fumier. Par contre, les parcelles de cannabis, même éloignées, sont fortement fertilisées par l'apport d'engrais minéraux.

On observe quelques puits dans les colluvions ou alluvions de bas de pente, mais les eaux de nappe sont souvent salées : des citernes en béton (*matfia*) ou des mares en terre (*madgen*) récupèrent les eaux des toits ou le ruissellement des pistes, mais elles ne suffisent pas en saison sèche. Certains douars sont obligés de réalimenter les citernes par pompage dans l'oued et camions citernes.

Les oueds sont très larges et encombrés de galets et de blocs de roche. Lors des crues brutales, ils attaquent les berges des terrasses quaternaires, les terres les plus productives de la région. De véritables murs de contention en pierres sèches, des épis et des haies de cannes de Provence ont été aménagés pour protéger les routes et les jardins fruitiers aménagés sur la terrasse quaternaire. Le long de l'oued principal, des épis sont construits pour protéger les terrasses avec jardins. Des puits et des cuves de stockage d'eau assurent l'irrigation d'appoint de ces jardins. Partout un soin tout spécial est donné à la capture et au stockage des eaux de surface.

### **Les aménagements complexes du Haut Atlas occidental et central**

Dans cette région de haute montagne relativement arrosée et au relief très cloisonné, toutes les catégories d'action, notamment des aménagements complexes de

terrasses irriguées et en sec, peuvent s'associer, du fait de la nature du climat caractérisé par des excès momentanés et des périodes de déficit en eau et du fait de la densité humaine. La paysannerie doit affronter dans l'espace et dans le temps des situations très diverses. L'adaptation à ces conditions a permis de générer des techniques et des pratiques multiples, permettant de répondre à ces divers objectifs.

Le Haut Atlas souffre de la rigueur de son climat, liée à la fois au froid hivernal et à l'avancée de l'aridité saharienne. La pluviosité, faible sur le piémont, croît avec l'altitude ; mais dès l'étage des cols (environ 2 000-2 500 m), la sécheresse prédomine à nouveau de plus en plus largement, pour s'étendre aussi dans les vallées du versant sud qui constituent des golfes d'aridité. La forêt n'est pas très abondante, même sur le versant nord, tout en restant variée (chênes verts, pins d'Alep, cèdres du Jbel Ayachi, cyprès du Nfis, genévriers thurifères des hauteurs) ; les herbages et le sous-bois aux alentours des villages ne sont pas très riches, ce qui impose aux troupeaux des déplacements de longue distance pour atteindre les parcours d'été d'altitude.

Les potentialités du Haut Atlas apparaissent assez limitées, du fait notamment du manque de terre, lié au caractère disséqué du relief.

Dans le Haut Atlas occidental, la haute montagne est marquée par le froid : il y gèle 8 à 9 mois et les températures y descendent parfois au-dessous de -15 °C. La neige est fréquente et il existe même quelques taches de névés qui peuvent passer l'été. Ces montagnes élevées et massives deviennent totalement isolées lors des longs hivers rigoureux. Par contre, la moyenne montagne du flanc nord appartient à l'étage sub-humide. Malgré une pluviosité de 550 à 670 mm, le débit des oueds y est très variable, et on ne peut compter sur une eau abondante qu'en bien peu d'endroits (fonte des neiges).

Le Haut Atlas central est constitué de lourdes plateformes délimitées par des corniches verticales, des crêtes élevées à plus de 3 000 m et de profondes vallées en gorges. À la moyenne montagne sub-humide du versant nord (région d'Azilal recevant entre 550 et 700 mm) s'oppose une haute montagne rigoureuse et semi-aride (319 mm de pluie à Imilchil), avec une végétation steppique à épineux et des pelouses au-dessus de 2 000 m. Le versant sud, aride, présente de très grosses oppositions saisonnières de températures et un manque d'eau généralisé, en dehors des oueds pérennes issus du cœur de la montagne. La montagne du Haut Atlas central, où la vie pastorale d'altitude constituait la pièce maîtresse du système économique, est en train d'évoluer sous l'effet du défrichement et de la mise en culture. Le nombre élevé d'animaux, concentré sur des espaces plus réduits, cause un phénomène de surpâturage, alors que la surexploitation de la forêt mène vers une dégradation alarmante, du fait du ramassage du bois (4 à 6 t/an/famille) et de la fabrication du charbon de bois. Dans la zone d'Azilal, les cultures s'étendent peu à peu aux dépens des parcours et de la forêt. Par ailleurs, le surpâturage est évident (1,8 petit ruminant/ha en moyenne), soit le double de la charge potentielle.

Le Haut Atlas constitue un bloc de populations berbérophones à la vie difficile, habitant les vallées où elles ont aménagé des terrasses d'irrigation (fiches 15 et 30), dans le cadre de petits périmètres émiettés au gré des espaces favorables à

la culture et selon la disponibilité en eau. Les céréales prédominent, l'orge occupant la première place. Mais l'arboriculture progresse en de nombreux secteurs. La conquête de nouvelles terres est bien réelle, et l'extension de la SAU est importante. Les défrichements les plus importants concernent les moyennes montagnes. La mise en culture peut aussi concerner les pelouses d'altitude dans la province d'Azilal. Par contre, en ce qui concerne les secteurs irrigués, les extensions sont plus rares et impliquent l'introduction de motopompes pour relever le niveau de l'eau et souvent des cultures à forte valeur ajoutée comme les rosacées des vallées moyennes au sud de Marrakech.

Mais il existe aussi des cas locaux d'abandon des terroirs les plus éloignés. Certains versants en sec ne sont plus travaillés et, dans certains douars, des champs retournent à la friche et peuvent représenter jusqu'au quart des terroirs auparavant cultivés.

L'élevage demeure la première source de revenus et occupe une place prépondérante dans l'économie de montagne. Il conserve une caractéristique extensive, reposant sur des ressources très irrégulières selon les années. Les fourrages naturels dominent, mais des prairies cultivées sont utilisées, même si l'association culture/élevage reste encore limitée.

### *Le contexte et les dispositifs de GCES*

Les dispositifs de GCES de la chaîne atlasique sont les plus impressionnants par leur taille, la hauteur de la maçonnerie en pierre sèche et le dénivelé façonné par le terrassement, ainsi que par le caractère dynamique de l'entretien quotidien réalisé, notamment suite aux événements climatiques et hydrologiques causant des destructions.

Dans ces milieux difficiles de montagne, à dominante de roches dures, les impératifs primordiaux sont la constitution d'une SAU – qui reste limitée à moins de 5 à 10 % de la superficie du terroir – et la gestion des risques dans un environnement hostile. Les ouvrages de GCES sont soumis aux aléas ; on remarque des destructions cycliques des aménagements, aussi bien par glissement de pans de versants que par érosion fluviale (sapement à la base).

Dans ces reliefs accidentés, l'agriculture se glisse dans tous les interstices disponibles. Le système agraire est caractérisé par son extensivité, sauf sur les terrasses irriguées, fondées sur des techniques très judicieuses de mobilisation de l'eau et de protection du sol. Les cultures en sec extensives montent jusqu'à 2 400 m d'altitude. Les aménagements concentrés dans les fonds de vallées et de dépressions peuvent couvrir certaines pentes, avec une section inférieure irriguée en escalier très régulier, délimité vers le haut par la 1<sup>re</sup> séguia en amont, et une partie supérieure en *bour*, à aménagement plus discontinu en cordons de pierres. La GCES est donc imposée par l'exiguïté des ressources et de l'espace et ne constitue pas un choix conscient et délibéré de conservation. En fait, l'agriculture intensive ne peut être conduite que de cette manière dans ces milieux difficiles.

Les terres irriguées sont disposées en rubans étagés sur les bas de pentes, le long des vallées, hors des sections en gorges, ou en grosses taches à l'aval des sour-

ces (fiche 15). Certains champs reçoivent deux cultures dans l'année (céréales, légumineuses, cultures maraîchères) en plus de cultures commerciales (henné, cumin). L'arbre est fortement présent, notamment le noyer en amont, l'aman-dier et l'olivier en moyenne montagne et sur le piémont. Dans ces secteurs irrigués, les cultures sont très intensives et exigent une forte utilisation de main-d'œuvre. Des techniques très judicieuses de fertilisation, de mobilisation de l'eau et de conservation des sols y sont pratiquées et permettent des rendements élevés avec souvent deux récoltes par an (20 q/ha d'orge, 18 q/ha de maïs, dans la vallée de l'Azzaden). Le maraîchage irrigué progresse, notamment dans les vallées facilement reliées aux marchés (exemples des vallées au sud de Marrakech). La pomme de terre est partout en plein essor et devient même une spécialité de certains espaces. L'arboriculture se développe, notamment les plantations d'oliviers et d'amandiers, les vergers de rosacées (vallées de l'Ourika, du Rhéraïa et du Nfis, ainsi que dans l'Ouneïn). Vers les hautes vallées, la pénétration de l'agriculture moderne est cependant moins marquée, du fait des difficultés de transport. Ici, le noyer, l'élevage à l'étable et la céréali-culture conservent une place prépondérante.

Mais l'élevage se développe, combinant les déplacements et la stabulation. On s'oriente vers la production de fourrages sur des terrasses construites à l'ombre des noyers. Cette mutation peut dans l'avenir réduire la pression sur les alpages d'altitude.

Sur le flanc sud plus sec, les terres irriguées sont plus rares et uniquement localisées dans les fonds de vallées, autour de villages fortifiés (*ksour*). Dans ces oasis, le système est bâti sur la complémentarité des cultures irriguées de fond de vallée, de l'élevage extensif sur parcours et d'un élevage intensif à l'étable qui tend à se développer.

### **Études de cas**

Trois cas sont analysés, le premier dans la vallée du Rhéraya, sur le versant nord du Haut Atlas de Marrakech, le deuxième sur le versant nord du Haut Atlas d'Azilal et le troisième dans la vallée du Mgoun, sur la façade méridionale du Haut Atlas central. La GCES varie d'un cas à l'autre en termes surtout d'extension dans le paysage, en relation avec les conditions topographiques, climatiques et hydriques.

#### **La séquence d'Asni-Tamatert dans la vallée du Rhéraya**

Dans cette région, entre 4 165 m (Toubkal) et 2 500 m, on ne trouve guère de sol mais seulement des roches plus ou moins altérées par la pluie, la neige et la succession de gel et de chaleur.

Entre 2 500 et 1 800 m s'étendent des reliques de forêts à *Juniperus thuriferus* et des parcours surpâturés de chamaephytes protégeant des buttes de terre entre lesquelles le ruissellement rencontre la roche ou des cailloux, mais rarement du sol érodible : la terre est déjà érodée depuis les anciens défrichements. Quelques rares champs cultivés (orge ou blé) sur colluvions sont stabilisés par des cordons de pierres. La pente varie de 40 à 60 %.

De 1 800 à 900 m et au fond de la vallée (sur 5 à 10 % de la surface du bassin) sont concentrés les cultures et un ensemble complexe de dispositifs destinés à accumuler la terre, à capter les eaux de source et à la guider sur des terrasses en gradins (séguia), où sont concentrés la terre humifère, la fumure organique, l'irrigation (par inondation de planches, de rigoles ou de cuvettes), le travail d'entretien des cultures, le désherbage, le recyclage des résidus de culture et des adventices.

Le village de Tamatert se situe sur un replat près d'une source. Au-dessus de la première séguia, la zone cultivée en *bour* s'étend quelque peu grâce à des cordons de pierres qui ralentissent le ruissellement, captent les sédiments et les terres qui s'éboulent lors des travaux culturaux (labour à l'araire, tractée par des mules ou à la sape). Seules de maigres cultures de céréales (orge, blé) se développent sur ces terrasses progressives en fortes pentes sur des sols rocailloux vite desséchés. Si le sol est plus profond le long des cordons de pierres, on peut observer quelques arbres fruitiers (noyers) plantés dans des cuvettes récupérant le ruissellement du versant.

Sous la séguia se succèdent des terrasses en gradins (fiche 15) jusqu'au fond de la vallée. Ces terres noires et profondes, formées de l'accumulation des horizons humifères érodés en amont produisent des légumes (pommes de terre, oignons, menthe, pois, carottes, tomates, salades, un peu de maïs) et en rotation, des céréales et des fourrages (trèfles, luzernes et orge).

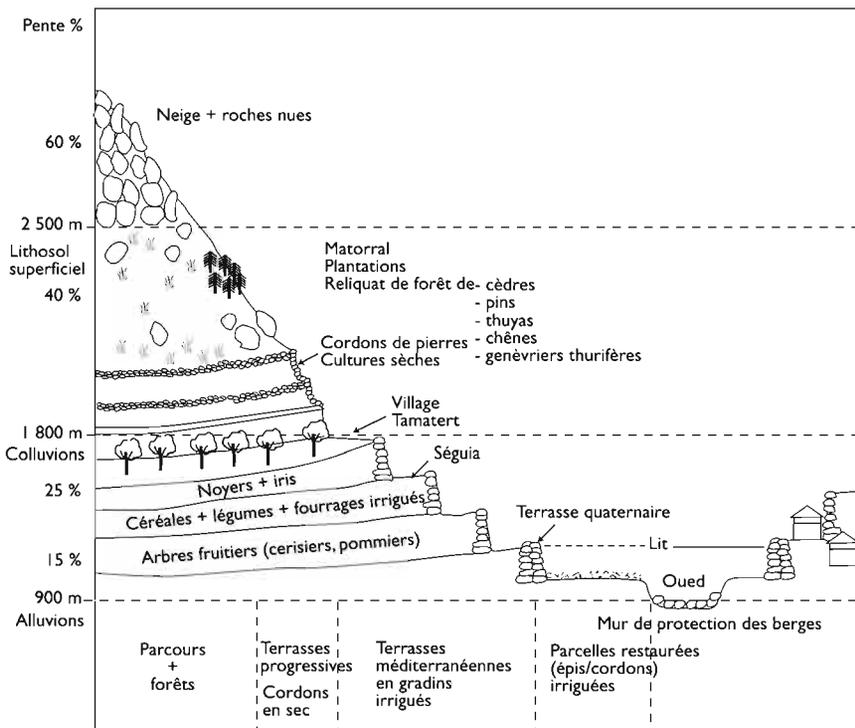


Fig. 21

Séquence Asni-Tamatert, vallée du Rhéraya, Haut Atlas (d'après E. Roose, 2003).



© E. Roose

Un ensemble complexe de culture et agroforesterie en fond de vallée autour du village de Tamatert.

Plus loin de l'habitat, des arbres fruitiers (pommiers, cerisiers, pruniers, cognassiers et noyers) couvrent les terrasses où ne poussent plus que des fourrages. Les talus sont en terre, enherbés ou recouverts des cailloux extirpés des champs, rarement en murettes de pierres sèches : la pente de ces talus varie de 10 %, en cas de murette, à plus de 50 % s'ils sont en terre, ce qui donne une idée de la surface arable occupée par les aménagements indispensables pour intensifier la production. Si des ravins traversent la zone des cultures, ils sont encadrés par des murs de contention en pierres sèches jusqu'au lit de l'oued. De même, l'oued est encadré de murs épais en grosses pierres qui s'appuient sur les terrasses quaternaires.

Dans le lit de l'oued, là où celui-ci s'élargit quelque peu, des épis en grosses pierres sèches (fiche 29) encadrent un espace rectangulaire susceptible de capter les eaux et leurs sédiments lors des inondations : ce champ de cailloux se couvre progressivement de sables, de limons et d'herbes puis, une fois le sol accumulé, on y sème des céréales et finalement on y plante des arbres forestiers (*Populus alba*, *Salix*, noyers, *Fraxinus*). Ces champs récupérés sur le lit d'extension de l'oued, risquent d'être emportés lors des crues exceptionnelles (tous les 10 à 50 ans) : ces aménagements coûteux en travail et peu durables montrent combien ces sociétés sont à la recherche de surfaces cultivables pour étendre leur SAU.

Seules les terrasses en gradins près des maisons et les arbres fruitiers en cuvette reçoivent une fumure organique (poudrette de fèces d'étable). Les sols non irrigués restent en friche entre deux cultures et les adventices non pâturées sont enfouies au labour : une fumure minérale très légère est réservée aux cultures rentables vendues sur le marché local.

#### **Le bassin versant de Sidi Driss**

Le bassin versant de Sidi Driss (640 à 3 200 m) produit une eau très chargée car l'érodibilité des terres est élevée (roches tendres) ; les pluies agressives varient de 600 mm en montagne à moins de 350 mm dans la zone basse de piémont, proche du barrage.

La population est dense ( $> 60 \text{ hab/km}^2$ ) et les revenus peu élevés : la tendance est donc de défricher les zones fragiles encore forestières pour survivre, ce qui aggrave encore plus la dégradation des terres et l'envasement du barrage. Sur les substrats tendres (schistes, marnes, argiles rouges du Permo-Trias) du sud du bassin, la mise en culture des pentes moyennes entraîne le décapage du sol par ravinement. Dans la zone intermédiaire à faible pente, les sols sont plus productifs et le paysage complètement anthropisé.

Dans la partie aval du bassin, l'agriculture et l'arboriculture sont plus développées, les paysans ont mis au point des techniques de récupération des eaux de ruissellement : cuvettes de plantation des arbres fruitiers et cuvette de stockage des eaux au pied des arbres (fiche 4), récupération des eaux de ruissellement des pistes dans des bassins à ciel ouvert (*matfia* de 50 à 150 m<sup>3</sup>).

Dans la vallée, des murs de pierres en épis protègent les terrasses irriguées contre les crues de l'oued. Des cordons de pierres plus petits servent à piéger l'eau des crues et les sédiments pour créer des parcelles enherbées, puis cultivées, puis plantées d'arbres à usages multiples (frênes, peupliers, noyers, roseaux).

L'aménagement des ravines varie depuis le comblement par des résidus de cultures et des pierres arrachées aux champs, jusqu'à la construction de seuils empierrés (fiche 22) et la plantation d'arbres fruitiers (oliviers, amandiers). L'épierrage des versants pierreux est une opération progressive. Les pierres sont amassées sur les plus gros blocs difficilement transportables. Ces amas se transforment en segments de cordons pierreux (fiche 7) qui finissent par isoler des parcelles irrégulières en courbe de niveau. Ailleurs, des terrasses en gradins (fiche 15) sont construites derrière des murettes de pierres. Des arbres fruitiers (oliviers, amandiers, caroubiers) sont plantés dans les sols profonds en amont des murettes dans des cuvettes protégées par des pierres (fiche 4). Sur les roches tendres, les limites des parcelles évoluent en talus souvent protégés par la végétation naturelle.

#### **La vallée du M'Goun**

À 112 km à l'est de Ouarzazate, sur le versant sud du Haut Atlas, la vallée du M'Goun est comprise dans un milieu aride parcouru par quelques troupeaux de chèvres, alors que toute la vie se concentre sur les cônes de déjection (casbahs fortifiées) et dans la vallée irriguée toute l'année par la fonte des neiges des massifs situés à 3 500-4 000 m d'altitude.

Le lit actuel de l'oued M'Goun, qui coule en permanence, est encombré de bancs de sable, de galets et de blocs de roches ; aucun aménagement n'y a été observé. La rivière attaque directement la terrasse holocène soigneusement cultivée.

Après une ligne de lauriers-roses (fiche 12), on observe une plage de sédimentation de galets entrecoupée de vasques de sédiments limono-argileux ou sableux et parsemée de tamarix, saules, peupliers et lauriers. Des lignes de cannes de Provence et de cordons de pierres (fiche 7) isolent des parcelles irriguées et billonnées. Des rigoles amènent les eaux d'irrigation depuis une séguia.

Dès qu'on quitte le lit ancien de l'oued, une série de murettes en pierres sèches renforcées d'arbres fruitiers (amandiers, figuiers, oliviers) et de lignes de rosiers

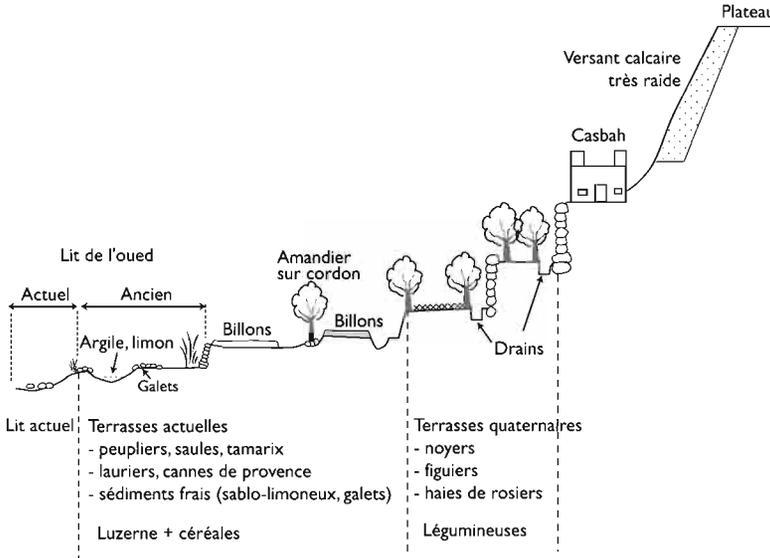


Fig. 22  
Séquence de la vallée du M'Goun (à la hauteur de Tamabout).

dessinent des terrasses en gradins cloisonnées par des diguettes en terre enherbées entre les planches de cultures (blé, orge, carottes, navets, épinards, patates, oignons et luzerne) : les planches sont labourées à l'araire pour améliorer l'horizontalité du sol, puis billonnées pour l'irrigation. Les haies sont formées d'amandiers et de rosiers taillés (fiche 18). De hauts murs de pierres protègent les terrasses quaternaires couvertes de noyers, figuiers, amandiers, sous le réseau de drainage/irrigation situé le long de la piste. Si un ravin secondaire se jette dans la vallée, il est isolé par un double mur de contention (fiche 29) qui guide les eaux boueuses directement sur le lit ancien de l'oued, hors de la zone cultivée. Toute cette zone qui dépend des eaux de fonte des neiges ressemble à une oasis de montagne. L'ensemble du versant au-dessus des colluvions et de la terrasse quaternaire n'est que chaos pierreux avec quelques touffes dispersées de buissons surpâturés.

### La GCES associée à l'aridoculture des montagnes et piémonts steppiques

Dans les montagnes arides, la conservation du sol est importante ; mais elle n'est souvent pratiquée, sauf exception de l'Anti-Atlas occidental, que dans les sites où l'eau est disponible pour l'irrigation. L'espace intéressé est donc forcément étrié. Par ailleurs, la diversité technologique est moins grande, même si le travail fourni est aussi important. L'entretien nécessaire est aussi plus élevé, car l'aménagement est vital, du fait de la modicité des autres ressources.

Dans ces régions à forte charge humaine et de vieille civilisation agraire, type Anti-Atlas, piémonts du Souss et du Haouz et les montagnes du Maroc oriental,

dans un contexte de rareté des ressources, la priorité est à l'interception et à l'infiltration de l'eau ; il s'agit de créer les conditions pour cultiver et profiter au maximum des eaux de pluie. L'autre impératif est de disposer d'eau potable et d'abreuvement ; c'est ce qui explique la multiplicité des *matfia* (fiche 11). Des efforts exceptionnels ont été consentis dans ces terres complantées d'amandiers ou d'arganiers. Mais, aujourd'hui, la majorité des terrasses sont en voie d'abandon.

***Les montagnes du Maroc oriental* (M. Chaker, 1998 et A. El Harradji, 2007)**

Dans les montagnes semi-arides de l'Oriental (rebord N.-O. des hauts plateaux, jbel Bou Khouali, Debdou), le genre de vie est resté basé sur le pastoralisme, dans les steppes comme dans le matorral des hauteurs, et sur la culture intensive dans les petits périmètres rattachés à des sources karstiques. Dans des dépressions favorables, comme sur l'escarpement montagneux, un système agraire basé sur la mise en valeur soignée des terres se conjugue à l'élevage de petits ruminants. La protection des terres étriquées est avant tout garantie par la construction de terrasses irriguées à partir des eaux de sources. La variété technologique est limitée, mais le soin avec lequel ces dispositifs sont réalisés et entretenus est très grand.

Les montagnes de Debdou-Taourirt ou partie occidentale de la chaîne des horsts se situent entre les hautes plaines steppiques maroco-oranaises au S.-E. et les plaines arides de Tafrata-Angad au N.-O. La complémentarité montagne et steppe est ancienne, notamment avec le couloir de plaines du N.-O. Mais le système s'est fractionné avec la sédentarisation et la mise en culture sur le piémont. Le système de la montagne devient de plus en plus autonome dans son fonctionnement socio-économique.

Le climat méditerranéen semi-aride de la montagne, du fait de l'altitude et de l'exposition au N.-O., constitue un îlot de verdure, face à la plaine aride steppique. La configuration géologique superpose de puissantes séries carbonatées ondulées du Jurassique à un substrat imperméable du Trias et du Paléozoïque. L'escarpement dominant la plaine et les talus internes à la montagne correspondent à des accidents de faille. C'est à ces niveaux que se situe une ligne de résurgences éloignées les unes des autres, au débit assez maigre. C'est sous ces sources perchées que se sont développés de petits périmètres d'irrigation traditionnelle, datant au moins des temps modernes. Par contre, le réseau hydrographique, l'oued Za mis à part, n'a pas permis, du fait des écoulements irréguliers, le développement de rubans irrigués le long des oueds, comme c'est le cas dans les vallées de l'Atlas.

L'érosion sur les versants est importante. En plus des grandes formes héritées de mouvements de masse et de quelques zones de badlands, on remarque une forte érosion par ruissellement diffus. Des mesures sur parcelles sur le mont Boukhouali (CHAKER et LAQUINA, 2007) ont montré que 20 % des pluies sont agressives et produisent un ruissellement important. Les événements érosifs principaux coïncident avec les orages intenses de fin d'été et d'automne. Mais on a aussi recensé des situations érosives de printemps, dues à des pluies durables. Le recouvrement de matorral, même dégradé, protège bien le sol. C'est

dans les parcelles dénudées ou en jachère que le ruissellement est le plus menaçant en termes de perte en terre.

Les finages agricoles accrochés à la montagne au sud de Taourirt représentent les dernières formes de vie sédentaire, dans le Maroc oriental, avant les oasis du Présahara. Au-delà de cette montagne vers le sud, les populations sont toutes nomades ou semi-nomades. Sur la frange nord, le développement d'activités agricoles s'explique par la présence de l'eau qui a favorisé l'installation de cultures irriguées, associées à un élevage transhumant entre la montagne et la plaine de piémont au nord. De petites « agglomérations » rurales se sont développées à proximité des sources et des dépressions travertineuses qui leur correspondent. Ainsi se trouvaient conjugués trois éléments pour un développement agraire : de l'eau, de la surface cultivable et de la pierre facile à découper en cubes pour la construction de murettes.

Sur le plan démographique, la croissance est très faible, du fait de l'émigration importante vers la plaine et la ville. Le cheptel gravite autour du douar, dans la forêt proche, ce qui explique des situations de surpâturage et de dégradation, à l'origine de quelques formes d'érosion. Mais la stabulation tend à se développer grâce à la mise en place de cultures fourragères.

#### **Contexte de mise en place des aménagements de GCES**

Le comportement conservatoire est un héritage et le fruit de plusieurs générations d'efforts. Les dispositifs sont anciens, attestés par la cimentation calcique des blocs de travertins, utilisés pour leur légèreté et se prêtant à la maçonnerie en pierres sèches. On voit bien que les murettes ont été construites par phases successives de surélévation. La base de certaines murettes contient des souches de très vieux arbres centenaires.

Dans cet espace, les indices de sédentarisation remontent au moins au <sup>xx</sup>e siècle (casbahs). Les récits d'auteurs du <sup>xviii</sup>e siècle parlent déjà d'un espace aménagé. Mais le travail communautaire n'est pas la règle. Plus souvent, il s'agit de réalisations familiales. Par ailleurs, l'absence d'une conscience très vive du problème d'érosion apparaît à la lecture du paysage. Les mêmes paysans qui construisent des terrasses, irriguent et fument leurs champs sont ceux qui dégradent de manière excessive le matorral proche et initient ainsi des formes de ruissellement qui ravagent les champs.

L'aménagement est avant tout dicté par le besoin de disposer d'espaces irrigables, pour une production intensive, répondant aux besoins de la population. L'autre objectif est de marquer l'appropriation du terrain. Enfin, on vise à dissuader le troupeau de paître librement à l'intérieur de l'espace agricole. Le but antiérosif n'est pas toujours déclaré.

Le système associe des dispositifs mécaniques et biologiques. La technique principale consiste à bâtir des murettes en pierre sèche (fiches 14 et 17), plus ou moins renforcées par des haies vives, mais aussi pratiquer une surélévation par des branches mortes, dans le but d'interdire le parcours dans ces terres de culture. Les murettes peuvent faire localement jusqu'à 2,5 m de hauteur. Elles sont construites de blocs métriques à la base, de blocs plus petits vers le haut et

forment un véritable escalier dans les zones irriguées centrales, avec des espacements très limités. Par contre, on observe des plans plus inclinés entre des murettes plus distantes sur les bords des dépressions, où l'irrigation est absente. Dans l'espace irrigué, l'eau est distribuée par des canaux en terre (séguias), à partir de bassins stockant l'eau des sources (fiche 9). Des puits récupèrent les eaux perdues et infiltrées dans la formation superficielle. En plus, des dispositifs de collecte des eaux ruisselées sur les bords des dépressions alimentent des bassins et des citernes. Enfin, autour des arbres non irrigués sur les rebords, des cuvettes capturent de l'eau de ruissellement (fiche 4). La fertilisation des terres est surtout organique grâce à l'association avec un petit élevage en stabulation.

#### **Effacité des dispositifs**

L'efficacité des aménagements en termes de rendement des cultures (parfois deux cultures par an) et de bilan d'eau pour la croissance des arbres est manifeste. Le sol en transit est par ailleurs accumulé derrière les gradins qu'il a fallu surélever en conséquence. La murette est construite de manière à permettre le drainage et l'évacuation de l'eau en excès. Des cas de dommages sont enregistrés, notamment lors des pluies persistantes. Sur les rebords des dépressions, des ravinelements sont enregistrés. Mais, les murettes détruites en partie sont entretenues et reconstruites. Enfin, la multiplication des arbres concurrence les cultures annuelles qu'il a fallu abandonner sur certaines terrasses à cause de l'ombre des arbres. Les aménagements sont denses dans la partie centrale des dépressions irriguées, au droit du réseau d'irrigation. Sur les rebords, les aménagements sont plus distants et moins soignés. L'élevage est écarté de l'espace agricole lui-même. Enfin, les terres collectives ne sont pas aménagées.

#### **Tendances actuelles**

Les aménagements sont encore entretenus, sauf très localement, dans certaines parcelles éloignées. On remarque, par contre, des changements positifs, avec bétonnage des séguias, cultures fourragères pour l'élevage stabulé, investissements hydrauliques (forages et pompages) et une meilleure fertilisation. Mais plusieurs indices laissent entrevoir des risques d'abandon : une émigration prononcée, avec départ des jeunes notamment, désistement de ces derniers pour tout ce qui constitue la réparation et l'entretien des dispositifs, et ainsi perte progressive du savoir-faire nécessaire pour leur durabilité. Le creusement de puits avec pompage, responsable parfois de l'épuisement de certaines sources, relève de cette volonté de réduire les efforts nécessaires. Or, l'effort demandé pour l'entretien des terrasses est bien plus exigeant.

#### **L'Anti-Atlas occidental (B. El Fasskaoui, 2007)**

L'Anti-Atlas est un massif impressionnant tant par sa structure géologique (hauts plateaux calcaires et pitons antécambriens puissants), que par le patrimoine architectural (villages fortifiés) et les aménagements en murettes de pierres généralisés sur des versants entiers et tout au long des oueds (fiche 15). Les terrasses au voisinage de l'habitat sont cultivées en planches ou en sillons/billons pour recevoir le fumier. Les autres terrasses sont rarement fumées : les

adventices qui poussent entre les périodes de culture sont broutées par le petit bétail ou enfouies lors du labour à l'araire.

Au pied des massifs volcaniques, sur des replats façonnés dans les schistes métamorphiques, des villages fortifiés anciens tirent l'eau de citernes captant les eaux des toits et des versants rocheux (fiche 11). Ils dominent des versants raides couverts de gros blocs éboulés, de murettes ou de cordons de pierres (fiche 7) et de petites terrasses étroites, cultivées et fumées, près des hameaux, ou plus ou moins abandonnées aux céréales, aux arganiers et aux adventices broutées par les chèvres. Tant que les sols sont couverts et que les murettes résistent, on observe peu de ravines. Les vallées très étroites sont occupées par l'oued qui charrie d'énormes blocs éboulés. Divers arbres prospèrent dans les colluvions à proximité de l'oued et des ravineaux ; dès que la vallée s'élargit, de minuscules terrasses en gradins sont jardinées et irriguées avec soin (fiche 12). Des murs de contention les protègent contre les inondations et l'érosion de l'oued (fiche 27). On y trouve de nombreuses citernes, soit en terre, soit en béton, à ciel ouvert ou non (fiches 10 et 11) :

- près des pistes dont elles récupèrent les eaux de ruissellement le long des fossés ;
- sur un replat rocheux peu perméable (de 100 à 1 200 m<sup>3</sup>) ;
- dans l'habitat où de petites citernes collectent les eaux de pluies des toits (quelques dizaines de m<sup>3</sup>). Ces citernes se remplissent plusieurs fois dans l'année, si bien qu'il faut les libérer des vases et des sables qui les envahissent. Ces vases noires sont utilisées pour fertiliser les champs alentour.

La végétation arborée, bien développée dans les vallons et vallées, est très dispersée et plus rabougrie sur les versants. Les arganiers, très beaux en bas de pente, sont décharnés par le broutage des chèvres sur les versants caillouteux. Plus au sud, les plantations d'amandiers résistent difficilement aux ardeurs du soleil : seuls quelques caroubiers très verts toute l'année sont respectés par le bétail. Dans les fonds de vallées et surtout les oasis, pistachiers, caroubiers, amandiers, oliviers, abricotiers, palmiers et divers arbres fruitiers se développent vigoureusement en groupes.

Les populations berbères ont quitté la terre, émigré vers les villes pour faire du commerce. Ils reviennent pendant les vacances et à la retraite pour construire de grosses demeures en béton et de petits jardins entourés de murailles. Les trois quarts des terrasses et des terres sont abandonnés depuis 10 à 40 ans mais résistent assez bien à l'érosion. On peut cependant s'inquiéter pour l'avenir de ces paysages magnifiques, pour ce patrimoine construit durant des siècles par la population rurale. Si ces versants ne sont plus entretenus régulièrement, la proximité du désert peut faire craindre que les murettes finissent par s'écrouler. Alors le ravinement ou les glissements de terrains décapent la mince couverture pédologique, après quoi il ne sera plus possible de réinstaller la végétation. Il en résulterait non seulement une perte inestimable du patrimoine rural, mais aussi l'assèchement des nappes d'où on tire l'eau d'irrigation des riches plaines du Souss sans compter l'inondation des vallées périphériques lors des plus gros orages.

### Les *matfia* de l'Anti-Atlas

Elles correspondent à une technique de mobilisation et de conservation des eaux de ruissellement, dans une région de paysannerie traditionnelle basée sur l'agriculture en *bour* et un élevage de faibles déplacements où les communautés montagnardes doivent faire face au manque d'eau domestique. C'est une citerne souterraine cimentée qui emmagasine l'eau pluviale et/ou de ruissellement nécessitant des travaux d'aménagement parfois très importants, en plus de la mobilisation de la population du douar. Le site doit emmagasiner le plus grand volume d'eau, ce qui nécessite l'aménagement d'un large impluvium naturel sur des versants étendus. Il faut ensuite préserver la citerne des effets de la pollution (bassins de décantation) et l'entretenir régulièrement. Le calcul des pentes doit être précis, pour éviter à la fois le creusement en amont et le transport de sédiments en excès. La construction de canaux d'amenée protégés et de bassins de décantation précède la construction de la citerne, elle-même protégée par un revêtement imperméable et une toiture étanche.

Les *matfia* occupent une place importante dans les systèmes d'approvisionnement en eau dans plusieurs régions du Maroc : dans le Rif, le Haut Atlas, le Haouz (province de Chichaoua), les Doukkala, l'Oriental, la province de Taroudant. Dans l'Anti-Atlas, la densité des *matfia* atteint des proportions élevées dans le cercle d'Ighrem. Dans certaines communes, même lorsque les maisons sont branchées à un réseau de distribution d'eau, la *matfia* continue d'exister, ce qui atteste d'un attachement à cette technique traditionnelle, censée livrer une eau de qualité « supérieure » et répond au souci d'avoir des réserves en eau pour des jours difficiles. Cette technique de gestion de l'eau a de plus un effet indéniable de protection des sols. La *matfia*, en plus de son rôle d'alimentation, permet de régulariser les eaux de ruissellement, quoique modestement. Elle a donc un effet aval dans la réduction des crues moyennes, mais reste sans effet sur les crues les plus violentes. Le recours à la *matfia* s'explique donc par le relief et la géologie et par la dispersion des hameaux. Toute autre technique d'alimentation en eau potable s'avère à la fois inadaptée et plus coûteuse.

Cette technique assure l'approvisionnement de 25 % de la population de la province de Taroudant (plus de 1 000 douars) et de près de la moitié de la population du cercle montagneux d'Ighrem. En montagne, le reste de la population est alimenté par des puits creusés dans les sous-écoulements des oueds. Par contre, sur le piémont, les sources et les puits dans la nappe phréatique deviennent la source d'alimentation principale.

La capacité de stockage d'une *matfia* varie entre 150 et 300 m<sup>3</sup>. Selon la taille de la famille et le nombre de têtes d'animaux, une citerne peut subvenir aux besoins d'un ménage. Mais le bilan peut être déficitaire et nécessite alors le recours à l'alimentation par camion citerne, notamment en été.

Les statuts de *matfia* sont multiples :

– *Matfia* familiale, avec objectif d'autonomie en termes d'approvisionnement en eau. L'enjeu est la survie dans cette montagne aride et enclavée. La moyenne

dans le cercle d'Ighrem est de 1 *matfia* par famille ; certaines familles en possèdent jusqu'à 3.

– *Matfia* collective, nettement plus grande, édifiée pour les besoins du douar (mosquée, école) grâce aux formes de solidarité villageoise, ainsi que pour ceux des travailleurs des champs et du troupeau. En cas de pénurie, elles représentent un recours providentiel. D'autres *matfia* sont construites dans les zones de parcours pour les besoins des bergers et du troupeau. D'autres enfin sont sur des itinéraires de déplacements habituellement empruntés.

Le nombre de *matfia* s'est fortement accru après les années 1970, suite aux années de sécheresse. C'est donc une technique d'actualité qui continue à se multiplier. L'argent de l'émigration a facilité cette expansion. De plus en plus, on cherche à placer la *matfia* en amont de l'habitat, pour y relier ce dernier par une tuyauterie, sans corvée d'eau.

L'abandon de la *matfia* se remarque dans certains douars. Il s'explique soit par l'existence d'une possibilité de pompage dans une nappe profonde, soit par l'acheminement d'eau lointaine. Mais plus généralement, même en cas de branchement au réseau, la *matfia* continue à être entretenue, pour de multiples besoins domestiques et d'abreuvement du bétail.

### **La GCES des oasis présahariennes (B. Akdim et al., 2007)**

Dans les milieux présahariens, au débouché des vallées comme en plaine, l'objectif de la GCES est de créer un espace aménagé pour irriguer, sans souffrir de manière excessive des crues et des destructions qu'elles occasionnent ; les aménagements se concentrent à proximité du lit des oueds, pour profiter de l'eau, mais avec une protection mécanique et végétale contre les apports de l'oued.

De manière générale, plus on remonte les cours des oueds en montagne, plus l'espace mis en valeur s'élève au-dessus du talweg et prend la forme de terrasses construites, protégées par des talus ou des murettes en pierre. Il ressemble alors aux dispositifs décrits dans le Haut Atlas (fiche 15). En aval, par contre, l'espace aménagé ou oasis se limite à la dernière terrasse fluviale, celle des limons gris des palmeraies (terrasse holocène), et aux parties du lit majeur qui ont été gagnées aux dépens de l'oued, par l'aménagement de champs en bassins clos par des murettes en blocs ou des rideaux végétaux, que les crues sont venues recouvrir en y déposant des limons de décrue très fertiles (fiches 29 et 30).

Tous les terrains irrigués sont soigneusement aplanis et ne souffrent d'érosion que sur le rebord sapé par l'oued. Un épais rideau de roseaux, de peupliers et de tamarix protège les terrasses de l'oasis contre les eaux de crues. L'accroissement démographique explique les coupes successives de la ceinture verte qui ont conduit l'oued à décaper les berges de sa terrasse limoneuse ; par ailleurs, l'apparition de nouveaux espaces agricoles et l'introduction de la motopompe ont créé de nouveaux paysages modernes spécialisés dans la production de la pomme et des légumes. Ces cultures qui nécessitent beaucoup d'eau sont alimentées à partir de la nappe phréatique, au détriment des cultures habituelles de

la palmeraie. Le petit paysan oasien veille constamment à la maintenance de sa terre en lui injectant du fumier au moins deux fois par an ; en plus, il pratique la jachère et l'assolement.

Plusieurs techniques de gestion de l'eau peuvent être inventoriées, certaines d'entre elles possédant une réelle connotation de GCES alors que d'autres sont de simples pratiques d'irrigation. Les espaces oasiens sont irrigués par les eaux des oueds, des *khettara*, des puits et des sources, mais restent des milieux très fragiles car soumis aux fluctuations des ressources en eaux.

Le *faïd* (fiche 24) ou irrigation par épandage des eaux de crue repose sur un aménagement particulier préalable du parcellaire. En effet, les parcelles sont en forme de bassins délimités par des levées en terre, dont la hauteur varie de 1 à 2 m selon les secteurs de la plaine. Les principes fondamentaux de ce système sont la non-séparation de la terre et l'eau, la priorité de l'amont sur l'aval, jusqu'à épuisement de l'eau dans le canal de dérivation de l'eau de crue.

L'importance de la surface des terres utilisables dans le domaine oasien est tributaire des volumes d'eau disponibles. Ainsi, l'aire des oasis évolue suivant le rythme des années humides et des années sèches. L'irrigation par les eaux de crues enrichit les sols grâce à la charge solide de nature limono-organique. L'irrigation contribue également par effet d'humidification à la stabilité des particules des sols face à l'action érosive des vents très fréquents dans cette région. Les différentes strates végétales dans les oasis sont aussi des paravents qui empêchent les sables d'envahir les champs.

En périodes d'abondance d'eau, l'essentiel de l'érosion hydrique des sols s'étend au sapement des berges des terrasses limoneuses pendant les crues, ce qui est loin d'être négligeable parce qu'il détruit irrémédiablement les plus riches espaces agricoles. Pour lutter contre ce processus, on procède à la plantation de roseaux ou de tamarix sur les berges (fiche 18). Par contre, la correction mécanique des cours d'eau n'est pas une pratique courante dans ces espaces, du fait de la rareté des blocs.

Un aspect érosif peut apparaître paradoxal : l'irrigation par les eaux de crue entraîne par endroits la surélévation du niveau des parcelles par rapport au niveau de la séguia, suite à l'accumulation des limons de débordement. Cette situation rend l'irrigation de plus en plus difficile. Pour remédier à ce problème, plusieurs solutions sont préconisées : soit décaper le surplus de limons qu'on accumule aux bords des parcelles (c'est ce qui peut expliquer aussi l'envergure des digues limitant les parcelles du Tafilalt), soit ouvrir une carrière pour le prélèvement de la terre pour des travaux de construction avant d'aplanir à nouveau le champ.

L'ensablement reste enfin la plus grande menace pour les périmètres irrigués dans plusieurs secteurs. Pour réduire l'impact de ce phénomène, les habitants procèdent à la construction de véritables murailles autour des exploitations menacées (fiche 2). L'effet de cette technique n'est qu'éphémère car, avec le temps, les sables s'accumulent et franchissent l'obstacle.

## Les steppes et les régions pastorales

Dans les régions pastorales du Maroc, la notion de conservation des ressources s'applique à l'activité pastorale elle-même, grâce à des pratiques de gestion des espaces qui sont censées leur garantir la stabilité morphodynamique et les protéger contre les aléas. Ces pratiques sont fondées sur un usage rationnel des ressources fourragères, grâce à la rotation qui prend au Maroc la forme de déplacements saisonniers des hauteurs pâturées en été, à un moment où croissent des herbes denses et nourrissantes, vers les dépressions que les troupeaux gagnent lors du froid hivernal. Des mises en culture ont toujours accompagné ces déplacements, pour fournir à la fois une base alimentaire pour les populations et un complément fourrager pour les troupeaux. Mais ces cultures dérobées n'ont jamais été accompagnées de dispositifs de protection des sols. Aujourd'hui, les cultures prennent de plus en plus d'importance et peuvent susciter des comportements de conservation, quoiqu'encore très limités.

### *La GCES des parcours du Maroc atlantique sub-humide et semi-aride (M. Aderghal et al., 2007)*

Dans les régions atlantiques, notamment en plaine, l'agriculture est nettement avantageuse comparée à l'élevage extensif, même si ce dernier constitue un complément non négligeable, du fait de la forte productivité des parcours, en forêt comme hors forêt. Le déficit fourrager est accusé du fait des surfaces limitées laissées pour le parcours et qu'on peut assimiler à des jachères prolongées, alors que la forêt reste le seul espace continu, utilisé comme pâturage. Or, au début du XX<sup>e</sup> siècle, l'élevage était une activité importante, voir principale, dans ces espaces.

Aujourd'hui, l'élevage extensif est limité à des terres marginales et devient un complément au système de culture. Entre les espaces cultivés, des superficies réduites sont réservées au parcours et ne permettent pas, même avec l'appoint que représentent les chaumes et les jachères annuelles, de couvrir les besoins en fourrage. Les aménagements de GCES sont limités dans ces régions traditionnellement pastorales, même lorsqu'elles se sont reconverties à l'agriculture ; dans ce cas, il manque le savoir-faire et la tradition du travail en commun.

Le plateau central, basse montagne pastorale à la limite du sub-humide, vit sur le binôme élevage extensif-céréaliculture, sur parcours forestiers ou de matorral et enclaves défrichées plus ou moins étendues. L'évolution récente se caractérise par la concentration foncière sur les bonnes terres, mais aussi par plus de pression sur les ressources naturelles. Traditionnellement, les rares terroirs à faible pente et sol épais sont utilisés pour l'agriculture, alors que les larges portions en pente ou au sol squelettique sont réservées au parcours, même si les deux activités se complètent (parcours sur chaumes en été et sur jachère en hiver, fertilisation des terres agricoles grâce au fumier recueilli). La pression sur le milieu est alors légère et les déforestations à des fins pastorales ou agricoles réduites.

Au début du xx<sup>e</sup> siècle, les choses évoluent rapidement, avec la domanialisation de la forêt et la mise sous tutelle du collectif, la concentration foncière sur plus du tiers de la SAU et, enfin, avec la pression démographique. Les meilleures terres sont passées à un système d'utilisation agricole exclusif, avec introduction de cultures et de techniques nouvelles. De nombreuses terres, souvent fragiles, présentent un système agricole dominé par les céréales, dans le cadre de petites exploitations, sur des pentes parfois assez fortes, menacées par l'érosion. Sur une large proportion des terres, partout où cela est possible, le travail du sol est devenu mécanisé, avec un labour dans le sens de la pente. Ces terrains fragiles et peu protégés sont souvent devenus la proie de l'érosion hydrique.

De nouvelles cultures sont introduites (arboriculture, lavande, cultures fourragères) et les itinéraires techniques sont mécanisés sur une grande superficie (56 % des terres sont réservées aux céréales), tout en se limitant aux labours préparatoires et aux moissons. La mainmise sur les meilleures terres a conduit au confinement des populations les plus démunies et des troupeaux sur les terres marginales. D'où le recours plus grand à la forêt pour l'alimentation du cheptel et pour l'approvisionnement en produits ligneux. C'est ce qui explique l'extension des terrains dégradés. Sur 40 % des terres des communes d'Oulmès et Bouqachmir, les contraintes dues à l'érosion hydrique nécessitent une intervention en matière de protection.

Les techniques de GCES sont globalement inconnues des « agriculteurs », anciens éleveurs. Le système traditionnel essentiellement pastoral, caractérisé par des mises en cultures sur des espaces limités et le maintien du couvert végétal qui relèvent néanmoins d'une organisation communautaire de l'espace, comportait une retombée de protection non négligeable. Progressivement, les gens ont été amenés à pratiquer localement des aménagements, afin de limiter les processus de dégradation. Ces initiatives individuelles ne procèdent pas d'un référentiel technologique, mais plutôt d'approches empiriques, malgré le manque de moyens et la pression démographique.

Les haies vives (fiche 18), notamment en cactus *Opuntia*, jouent un rôle majeur de délimitation et d'apport économique supplémentaire, mais présentent aussi une efficacité antiérosive indéniable. Elles sont localisées essentiellement dans les parties amont des vallons, dans les portions évasées et sur des versants convexes de pente faible. Des travaux de micro-irrigation complètent le dispositif et donnent à ces parties un aspect verdoyant, au sol bien conservé.

Très localement, des cordons et des murettes (fiches 7 et 15) ont été introduits par des exploitants particuliers, ayant vécu dans des régions où la GCES est généralisée. Des banquettes (fiches 16 et 17) ont aussi été mises en place. Mais tous ces traitements ne semblent pas pour l'instant entraîner l'enthousiasme des autres exploitants. Dans la recherche de l'eau, seuls le creusement de puits et le captage de sources sont utilisés alors que la capture de l'eau de ruissellement est rare. Des aménagements très localisés en murettes ont été relevés, notamment un petit périmètre irrigué à partir de la source de Ain Lhammam, au sud de Tiddas. Les eaux sont captées au niveau de trois bassins (fiche 9) aménagés

dans les années 1930 et conduites vers les parcelles situées sur les deux versants du vallon, par deux séguias prolongées par des tuyaux en plastique.

Les banquettes sont utilisées par les exploitants qui ont adhéré à des interventions de l'État dans le cadre de la DRS ou des PMVB (périmètres de mise en valeur en *bour*). Ce sont des techniques qu'on retrouve aussi sur les terres de certains exploitants qui, de manière volontaire, ont choisi de transformer des terres de parcours ou de céréales en terres plantées. Il s'agit d'exploitants – comme la ferme ARBOR – qui possèdent suffisamment de terres au niveau d'un même versant et qui disposent de moyens d'investissement.

Le procédé des parcelles allongées, selon les courbes de niveau, favorise la lutte contre l'érosion hydrique. Les formes originelles en lanières selon la pente sont progressivement remplacées par un dispositif de parcelles qui épousent le sens des courbes de niveau et rendent plus facile le labour. Sur les versants, ces parcelles sont bordées par un ados en terre (fiches 12 et 16), parfois renforcé par un alignement de pierres (fiche 7), alors que sur les terrasses alluviales une rangée d'arbustes marque la limite entre ces parcelles et la berge de l'oued (fiche 18). La morphologie de ces parcelles contribue à la sauvegarde du sol. Le ruissellement est réduit et de plus grandes quantités d'eau sont infiltrées. Mais, globalement, ces initiatives sont encore rares.

### *La GCES des steppes du Maroc oriental et du Présahara*

Une bonne partie de l'élevage marocain est menée dans les parcours steppiques ou désertiques, où de petits ruminants pâturent selon un mode extensif traditionnel d'élevage de pays naisseur. Cet élevage extensif a un avantage comparatif considérable dans les régions de steppes, où l'amélioration de cette activité constitue la meilleure option possible de gestion des ressources.

Les steppes du Maroc oriental sont des milieux contraignants recevant entre 100 et 200 mm de pluie, avec une irrégularité interannuelle forte et des écarts thermiques diurnes et saisonniers importants. La sécheresse imprime ses caractéristiques à la végétation avec des formations basses à graminées, des buissons ligneux et des plantes halophiles, soit un couvert discontinu, dont le taux de recouvrement est inférieur à 30 %. La steppe d'alfa (*Stipa tenacissima*) est la caractéristique la plus commune de ces milieux, qui sont en fait très diversifiés selon le relief et la mosaïque de sols (ondulations à croûte calcaire aux sols squelettiques et basses terrasses ou épandages limoneux à meilleur bilan d'eau du sol et donc recouvrement végétal plus dense, mais états de surface désavantageux, avec fréquentes des croûtes de battance).

Globalement, les surfaces cultivées sont limitées et l'occupation humaine lâche. L'irrigation intervient très ponctuellement pour corriger cet état de choses puisqu'elle concentre alors de fortes densités et une forte occupation du sol. La dynamique actuelle tend à réduire et à cloisonner des parcours dans ces espaces où cette activité représente à la fois la vocation principale et la tradition. L'équilibre fragile de la steppe est menacé par l'extension des cultures dans le nord des hauts plateaux comme en haute Moulouya. De larges surfaces ont été

soustraites à l'élevage et cloisonnent le parcours par des champs isolés défrichés, puis vite délaissés. Le surpâturage représente la seconde cause de dégradation des terres, notamment du fait de la réduction des déplacements et de la disparition des anciennes complémentarités. La désertification représente ainsi la menace principale dans ces terres de steppes.

Dans ces steppes arides, localement mises en culture, nous assistons depuis quelques années seulement, à la mise en place des seuils et des murettes (fiches 22 et 15) pour retenir l'eau et le sol. En fait, la mise en culture des dépressions et fonds de vallées repose sur la gestion des eaux de ruissellement, récupérées sur les versants et les glacis et conduites en épandage, plus ou moins contrôlé vers les fonds, pour alimenter les cultures ; mais l'érosion sur les versants et dans les dépressions elles-mêmes peut aboutir à la destruction totale des sols et à la désertification de ces milieux. Le recours aux techniques de conservation dans les piémonts semi-arides vise justement à atténuer les formes vives d'érosion nouvellement apparues. D'un autre côté, dans ces milieux où les précipitations sont faibles et irrégulières, les ouvrages de GCES s'avèrent nécessaires pour emmagasiner suffisamment d'eau pluviale dans le sol pour garantir une certaine production végétale (fiche 1).

## Espaces à faible recours à la gestion conservatoire

La rareté des dispositifs de conservation dans ces zones s'explique sans doute par l'abondance des ressources en terres et la relative disponibilité de l'eau ; mais cela n'est pas vrai partout. Le comportement peu conservateur relève aussi de l'absence, au moins dans certaines de ces régions, de véritables traditions agraires. Les nuances sont cependant grandes d'un sous-espace à l'autre.

### **Les basses montagnes et collines du Prérif occidental**

Dans ces pays à occupation humaine ancienne, tout le paysage est utilisé ; même sur les pentes fortes, les cultures vivrières sont mêlées aux plantations d'oliviers. La forêt domaniale, constituée de matorral arboré, mise à part, la plupart des terres portent des cultures céréalières (environ 60 % des terres). Les jachères servent de terrains de parcours d'hiver, alors qu'en été les troupeaux sont conduits sur les chaumes. Lors des sécheresses prolongées, le matorral voisin devient la ressource unique.

Sur les pentes faibles, aux sols plus épais, la betterave, les légumineuses et le tournesol se développent, ces cultures étant encouragées par l'État. Introduites dans la région depuis plus de 20 ans, elles peuvent être pratiquées même dans des petites parcelles.

Dans les années 1960 et 1970, la région a bénéficié des actions menées dans le cadre du programme DERRO. En plus de chantiers pour ouvrir des pistes, ce programme a mené plusieurs actions de lutte contre l'érosion (banquettes fruitières, notamment) (fiche 16). Dès 1975, mais surtout dans les années 1980, le projet Loukkos a visé la modernisation de l'agriculture par l'aménagement du périmètre du Loukkos amont. Les collines aux sols vertiques ont alors été déclarées zones de « *bour industriel* », tandis que la zone montagneuse devait recevoir des interventions forestières de défense et de restauration des sols.

La surface agricole se répartit entre terres *melk* (privées), *jmaa* (collectives) et *habous* (biens religieux). Le morcellement des terres constitue une contrainte majeure et les parcelles lointaines sont souvent délaissées. Le nombre moyen de parcelles dans une exploitation est de 5, mais peut dépasser 10 parcelles. Leur distance par rapport au douar peut atteindre une dizaine de kilomètres. 85 % des terres privées sont exploitées en faire-valoir direct et 15 % dans le cadre d'*almoucharaka*, (association) ou d'*almougharassa* (association regroupant les planteurs de fruitiers).

L'élevage constitue une soupape de sécurité pour équilibrer le budget familial. Il s'appuie sur deux ressources fourragères : les parcours des espaces collectifs des collines encore couvertes de végétation et la forêt de la montagne voisine. Ces pâturages occupent des versants entiers délaissés à proximité des douars, parfois à cause de leurs sols médiocres. L'élevage s'appuie aussi sur la valorisation des sous-produits des cultures (pailles, feuillages, chaumes, jachères, etc.). L'alimentation du cheptel est assurée à 30 % par les parcours et à 70 % par les surfaces cultivées. Ce type d'élevage entrave les améliorations techniques comme le labour précoce ; l'introduction des cultures industrielles provoque d'ailleurs des modifications fourragères en réduisant l'espace des jachères pâturées. Le recul de la jachère a obligé les paysans à intensifier l'élevage par le passage progressif à la stabulation et à la complémentation. C'est ainsi que nous assistons au passage à un élevage de gros bétail dominant.

L'impact du surpâturage sur l'environnement est évident, car il aboutit à une diminution de la végétation pérenne et à son remplacement par des plantes annuelles peu appréciées. Les sols des parcours sont de plus en plus exposés au ruissellement et à l'érosion. La recharge des aquifères souffre aussi du ruissellement direct.

L'observation directe des phénomènes érosifs durant trois années de suivi a montré que des événements pluviométriques exceptionnels peuvent produire une forte érosion, dans les champs de betterave en particulier. Des glissements en planche se produisent, en particulier dans les terres de labour mécanisé où la semelle de labour est relativement profonde, et forment en bas de parcelle de petits cônes de déjection. Ces arrachements peuvent être effacés par l'action du labour. Mais, dans certains secteurs, le ravinement s'est installé sur les cicatrices et s'est accentué par la suite.

Mise à part la répartition assez rationnelle des formes d'utilisation des terres selon leur potentiel agraire et la pratique de techniques agronomiques de labour et de fertilisation de certaines parcelles, les aménagements de conservation sont

très rarement mis en place dans ces milieux, somme toute assez favorables. Seule l'extension de l'arboriculture fruitière, accompagnée de systèmes de collecte de l'eau de ruissellement, peut être considérée comme une réelle approche conservatoire des eaux et des sols.

### **Les milieux favorables des plaines nord-atlantiques**

Cette zone couvre près de 4 millions d'hectares, dont 60 % de SAU, dans un vaste amphithéâtre atlantique largement ouvert aux influences océaniques avec des précipitations relativement abondantes et des températures estivales modérées. À ces conditions favorables s'ajoute la présence de bons sols plus ou moins épais : sols rouges méditerranéens argileux du plateau de Meknès, vertisols noirs argileux du Gharb ou de la Chaouïa (*tirs*), sols sableux et légers (*rmel*) des anciennes dunes côtières stabilisées. Mais, comme l'ensemble du Maroc, cette région peut aussi souffrir de l'irrégularité du climat.

Les plaines et plateaux atlantiques étaient originellement des terres occupées par des éleveurs issus en bonne partie des reliefs proches ou des régions méridionales. Chaque groupe s'est constitué un finage particulier. À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup>, le développement des cultures s'est affermi, en particulier à la suite de la colonisation des terres. L'économie est aujourd'hui fondée sur une association de la culture et de l'élevage. Cette histoire explique le taux élevé de terres non privatisées dans la SAU des plaines du Gharb et du Saïs. Les collines pré-rifaines s'individualisent dans cet ensemble, du fait de leur ancienne occupation et de la privatisation totale des terres. Mais même là, on ne remarque pas de véritable effort de protection des terres et de gestion des eaux.

C'est pourtant un ensemble très aménagé par l'homme. L'agriculture pluviale y permet des rendements intéressants et la rotation de cultures diversifiées. À l'intérieur de ce domaine, la zone recevant 600 mm de pluie et plus comporte une large gamme de cultures d'hiver et d'été, sans que les températures imposent de contrainte. Les cultures industrielles et oléagineuses sont importantes dans le Gharb et le Loukkos, ainsi que les fourrages. L'irrigation couvre 9 % de la SAU (21 % dans le Gharb, zone où le potentiel d'extension de l'irrigation reste encore élevé).

Les techniques modernes de labour tendent à se généraliser dans ces espaces agricoles. Dans ces derniers, il faut différencier les grandes plaines où la mécanisation et les innovations ont été introduites, d'autant que les densités humaines le permettaient, et les collines à population plus dense et à structures plus traditionnelles. La mécanisation du labour atteint un taux moyen de 70 %, mais reste faible dans le Prérif (37 %) ; même chose pour l'amélioration de l'élevage bovin.

Les systèmes de culture sont dominés par les céréales mais montrent une grande variété dans les rotations, en fonction des conditions bioclimatiques et des traditions paysannes. Plusieurs cultures s'associent aux céréales (légumineuses, cultures fourragères, plantes industrielles). L'arboriculture joue un rôle important dans les régions de piémont, mais aussi dans les plaines irriguées.

La taille des exploitations est moyenne, même si les exploitations de moins de 3 ha représentent 53 % en nombre mais seulement 12 % en surface. Le grand nombre d'exploitants non résidents (22 %) dans le Saïs et Chaouïa s'explique par l'impact des villes de Fès, Meknès et Casablanca. Les activités non agricoles sont aussi importantes dans ces régions.

La variété des productions et la disponibilité des ressources ne signifient nullement l'absence de la menace de dégradation. Dans plusieurs régions, l'érosion hydrique est présente, avec même des situations d'ablation importante par des griffes et par le ruissellement aréolaire dans des champs récemment travaillés, même sur des pentes très faibles, sur sols fragiles. Pourtant, le réflexe conservateur est rare dans ces milieux, mis à part quelques cas particuliers.

### *Le cas particulier de l'arrière-pays de Rabat-Salé*

Cette région a enregistré des changements importants. Deux phases ont transformé les stratégies et les techniques de gestion des terres. Jusqu'au début du xx<sup>e</sup> siècle, la dominance pastorale était effective, avec une utilisation très extensive des terrains ; la forêt représentait encore le couvert dominant. La période coloniale (1912-1956) a nettement marqué le paysage agraire par la mise en place de nouveaux systèmes d'exploitation, même si les terres accaparées par les colons se limitent à moins de 10 %. En fait, cette mainmise a été accompagnée par un fort glissement des populations rurales vers les terres marginales, situées sur les rebords des plateaux et sur les pentes des vallées. Depuis lors, la région a connu la transformation de larges portions de la forêt et du matorral, sur les pentes fortes des vallées, en terrains de céréaliculture pluviale. Une grande partie de la population rurale s'est adaptée aux nouvelles méthodes de gestion des ressources et de valorisation des terres, puis la mécanisation des travaux agricoles a beaucoup progressé.

L'appropriation citadine a débuté avec l'avènement de l'indépendance qui a été marquée par l'implantation de fermes modernes pour une bourgeoisie citadine. Cette nouvelle intervention s'est axée en particulier sur le développement des cultures irriguées à partir des eaux de la nappe phréatique. La colonisation agraire européenne et l'appropriation citadine ont abouti à des transformations importantes dans le paysage agraire, dans les formes d'occupation et dans les techniques, avec notamment la mécanisation plus généralisée des travaux agricoles et la diversification des productions.

Cependant, malgré ces transformations, les méthodes traditionnelles de gestion des terres n'ont pas été éradiquées, particulièrement dans les cultures pluviales et les systèmes d'élevage, sur les rebords du plateau et les flancs des vallées. La conséquence de cette dualité apparaît en termes de distribution spatiale entre des plateaux, où l'irrigation progresse à partir de la nappe phréatique, et des versants de la vallée et collines en sec, milieu en proie à la dégradation des terres. Cette subdivision spatiale a aussi une connotation sociale.

L'agriculture irriguée s'est beaucoup intensifiée durant les années 1990, en profitant de l'injection des capitaux citadins et de la multiplication des puits. Cela

s'est accompagné de l'introduction de nouvelles cultures (arbres fruitiers, maraîchage, fourrages...) et de nouvelles techniques d'irrigation (aspersion et goutte à goutte).

L'agriculture en sec a connu aussi quelques mutations, notamment l'introduction des semences sélectionnées et des engrais chimiques. Certaines spéculations, comme l'orge qui avait un double usage (alimentation humaine et du bétail), sont actuellement réservées au bétail alors que les légumineuses, très répandues dans le passé, n'occupent plus qu'une superficie négligeable. Les techniques utilisées dans le travail du sol, malgré la présence d'une mécanisation croissante, restent largement dominées par la traction animale pour le labour, en raison de la dominance de la micropropriété et du morcellement. L'utilisation des engrais est fréquente avec une quantité moyenne de 1q/ha/an.

La préparation des sols diffère selon leur type. Les sols sableux et caillouteux sont travaillés généralement après les premières pluies de l'automne, contrairement aux sols vertiques, labourés avant les pluies parce que celles-ci les rendent boueux, lourds et difficiles à travailler.

La vaine pâture assurait une égale répartition de la fumure organique entre les parcelles. Aujourd'hui, avec les clôtures et la vente de fumier aux fermes du plateau, seules quelques parcelles proches des maisons et les parcelles de jardinage continuent à recevoir le fumier organique ; cela induit des comportements hydrologiques différents d'une parcelle à l'autre. La fertilisation chimique est de plus en plus répandue ; mais elle est mal maîtrisée et ne peut permettre de corriger le déficit des sols, alors qu'elle améliore la productivité et donc la densité de recouvrement. Les résidus de cultures et de la jachère, autrefois entièrement broutés, restent aujourd'hui intacts dans certaines parcelles clôturées et non pâturées. C'est une preuve que, localement, il y a une certaine amélioration des conditions hydriques et donc la création de cellules spatiales (champs) capables d'absorber les excès de pluie locaux et les eaux de ruissellement.

Le milieu évolue vers un paysage de plus en plus morcelé par l'héritage, même en cas d'exode de tous les membres d'un foyer. L'émigration complique aussi le statut foncier, car la terre reste propriété de l'émigré mais elle est cédée en fermage à des membres de sa famille qui ne font rien pour en améliorer la fertilité ou la protéger contre l'érosion. Cela explique aussi la transformation rapide vers un paysage de plus en plus fermé, à la fois par les plantations de cactus sur les rebords des parcelles dans la partie amont et par des clôtures en fil de fer dans le reste, qui indiquent le recul de la vaine pâture (fiche 18).

Le morcellement suit le sens de la pente car, à l'occasion des héritages, tous les membres d'une même famille revendiquent des terrains comparables et dotés des mêmes potentiels, ce qui accentue la vulnérabilité au ruissellement. En amont du bassin versant, se constitue un bocage à haies de cactus avec effet important sur la réduction du ruissellement, alors qu'en aval le paysage est souvent un open-field, avec apparition de haies de fil barbelé le long des propriétés ; ces haies lon-

gitudinales n'ont aucun effet sur le ruissellement. Par contre, les haies avec talus transversaux ont un effet non négligeable (CHAKER *et al.*, 1996 ; TRIBAK, 2002). Mais la mise en place des haies, avec la réduction de la vaine pâture qu'elle induit, aboutit quand même à la conservation de résidus végétaux au début de l'automne, sur les parcelles clôturées non broutées, ce qui peut avoir un effet positif sur l'infiltration et la protection du sol.

Dans les secteurs où les parcelles sont morcelées à mi-versant, par des bourrelets ou des haies vives, le ruissellement est ralenti, à l'inverse des parcelles continues le long du versant.

Les cultures céréalières d'hiver occupent l'essentiel de l'espace agricole, avec une jachère en recul net, alors qu'elle est fortement adaptée pour la protection des sols en automne lors des premières pluies. De plus en plus, les agriculteurs pratiquent une orge précoce, avec labour dès les premières pluies, comme fourrage d'appoint pour l'élevage bovin semi-intensif, en remplacement de la jachère. Ce labour précoce, lorsqu'il est suivi de fortes pluies en novembre/décembre, sur sol fraîchement retourné, engendre la constitution de griffes sur les versants au sol fragilisé.

Comme le système d'élevage devient semi-intensif, basé sur la complémentarité, le fumier produit est mélangé avec des déchets organiques frais, nécessitant alors toute une technique de compostage que les paysans ne maîtrisent pas encore, ce qui peut réduire la qualité du fumier produit.

Des comportements de conservation des sols commencent à apparaître, certains de manière spontanée, d'autres sous l'effet des projets gouvernementaux de gestion des terres en *bour*. Ainsi, la multiplication des haies de cactus et des plantations de fruitiers en ligne ou d'eucalyptus vise aussi la prévention du développement de ravins. Mais les signes d'abandon ne sont pas moins importants. L'avenir de l'agriculture dans ces milieux favorables mais fragiles dépendra beaucoup de la généralisation ou pas des pratiques de gestion durable des terres et des eaux.

### **Les zones de plateaux atlantiques semi-arides**

La pluviosité est ici inférieure à 400 mm, mais l'activité agricole reste importante (*bour* aléatoire) couplée à l'élevage et à des îlots de petite et moyenne hydraulique (PMH). Il s'agit de plateaux semi-arides, à faible extension de l'irrigation (2,2 % de la superficie) et sans potentiel de grande irrigation. Cet ensemble couvre 2,8 Mha, dont 1,4 Mha de SAU. À cause de ce faible potentiel, les exploitations sont de tailles moyennes (8,73 ha/exp).

Cette région semi-aride où les pratiques de GCES sont peu perceptibles est partagée en deux sous-zones :

- les Chiadma-Haha, où la privatisation est avancée (vieille civilisation agricole), où l'élevage joue un rôle secondaire et où l'amélioration technique est en retard ;
- les plateaux Ourdirha et Rehamna, où l'espace est traditionnellement pastoral, même si les cultures se sont largement étendues. Dans ces deux ensembles,

la mise en culture s'est accompagnée d'un processus de modernisation et de concentration de l'exploitation.

### Plaines semi-arides et arides à grande hydraulique

Cet ensemble regroupe des plaines et collines semi-arides du Maroc atlantique et méditerranéen (Oriental) à larges surfaces irriguées en grande hydraulique (GH) dont le potentiel d'irrigation est important et où la valeur des productions représente une dynamique évolutive forte.

Des Doukkala au nord jusqu'au Haouz au sud, la latitude et la continentalité nuancent les caractéristiques du climat et expliquent la sécheresse croissante. Dans ce grand domaine, existent de larges secteurs d'irrigation :

- les petits périmètres du piémont de l'Atlas (*dir*), où l'agriculture irriguée complète un système basé sur le *bour* et l'élevage transhumant ; là, l'influence de la montagne proche est perceptible, à travers le glissement des dispositifs de production et de conservation vers le rebord de la plaine ;
- la bande côtière à primeurs (*oulja*), avec un paysage fermé grâce à la présence de haies de roseaux et de talus ;
- les périmètres de la grande hydraulique des Doukkala, du Haouz-Sraghna, du Tadla et de la basse Moulouya, où l'irrigation a fondamentalement modifié le paysage, le système de production et l'économie agraire. Cet ensemble couvre 4,7 Mha, dont 53 % de SAU.

Les cultures sont variées dans ces régions irriguées, avec importance des cultures maraîchères en Doukkala, Souss et basse Moulouya, des cultures industrielles et des fourrages dans le Tadla, de l'arboriculture fruitière dans le Haouz et le Souss. L'élevage est intégré dans le système de cultures de ces régions.

#### Le cas particulier du Sahel des Abda-Doukkala

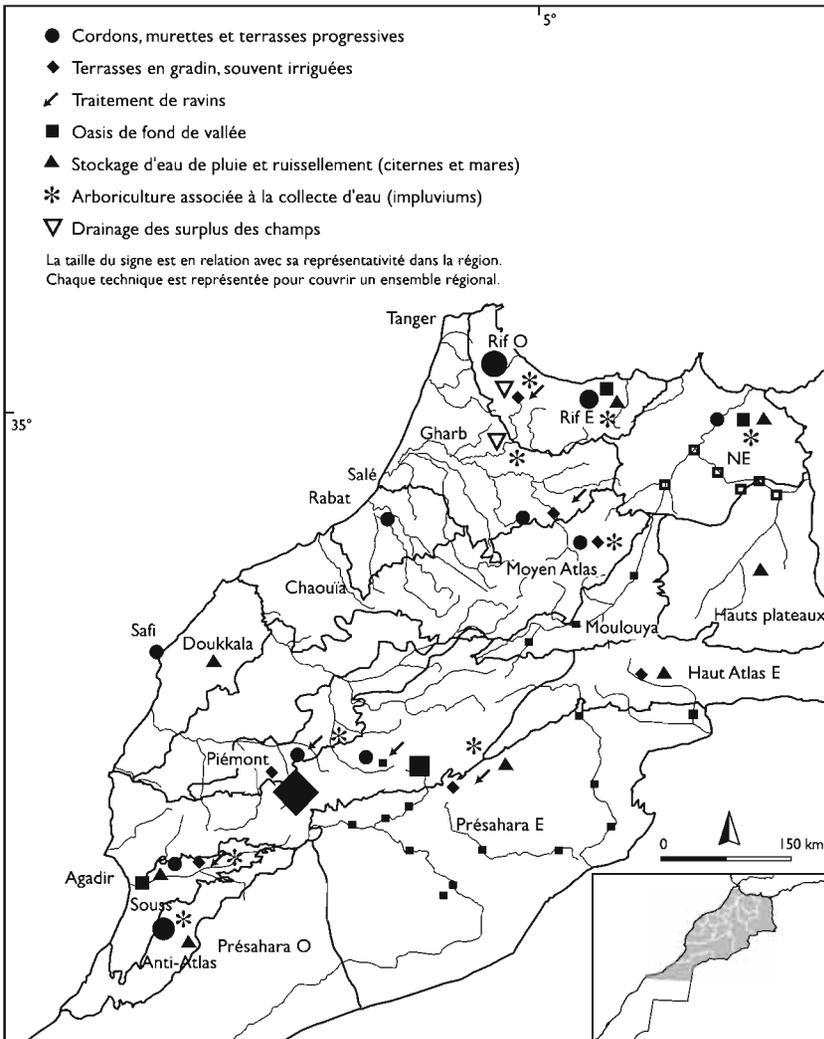
Dans cette région où les ressources en eau se limitent à l'Oum Rbia, aux *daya* recevant les eaux des oueds temporaires et à une nappe d'eau sur les piémonts et dans le corridor côtier « Sahel », à salinité souvent élevée, la paysannerie montre une très forte densité (135 hab./km<sup>2</sup>), avec prédominance des terres privées et de la petite exploitation.

La présence de la croûte calcaire et l'importance de la pierrosité expliquent les travaux d'épierrage et de ramassage des blocs, placés en limite de parcelle. Ces murettes sont très efficaces contre le ruissellement et l'érosion éolienne. Des haies vives de roseaux, de plus en plus remplacées par des roseaux morts, servent de brise-vent.

En ce qui concerne la gestion de l'eau, l'*aghdir* (fiche 10) est une excavation de 2 à 3 m de profondeur, qui retient l'eau de pluie ou de ruissellement pour l'abreuvement du troupeau. Cette technique est en recul. Les *matfia* (fiche 11) sont construites à l'aval de terrains ruisselants, sous forme de bassins ou de grande « cruche » enterrée. Elles sont de plus en plus cimentées et alimentées à partir des toits des maisons. Certaines sont même utilisées pour une petite irrigation.

## Conclusion

L'adaptation des habitants aux conditions difficiles a été à l'origine de l'application d'un certain nombre de techniques de conservation du sol, de maintien de sa fertilité et de gestion de l'eau, afin de mieux lutter contre l'érosion, avoir un meilleur usage des eaux et, au final, améliorer la production. On les trouve aussi bien dans des régions d'installation ancienne que dans des régions récemment mises en valeur, mais on observe néanmoins un parallélisme important



entre les concentrations de la population et de l'habitat et la localisation en nombre des techniques de GCES.

Les pratiques de GCES sont apparues spontanément dans différentes régions étudiées ; elles étaient souvent commandées par le besoin de gérer des milieux difficiles ; l'évolution actuelle tend souvent vers leur extension. Mais les cas d'abandon ne sont pas rares et s'expliquent par des considérations économiques, notamment l'émigration massive (Anti-Atlas, nord-est du Maroc).

Le coût de mise en place des techniques traditionnelles de GCES est élevé si on compte le temps de travail nécessaire à leur édification ; pourtant, elles sont constamment entretenues et étendues dans les régions de stabilité démographique relative. Mais jamais ces ouvrages n'auraient été réalisés si les paysans avaient essayé de comptabiliser les efforts investis. En réalité, des terres récemment achetées sont épierrées et aménagées ; ce comportement est à mettre en relation avec le prix élevé de la terre, qui justifie les pratiques de GCES et donc la masse de travail investi.

Les perspectives d'évolution future sont très difficiles à imaginer car le monde rural connaît des mutations profondes. Nous assistons actuellement à une dégradation du milieu naturel, peut-être sans précédent. Il s'agit de la dégradation du couvert végétal par des prélèvements de plus en plus importants autour des dépressions aménagées et irriguées. Il est évident que le recul de la végétation accentue le ruissellement sur les versants ce qui peut induire la destruction d'un certain nombre d'ouvrages d'une part, et, d'autre part, le tarissement de certaines sources. Or, sans l'irrigation, condition fondamentale pour une production intéressante et variée, beaucoup de ces ouvrages impressionnants n'auraient pas de raison d'être. L'avenir des techniques traditionnelles de GCES est donc en relation étroite avec l'équilibre des écosystèmes de l'unité physique en question.

De plus, nous assistons actuellement à des mutations sociales profondes. Les jeunes qui ont entamé des études, sans forcément en profiter, et qui pour la plupart sont revenus au douar, sans qualification et sans travail, n'aspirent qu'à l'émigration. Chez cette catégorie de jeunes qui n'a pas acquis le savoir-faire nécessaire, les techniques traditionnelles sont de plus en plus perçues comme archaïques. L'avenir de tout aménagement se pose donc avec acuité.

L'adaptation et la résistance des techniques traditionnelles, opposées à de nombreux cas d'échec de projets modernes, imposent de connaître ces techniques et les sociétés qui les ont secrétées pour les utiliser au mieux en les intégrant aux choix majeurs. L'amélioration de ces techniques, déjà connues et testées, assure l'intégration facile et rassurante du petit paysan, de son savoir-faire et de ses compétences dans l'opération de développement. Mais de véritables recherches pour une meilleure valorisation de ces techniques doivent être menées, proposant le coût le moins élevé possible, des systèmes productifs spécialisés pour une bonne commercialisation et des rendements élevés, grâce à des techniques de fertilisation adaptées et rationnelles sur les deux plans de la production et de l'environnement.

## Partie 3

# Améliorations des techniques traditionnelles



Dans la deuxième partie, ont été décrites et analysées les techniques traditionnelles de GCES (gestion conservatoire des eaux et du sol) au Maroc et leur répartition dans les toposéquences ou bassins versants des diverses régions agro-écologiques.

Dans cette troisième partie, sont proposées des améliorations aux techniques de LAE (lutte antiérosive). On voit que l'apport de la GCES aux parcours du bétail est loin d'être négligeable et que l'évolution de la forêt primitive se fait au bénéfice des cultures associées aux fruitiers. Le rôle des forêts couvrant les sommets n'est pas comparable à celui des arbres isolés cultivés en même temps que des cultures céréalières ou des légumineuses fourragères ou vivrières. Aussi constate-t-on, d'une part, une évolution du paysage vers des vallées irriguées couvertes d'arbres fruitiers qui, bien entretenus, protègent les terrasses et, d'autre part, des versants et sommets de plus en plus dénudés servant de parcours et d'impluvium.

# Zones de cultures : amélioration des techniques culturales traditionnelles

*Éric ROOSE*

Bien qu'on manque au Maroc d'études fouillées quantifiant les effets des techniques traditionnelles de GCES sur le ruissellement, l'érosion et les rendements des cultures, on est amené à penser que beaucoup d'entre elles sont abandonnées non pas parce qu'elles ne sont plus efficaces, mais parce que l'environnement socio-économique de la société rurale a évolué et surtout parce qu'elles exigent beaucoup de travail d'entretien et ne sont pas suffisamment valorisées. Les jeunes ruraux quittent les champs car ils sont mieux payés en ville : par conséquent, il ne reste plus assez de main-d'œuvre adulte pour entretenir ces aménagements.

Dans cet ouvrage, il ne s'agit pas seulement de faire l'inventaire des techniques traditionnelles observées sur le terrain (chap. 6), mais de les situer dans l'environnement qui leur convient (chap. 7 et 12) et surtout de valoriser l'effort fourni, de choisir des techniques moins exigeantes en main-d'œuvre et en énergie, de rationaliser l'usage des eaux d'irrigation et des fertilisants, de privilégier des systèmes de production à haute valeur ajoutée, enfin de proposer des marchés pour valoriser les produits spécifiques de la montagne ainsi que des techniques phytosanitaires adaptées pour protéger les cultures contre les maladies et nuisibles divers.

## Amélioration de la gestion des eaux

En Afrique du Nord, la majorité des aménagements de GCES de montagne semi-aride ont été conçus comme un investissement foncier permettant l'intensification de la production par l'irrigation. En effet, même si les pluies suffisent en saison froide et pluvieuse, en saison chaude, l'eau provient du ruissellement des versants, d'une source ou de l'oued à travers une mare ou une citerne régulatrice et une séguia.

La séguia traditionnelle est un fossé en terre battue qui perd beaucoup d'eau par infiltration dans le fond, par débordement au passage des ravines et par évapotranspiration à ciel ouvert. Elle exige beaucoup d'entretien sur les zones d'éboulements des versants. Actuellement, pour économiser l'eau, on préconise donc de cimenter au moins les portions les plus fragiles sur les versants raides ou, mieux encore, on les remplace par des tuyaux souples permettant une irrigation sous pression par aspersion ou au goutte à goutte, beaucoup plus économique.

L'irrigation traditionnelle à la raie ou à la planche exige peu de matériel, mais beaucoup de main-d'œuvre : elle est peu précise sur la quantité d'eau infiltrée et son extension latérale. On la remplace souvent par l'irrigation au microgicleur sous basse pression, surtout si la parcelle n'est pas planée.

Le tour d'eau et la durée de l'irrigation sont définis par un conseil des sages en début de saison. La fréquence et la durée de l'irrigation dépendent du nombre d'ayants droit, de la surface à irriguer, de la demande des cultures et du climat. À Afkiren dans le Rif occidental, le tour d'eau est passé de 5 à 25 jours en 20 ans à mesure que la population du village a augmenté : l'eau a produit beaucoup de biomasse, mais assez peu de grains de maïs ! Le temps d'irrigation est resté de 6 heures, mais la fréquence du tour d'eau est trop réduite pour que la production de graines en profite ! Pour que cette eau soit utile à la production, il faut l'adapter aux besoins des plantes, qui peuvent résister à la sécheresse pendant 3 à 5 jours pour les cultures exigeantes en eau comme le maïs, 7 à 10 jours pour le sorgho, 10 à 12 jours pour les arbres fruitiers en fonction de la réserve en eau utile et de la profondeur du sol. Inutile de noyer le sol par des irrigations trop abondantes : le drainage risque d'entraîner les engrais très solubles comme l'azote et la potasse. L'évapotranspiration réelle des plantes varie de 1 mm par temps gris ou froid à plus de 10 mm par temps ensoleillé, fortes chaleurs et vents secs du désert.

L'aménagement de terrasses, cordons de pierres et autres obstacles à l'écoulement direct du ruissellement sur les versants doit permettre d'augmenter la densité des arbres : par exemple un olivier tous les 5 m le long des talus, même densité 5 m plus haut mais en quinconce, puis on écarte les lignes de plantation de 20 m pour permettre la croissance de cultures sarclées (céréales, légumineuses, fourrages) (ROOSE, 2002). L'installation de l'irrigation au goutte à goutte demande un peu d'investissement en matériel au départ (pression 1 bar, une citerne ou des fûts de 200 litres, des tuyaux en plastique, un gicleur par arbre et une eau de bonne qualité, sans suspension et pas trop chargée en calcaire sans

quoi les goutteurs se bouchent). C'est le moyen le plus économique en eau car il réduit l'évaporation et la concurrence des adventices, mais il faut pouvoir fournir de l'eau en continu. Le système combinant les cuvettes reliées par un tube plastique et un gicleur à débit réglable est plus rustique et moins fragile.

En zone semi-aride, le ruissellement capté le long des pistes, sur les toits ou sur des versants rocheux ou tassés permet de stocker dans le sol une réserve d'eau importante. Mais cette irrigation complémentaire a lieu durant l'averse sur un sol déjà gorgé d'eau par la pluie : l'efficacité de ce complément d'eau de surface localisé dépend de la capacité d'infiltration de la surface du sol (encroûtement de surface du sol), du volume de sol qui va pouvoir le stocker et de l'importance du réseau racinaire. Enfin, pour bien profiter de cet apport complémentaire très localisé, il faut adapter la densité de plantation : par exemple, planter des oliviers dans des cuvettes à la distance de 5 x 5 m près du talus ou du cordon de pierres alors que, plus haut dans le champ, l'écartement à 5 x 20 est nécessaire pour permettre au réseau racinaire de trouver assez d'eau pour produire du fruit.

Il faut aussi choisir le type de culture en fonction des besoins physiologiques des plantes, de leur résistance à la sécheresse et du volume d'eau stocké dans le sol : on plantera du maïs ou des pommiers dans le sol épais situé près du bourrelet ou du cordon pierreux, et des céréales moins exigeantes sur le restant du versant.

## Amélioration de la gestion de la biomasse : la fertilisation organique

La majorité des paysans sont trop pauvres pour acheter assez d'engrais minéraux pour intensifier la productivité de toutes leurs terres. Traditionnellement, pour maintenir la productivité des sols, ils ne disposent que de la biomasse produite sur leurs champs, sur les jachères, sur les bords des routes et les forêts que parcourent leurs troupeaux. La DRS et la CES ne sont d'aucun secours pour améliorer la fertilité des sols dégradés. Par contre, la GCES attache beaucoup d'importance à l'augmentation de la production de la biomasse et à la gestion judicieuse de toutes les matières organiques disponibles pour restituer rapidement au sol les nutriments indispensables à la production végétale (comme cela se passe sous forêt).

Dans la forêt méditerranéenne, 2 à 6 t/ha/an de litière sont restituées au sol chaque année. Dans les savanes ou les steppes, 1 à 3 t/ha/an de racines et de feuilles retournent au sol, à moins que le feu ou le bétail ne les détruisent. Après défrichage, brûlis de la végétation naturelle et mise en culture, le stock de matières organiques du sol diminue de 50 % en 5 à 10 ans en fonction du travail du sol et du mode de gestion des résidus organiques : enfouissement direct, paillage en surface, transformation en fumier ou compost.

## Sous culture

La biomasse disponible dans les champs cultivés n'est pas négligeable :

- la culture de céréales ou de tournesol peut laisser 1 à 4 t/ha de paille, mais celle-ci est plutôt utilisée pour nourrir le bétail ;
- les légumineuses (pois, pois chiches, lentilles, fèves, haricots, etc.) ne laissent au sol que peu de résidus (< 1 t/ha de racines et tiges), mais elles sont riches en N + P + Ca ;
- la canne à sucre peut laisser plus de 5 tonnes de feuilles et tiges ;
- les jachères courtes (quelques mois entre les cycles culturaux) et les adventices fournissent 0,5 à 2 t/ha de matière verte qui servent généralement au bétail ;
- les cultures fourragères (légumineuses et céréales mélangées) peuvent fournir de 15 à 30 t/ha/an de matière verte et laisser dans le sol 0,5 à 2 t/ha de racines.

## L'agroforesterie

Cette combinaison peut aussi augmenter très nettement la production de biomasse des champs cultivés. Traditionnellement, lors du défrichement des terres, certains arbres utiles sont préservés : par exemple des frênes fourragers, des olivettes qui seront greffées, des chênes verts fourragers, des palmiers et divers fruitiers ou arbres dont on tire des médicaments. Il est préconisé de planter des oliviers tous les 5 m sur la ligne et 20 m entre lignes pour produire du bois (de chauffe ou d'artisanat), des brindilles fourragères pour nourrir les caprins et des feuilles en quantité suffisante pour maintenir le stock de carbone du champ cultivé à 80 % de celui de la forêt primitive de chêne-liège (SABIR et ROOSE, 2004). Les haies vives de *Leucaena*, *Cassia*, *Mimosa* ou *Acacia* destinées à cloisonner les propriétés et protéger les jardins du bétail sont aussi susceptibles de fixer l'azote de l'air, remonter des nutriments perdus dans les eaux de drainage profond et de les disperser avec leurs feuilles (ou les fèces des animaux qui les broutent). Cependant, ces haies vives ou les arbres plantés ou laissés dans les champs peuvent créer des problèmes de compétition avec la culture pour la lumière, l'eau et les nutriments (MINAE *et al.*, 1998) : il faut prévoir les outils adaptés à leur taille régulière – au début de chaque culture et 2 à 4 fois l'an – et valoriser les jeunes rameaux comme fourrage ou comme paillage des parcelles mal couvertes. En Afrique, on manque encore d'expérience pour limiter cette compétition par le choix des espèces associées, par l'orientation des haies et par la taille des branches et des racines (labour profond ou passage d'un coutre à 50 cm des jeunes arbres).

## Le brûlis

Ce mode de gestion de la biomasse peut modifier considérablement la fertilité du sol mais aussi présenter des inconvénients.

Le brûlis est un système traditionnel de préparation des terres très répandu en Afrique pour améliorer la valeur des pâturages ou détruire la biomasse avant la mise en culture. Le feu provoque une minéralisation immédiate des nutriments

insérés dans la biomasse, augmente le pH de 1 à 2 unités (ce qui peut s'avérer indispensable sur les sols très acides à toxicité aluminique), mais gaspille le carbone et l'azote, rejetés brutalement à plus de 90 % dans l'atmosphère (gaz à effet de serre, donc double perte). À faible fréquence, le feu peut être utile pour réduire les pestes végétales et animales, mais, trop souvent répété, il entraîne l'appauvrissement du sol mal protégé contre l'énergie des pluies et réduit la biodiversité, en particulier le nombre de jeunes arbres (ROOSE, 1978). Les forestiers ont beaucoup insisté sur le rôle négatif du feu dans la dégradation de la couverture végétale et du sol, dans la destruction des litières et sur l'érosion des cendres et poussières après les feux de brousse. Mais récemment, des chercheurs ont découvert que le feu est probablement un facteur indispensable à l'évolution et la restauration des écosystèmes forestiers méditerranéens.

En Asie et en Afrique, le feu est une stratégie complexe permettant de transformer le milieu naturel en systèmes agropastoraux plus utiles (LEVANG, 1984). Sans les feux, une bonne partie des savanes africaines serait actuellement sous forêt sèche, sans herbe pour nourrir le bétail. Le brûlis est souvent le seul moyen à disposition des paysans pauvres pour défricher la forêt, réduire la pression des nuisibles, améliorer le phosphore assimilable, les cations, le pH et réduire la toxicité aluminique des sols très acides (JURION et HENRY, 1967 ; MOREAU, 1993 ; ROOSE et BARTHÈS, 2001). Sur les hautes terres de Madagascar, le feu sur les collines favorise le transfert du ruissellement et des cendres vers les plaines rizicoles, ce qui permet de planter le riz beaucoup plus tôt et de régénérer la qualité des herbes pour le bétail. Les stratégies utilisant le feu pour régénérer la fertilité des sols mériteraient d'être étudiées en tenant compte des situations locales de valorisation des terres. Mais, généralement, le feu doit être limité pour préserver la biomasse apte à nourrir l'humus du sol.

Par ailleurs, les cendres des foyers familiaux, incorporées dans le compost, seront une source appréciable de phosphore, de potassium et de bases pour les cultures.

## **L'élevage et la fumure organique**

Cette association est utilisée intensément quand la pression démographique est élevée sur les terres.

### *Le fumier*

Le troupeau sert de caisse d'épargne à toute la société rurale. Il produit le lait et la viande ainsi que le fumier. Au Maroc et en montagne méditerranéenne, on accorde peu de soin à la production d'un fumier de qualité : la litière et les déchets de l'exploitation sont généralement entassés près de l'étable, au bord d'un ravin ensoleillé. Comme ces fèces n'ont pas fermenté suffisamment tout en perdant 70 % de leur humidité, ce fumier est moins lourd à déplacer vers les champs de case ou de proximité, mais il aura aussi perdu une bonne partie de l'azote, du carbone et de la potasse. De plus, il véhicule des maladies, des graines d'adventices, des germes contaminant le sol. Les fumiers de bonne qualité sont rares en Afrique, mais leur influence favorable sur les rendements, leur restitution progressive

des nutriments, leur effet positif sur le pH et les autres caractéristiques physiques du sol sont bien connues (FAO, 1975 ; SHAXSON, 1999). Cependant, 40 à 60 % du carbone et des nutriments des végétaux pâturés sont piégés par les animaux (dans la viande et les os) ou évacués dans l'air sous forme gazeuse ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ) et ne retournent donc pas dans le sol. En outre, la biomasse disponible pour fabriquer le fumier ne fournit que 10 à 30 % de la fumure organique qu'il serait nécessaire d'épandre pour maintenir le taux de carbone du sol.

Le transport du fumier de la ferme aux champs pose de gros problèmes car il s'agit de quantités importantes (1 à 20 t/ha) à déplacer sur des terrains de montagne en forte pente où le réseau routier n'est pas très dense. Le transport sur les sentiers muletiers restreint forcément l'usage de la fumure organique aux champs voisins des étables et aux petites parcelles maraîchères irriguées exploitées le plus intensément. Pour contourner ce problème, les paysans ont développé des « contrats de fumure » qui permettent aux éleveurs (nomades) d'installer leur famille et leur troupeau sur les champs après la récolte et de faire pâturer les résidus de culture (fanés et adventices) : en contrepartie, les éleveurs s'engagent à garder les troupeaux de nuit sur les champs à fumer. Selon les conditions de marché et les coutumes, soit l'éleveur paye une petite somme d'argent en fonction du nombre de bêtes et de l'abondance de la biomasse disponible, soit c'est l'agriculteur qui offre des pains de sucre ou de sel à l'éleveur pour obtenir que son troupeau reste assez longtemps de nuit pour fumer sa terre épuisée. L'intérêt de cette tradition, c'est que les animaux rapportent sur le champ cultivé les résidus de la biomasse collectée ailleurs sur des terres incultes, bords des chemins, forêts et autres parcours. C'est le bétail lui-même qui assure le transport et la concentration de la biomasse sous une forme enrichie en nutriments. Il reste à l'agriculteur à enfouir ces résidus organiques déjà bien enrichis en azote et faciles à décomposer.

### *Le compost*

Le compost est « le fumier du pauvre » qui n'a pas de bétail (FAO, 1980 et 1988). Certaines populations des montagnes maghrébines ajoutent les résidus de la maison (balayures, épiluchures, vêtements) sur le tas de fumier, mais il est très rare d'observer une vraie fosse compostière remplie des résidus de récolte, des cendres et d'autres déchets organiques. Avec les pluies abondantes en hiver (période froide), les nutriments solubles risquent d'être lessivés. Avec la sécheresse en été (trop chaud), la fermentation se fait difficilement si l'on n'apporte pas un complément d'eau déjà si rare à cette époque. Le taux de carbone des pailles est équivalent à près de 60 fois celui de l'azote tandis que celui de l'humus du sol est de l'ordre de 12. Pour faire un bon compost ( $\text{C/N} = 20$ ), les microbes vont donc devoir consommer toute la biomasse déposée dans la compostière en émettant les 2/3 transformés en gaz à effets de serre (émission de  $\text{CO}_2$ ). On peut améliorer ce mauvais rendement en ajoutant au compost de l'azote (apport des fanés de légumineuse, de purin, des fèces ou de l'urée). De plus, il faut arroser et aérer la masse végétale pour favoriser une bonne fermentation aérobie : il est bon de laisser quelques animaux sur le tas de compost pour le remuer et l'humecter, l'enrichir

de leurs urines. Alors que le fumier est un sous-produit naturel de l'élevage, qui peut être vendu dans les zones de maraîchage, le compost perd autant de C, N et bases que le fumier, mais il ne produit évidemment pas de viande tout en exigeant beaucoup de travail : double transport, collecte d'un gros volume de végétaux qu'il faut fragmenter (< 5 cm), aérer et humecter, enrichir en azote, phosphates, cendres, argile et fèces. Finalement, après 6 à 20 mois de fermentation aérobie, il ne donne qu'un produit peu abondant (< 30 % de la biomasse initiale) et souvent médiocre (gazéification du C et N, lixiviation des bases et azote), riche en graines d'adventices si la fermentation n'a pas été assez chaude (> 70 °C).

Certes, l'apport de quelques tonnes de fumier ou de compost par hectare ralentit l'appauvrissement des terres cultivées, mais il est très difficile d'en produire suffisamment et de compenser les exportations de nutriments par les récoltes (grains et pailles) : un complément d'engrais minéraux reste nécessaire si on souhaite intensifier la production.

### *Possibilité d'amélioration des composts*

Pour obtenir un compost de qualité, il faut le faire mûrir dans une ambiance forestière, dans une fosse à l'abri du vent, du soleil et des pluies excessives entre deux haies d'arbres fruitiers/fourragers. Pour augmenter la quantité (jusqu'à 10 t par petite ferme) et la qualité du compost, on recommande de creuser deux fosses près de l'étable à l'abri d'un bouquet d'arbres (fruitiers) et d'y accumuler tous les résidus du foyer familial, la litière des animaux, les résidus de culture, le purin et les eaux usées (riches en azote et potasse). Chaque année, lors de l'évacuation du compost bien décomposé vers les champs, on déplace les déchets trop frais dans la deuxième fosse. On y mélange tous les résidus organiques (sauf les plastiques) issus de l'étable et du foyer familial. Même les déjections humaines peuvent être recyclées avantageusement, soit dans le compost, soit dans des fosses qui, à moitié pleines, seront rebouchées de terre de surface et plantées d'arbres fruitiers pour éviter tout risque de contamination (méthode traditionnelle dans les hautes terres du Rwanda). Rappelons qu'en Chine et en Inde, les déjections humaines sont récoltées précieusement et mises en valeur pour produire du biogaz et fertiliser les cultures (FAO, 1988).

### **Les jachères**

La jachère longue traditionnelle est très efficace pour restaurer les propriétés chimiques, physiques et biologiques de la couche humifère du sol (GREENLAND et NYE, 1959 ; FLORET et SERPANTIÉ, 1991), mais généralement la pression démographique empêche d'attendre 10 à 50 ans entre deux cycles culturaux. L'extension des terres cultivées est dorénavant difficile en de nombreuses régions d'Afrique où moins de 30 % des terres sont cultivables.

Trois solutions semblent techniquement possibles pour améliorer l'efficacité des jachères : la jachère arborée (buissons de légumineuses) combinée avec les cultures intercalaires (HARMAND, 1998) ; des jachères courtes de mauvaises herbes naturelles gérées avec des herbicides pour produire un mulch indispensable

pour le système de semis direct. Enfin des jachères courtes de légumineuses qui sont au stade d'extension en Amérique latine et au stade expérimental en Afrique (AZONTONDE, 1993 ; SANCHEZ, 1998). Au Maghreb, les jachères sont broutées par les troupeaux et durent rarement plus de 2 à 5 ans, trop peu pour restaurer complètement les propriétés physiques du sol dégradé. Les jachères de légumineuses sont rares et remplacées par des cultures fourragères mixtes (trèfle ou luzerne plus orge ou avoine).

## Amélioration de la gestion des nutriments minéraux

Nous avons déjà abordé la gestion des nutriments dans le paragraphe précédent car la minéralisation des litières et racines contribue dans une large mesure à l'entretien et à la restauration de la fertilité chimique des sols (ex. : forêt, jachère, fumier, compost, enfouissement des résidus de culture et adventices). Mais le cycle des nutriments reste à compléter pour trois raisons :

1. on ne dispose jamais d'assez de biomasse à enfouir (10 à 30 % des besoins), surtout en zone semi-aride où elle est consommée par le bétail ;
2. si la roche mère est carencée en certains éléments (le phosphore et divers oligoéléments par exemple), le sol et la biomasse le seront aussi ;
3. même si les minéraux sont présents dans le sol, ils ne le sont pas toujours sous une forme chimique utilisable par les plantes ou assimilables à une vitesse suffisante par rapport aux besoins instantanés des plantes. Même si on craint les inconvénients des engrais chimiques (acidification du sol, dégradation de la structure, pollution des nappes par les eaux de drainage en cas de mauvaise utilisation), il faudra donc se résoudre à injecter dans le cycle des nutriments des compléments minéraux et des oligo-éléments assimilables par les plantes pour optimiser la productivité de l'eau, des sols et du travail.

Ces compléments minéraux devront être fractionnés durant la saison culturale en fonction des besoins physiologiques des plantes, de la solubilisation des formes d'engrais et des risques de drainage ou d'érosion : par exemple, 1/3 de l'azote à la levée, 1/3 à la montaison des céréales et 1/3 à la floraison. C'est ainsi que le paysan ne décidera d'ajouter les engrais que s'il est à peu près certain d'avoir assez de pluie pour arriver au bout du cycle. En année sèche, on ne mettra pas beaucoup d'engrais azoté, sous peine de produire beaucoup de feuillage et de n'avoir plus assez d'eau à opposer à l'évapotranspiration au stade de remplissage des grains. Généralement, on répand à la volée les engrais de fond (peu sensibles au drainage ou à l'érosion car bien fixés aux argiles, à la MO ou au  $\text{CaCO}_3$  ou  $\text{R}_2\text{O}_3$ ) juste avant le labour : même s'il pleut beaucoup, les phosphates de calcium ou d'alumine ne seront pas emportés par le drainage.

En outre, ces dernières années a été mise au point la méthode de l'agriculture de précision, par laquelle, pour valoriser au mieux le peu d'engrais dont on dispose, on distribue tous les engrais dans la ligne de plantation, à proximité immédiate des racines des plantes cultivées après une grosse averse (sinon on brûlerait les racines). Cela réduit la concurrence des mauvaises herbes. On utilise aussi des engrais solubles dans l'eau d'irrigation ou en pulvérisation directe sur les feuilles : on raccourcit ainsi le temps de transit des engrais par le sol et les racines jusqu'aux feuilles, véritables usines de transformation et de fixation du CO<sub>2</sub> de l'air.

Comment estimer la dose optimale de complément d'engrais minéraux ?

En principe, en dressant le bilan d'une rotation sur plusieurs années :

$D$  (stock de chaque nutriment) = Apports (engrais, biomasse, fumier, pluies)  
- Pertes (exportation par les récoltes, l'érosion, le drainage, la gazéification)  
ou, en simplifiant : Apport d'engrais = Exportations + Pertes ± variations de stock du sol.

En pratique, on compare l'évolution de la production végétale et des stocks du sol agricole sur les parcelles suivantes :

- témoin (T) : culture sur champs non fertilisés ;
- fertilisation optimale (FO) en vue d'une production optimale en fonction du climat et du type de culture ;
- fertilisation vulgarisée (FV) : fertilisation raisonnable (0,5 FO) en fonction des coûts et des risques ;
- témoin + MO = culture après épandage de MO (10 t/ha de fumier, compost, résidus de culture) ;
- MO + FV : épandage de MO disponible et d'une dose raisonnée d'engrais.

En fonction de la pluviosité, on compare l'évolution des stocks du sol et les rendements en fonction des pluies utiles. Si on n'a pas les moyens de disposer de parcelles, on peut évaluer la dose optimale à rajouter aux MO en fonction de l'évolution des rendements et du stock de minéraux dans des pots de 2 litres de terre (méthode des vases de végétation de CHAMINADE, 1972).

En réalité, il n'est pas rentable de corriger les carences minérales du sol (ROOSE, 1967), car la plupart des sols tropicaux à argile kaolinique retiennent mal les engrais qui sont facilement lessivés dans les eaux de drainage et de ruissellement. Par contre, il faut s'efforcer de nourrir au mieux les plantes cultivées en fonction de leurs besoins physiologiques, des risques de perte par drainage et érosion. Il faut donc adapter la fumure complémentaire minérale aux apports par les MO, aux besoins des plantes et à la pluviosité saisonnière :

- si les pluies sont précoces ou normales, on épand au sol les MO + engrais de fond (P) et la fumure de démarrage (0,3 N + 0,5 K) avant le labour. Si les pluies se maintiennent, on ajoute au deuxième sarclage (45<sup>e</sup> jour) 0,3 N + 0,5 K et finalement à la floraison (0,3 N-urée) ;
- si les pluies sont tardives et insuffisantes, on n'enfouit que les fumures de fond et de démarrage, tant que les pluies ou l'irrigation n'auront pas mouillé plus de 30 à 50 cm de sol.

## Amélioration du choix des cultures

Tant que les terrasses ne produiront que des céréales pour assurer la survie et l'autonomie des paysans de montagne, on ne pourra pas valoriser le travail nécessaire pour leur mise en place et leur entretien : on ne peut rivaliser avec les cultures qui en plaine peuvent produire cinq à dix fois plus. Pour valoriser ces améliorations foncières, il faut choisir des cultures adaptées aux microclimats de montagne, aux besoins des marchés régionaux, aux talents et à la disponibilité de la main-d'œuvre locale.

Par ailleurs, l'apport d'eau et de nutriments permet la croissance accélérée d'un nombre plus élevé de plantes si l'ensoleillement est suffisant (ce qui n'est pas toujours le cas en montagne où l'on observe beaucoup de brumes). On peut donc envisager des cultures intercalaires d'arbustes fruitiers (oliviers, amandiers mais aussi pommiers, poiriers, cerisiers, noyers) et de légumes qui couvrent le sol à des hauteurs et des époques différentes (légumes secs, oignons, artichauts, choux, etc.) et dont la production se vend beaucoup plus cher que le blé. Lorsque les arbres sont grands, on peut les tailler ou planter un sous-étage de trèfles ou de luzernes fourragères qui tolèrent plus l'ombrage de la canopée. De plus, la combinaison de produits animaux (lait, fromages, viande fumée) et de fruits qui préfèrent les conditions des montagnes à celle des plaines (pommiers, cerisiers, pruniers, noyers et autres fruits de montagne) devrait permettre de rentabiliser les exploitations et de préserver ce fantastique patrimoine que constituent ces paysages de terrasses et murettes de pierres.

Le développement de produits de haute qualité transformés localement devrait donner lieu à la reconnaissance de crus et certifications de qualité (AOC), mieux rémunérés.

## L'arboriculture fruitière en montagne

(P.-E. Lauri)

L'arbre fruitier fait partie intégrante du paysage des montagnes marocaines, où il est souvent cultivé en terrasse. Associé à des cultures intercalaires plus basses occupant l'inter-rang, il permet d'optimiser l'occupation de l'espace et contribue alors à la mise au point de systèmes de productions pluri-espèces susceptibles de générer des revenus agricoles substantiels. Par ailleurs, les fortes différences de températures jour-nuit et la qualité du rayonnement lumineux propre aux zones de montagne sont des facteurs positifs pour l'élaboration de fruits de qualité. Nous précisons tout d'abord quelques éléments généraux de la gestion du verger fruitier en zone de montagne. Puis nous détaillerons les exemples de 4 espèces : pommier, cerisier, noyer et olivier.

## Éléments généraux sur la gestion d'un verger en zone de montagne

### *L'entretien de l'inter-rang*

La plantation d'arbres vigoureux avec un espacement supérieur à 5 m entre les rangs permet aussi la culture de légumes ou d'autres plantes annuelles qui apporteront un complément de revenus avant la récolte des fruits. Le choix d'un inter-rang planté ne devra se faire qu'à partir de la deuxième année afin de ne pas pénaliser la croissance des jeunes arbres. Par ailleurs, le choix de ces plantes annuelles pourra inclure des plantes légumineuses qui enrichissent le sol en azote, mais devra tenir compte de l'ombrage de l'inter-rang progressivement plus important à mesure que le verger vieillit.

### *L'irrigation*

Le besoin en eau de l'arbre peut être estimé visuellement (ex. flétrissement des feuilles). Cette méthode ne permet toutefois pas d'anticiper la réserve en eau du sol. On utilise pour cela le suivi tensiométrique qui donne la disponibilité en eau dans le sol (sondes de type Watermark™). Celle-ci est optimale pour des valeurs comprises entre -7 et -12 cbars. En dessous de -50 cbars, l'arbre marque un déficit important en eau (flétrissement marqué des feuilles). On dispose en général les sondes à 25 et 50 cm de profondeur afin de couvrir les horizons où se trouve le plus grand volume racinaire. Une méthode d'utilisation plus récente en verger est la chambre à pression qui détermine finement l'état hydrique d'un organe végétal, feuille ou tige. Ces méthodes permettent un pilotage de l'apport d'eau. Celui-ci peut se faire par goutte-à-goutte. Ce système est idéal pour une bonne économie de l'eau, mais demande un investissement important en matériel et ne convient pas en cas de plantations d'annuelles dans l'inter-rang, car il concentre l'apport d'eau uniquement sur la sphère racinaire de l'arbre. Une méthode plus classique et moins coûteuse consiste à irriguer par aspersion sous frondaison.

### *La fertilisation*

Celle-ci est bien entendu dépendante de la fertilité naturelle du sol et du tonnage récolté. Une bonne fertilisation ne peut donc se faire que basée sur une analyse pédologique préalable. Le tableau 3 donne à titre indicatif les besoins pour un verger de pommiers ayant un rendement de 60 t/ha. La règle générale veut que les apports de phosphore et de potassium soient égaux respectivement à 0,6 et 1,25 fois celui de l'azote.

Tableau 3  
Les besoins du pommier en NKP

	Pré-débourrement	Fin avril	Fin mai	Total annuel
N	20	30	30	80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		25	25	50
K <sub>2</sub> O		50	50	100

Source : d'après communication personnelle de Xavier Crété (CEHM, France)

### *Gestion raisonnée des maladies et des insectes nuisibles*

Celle-ci demande un contrôle régulier, par l'observation des feuilles et des fruits, de l'état d'infection (par les maladies) et d'infestation (par les insectes) du verger. On privilégiera les méthodes préventives et, en cas d'attaques déclarées, les méthodes de lutte biologique et biotechnique.

Les méthodes préventives consistent à enlever systématiquement les fruits tombés à terre (ex. : foyers de carpocapse, *Cydia pomonella*, pour le pommier et le noyer) ou les organes végétaux (feuilles et bois morts), foyers potentiels de maladies bactériennes (ex. : feu bactérien, *Erwinia amylovora*, pour le pommier). On veillera également à protéger les plaies de taille, par lesquelles peuvent pénétrer des bactéries (ex. : chancre bactérien, *Pseudomonas syringae*, pour le cerisier). Les traitements préventifs classiques et aisément accessibles sont les épandages de cuivre à l'automne, sous forme de bouillie bordelaise par exemple, essentiellement efficaces contre les bactéries (bactériostatiques).

Les méthodes curatives biologiques utilisent les ennemis naturels des bio-agresseurs appelés aussi auxiliaires, ou tout autre moyen non chimique.

L'importance relative des bio-agresseurs varie selon la zone géographique considérée, son climat et son altitude. Il y a donc lieu d'adapter les recommandations trouvées dans la littérature au contexte de l'Atlas marocain.

## **Le pommier**

### *Biologie du pommier et implications agronomiques*

Le pommier appartient à la famille des Rosacées, genre *Malus*. Ce genre comprend environ 25 espèces originaires d'Asie et d'Europe. Le nom latin est *Malus domestica*.

Les fleurs du pommier sont regroupées en inflorescences. Elles contiennent des organes mâles et femelles. Toutefois, l'espèce nécessite le plus souvent une fécondation croisée pour produire un fruit. On veillera donc à mélanger des variétés différentes dans une même parcelle ou à disposer des arbres pollinisateurs (ex. : *Malus floribonda*) en s'assurant de l'inter-fertilité entre variétés et pollinisateurs. La proportion d'arbres pollinisateurs dans le verger varie entre 5 et 10 %. L'espèce étant entomophile (pollinisation par des insectes, abeilles notamment), il est également nécessaire de vérifier la présence de ces insectes et de favoriser leur bonne circulation dans le verger.

On a montré, à partir des années 1950 à l'Inra de Bordeaux, que les variétés de pommier exprimaient une large variabilité de forme d'arbres et de comportement fruitier. Quatre types d'architecture d'arbre ont été décrits. Le type I comprend les variétés de type colonnaire, caractérisées par un tronc érigé et quelques rares branches charpentières portant des rameaux à fruits courts et nombreux (*spurs* en anglais ; 1 à 2 cm de croissance par an). On parle de variétés à fructification latérale. À l'opposé du type I, les variétés du type IV sont caractérisées par un port retombant et une fructification terminale : les fruits sont en majorité portés à l'extrémité de rameaux de longueur moyenne (10 à

30 cm). Les variétés commerciales appartiennent généralement aux types intermédiaires : II (ex. : Reine des Reinettes, Starkrimson ; Oregon Spur), III (ex. : Golden Delicious, Braeburn, Gala) et IV (ex. : Granny Smith, Rome Beauty, Red Winter). Ces architectures d'arbre sont liées à des comportements agronomiques contrastés : les variétés du type I alternent en production tandis que les variétés du type IV sont naturellement plus régulières. Les variétés des types II et III expriment des architectures d'arbre et des aptitudes à la régularité de production intermédiaires. La régularité de la fructification est corrélée avec la densité de ramification. En effet, les variétés de type I ont une forte densité de ramification latérale le long des branches principales ; ces ramifications restent courtes et ne permettent pas une organogenèse florale suffisante année après année. Les variétés de type IV sont caractérisées par une plus faible densité de ramification latérale qui résulte de 2 phénomènes : la latence des bourgeons (un bourgeon latent ne se développe qu'à la faveur d'une taille par exemple) et la mortalité des ramifications. Ce deuxième phénomène est appelé « extinction » et caractérise particulièrement les variétés de type IV.

On retiendra donc que, selon la variété, le comportement agronomique du pommier varie entre 2 grandes stratégies : des variétés avec des ramifications nombreuses et courtes et une tendance naturelle à l'alternance de production ou, à l'opposé, des variétés avec des ramifications peu nombreuses et plus longues. Ces dernières variétés ont un bon retour à fruit.

Ces caractères peuvent être modulés par différents facteurs dont le porte-greffe. Par exemple, les pommiers de type I et II ont en général une production plus régulière sur porte-greffe vigoureux stimulant la croissance que sur porte-greffe faible.

### *Conséquences pour le choix du matériel végétal et la conduite de l'arbre*

Ces caractéristiques biologiques de l'arbre indiquent trois règles générales pour optimiser la culture du pommier en zone de montagne.

*Règle 1 : le choix de la variété est primordial.*

Il est bien entendu conditionné, à la base, par les objectifs économiques liés aux circuits commerciaux envisagés (couleur et aspect du fruit, aptitude à la conservation). Il devra également privilégier les variétés naturellement rustiques c'est-à-dire intégrant au moins les deux caractéristiques suivantes : d'une part, la variété aura une résistance ou une tolérance naturelle aux principaux maladies (tavelure, *Venturia inaequalis* ; oïdium, *Podosphaera leucotricha*) et ravageurs (puceron cendré, *Dysaphis plantaginea*) du pommier, afin de réduire l'utilisation des pesticides ; d'autre part, la variété sera du type architectural III ou IV, afin d'offrir une plus grande facilité de conduite que les variétés de type I et II.

*Règle 2 : quelle que soit la variété, le choix du porte-greffe est fondamental.*

En effet, en verger haute densité (en moyenne 2 000 arbres/ha ; distances moyennes de plantation : 4 m x 1,25 m), le plus souvent en plaine ou en

coteaux, le porte-greffe usuel est du type M9 : Pajam® 1 et M9 NAKB ou, légèrement plus vigoureux, Pajam® 2 et M9 EMLA. Cette gamme de vigueur permet une entrée en production rapide mais demande un palissage (vertical ou en V) solide qui évite l'affaissement de l'arbre sous le poids des fruits et permet une meilleure résistance au vent. Ces porte-greffes sont peu adaptés à la culture en zone de montagne avec des sols généralement pauvres, des apports d'eau faibles et (ou) irréguliers et un palissage inexistant ou réduit à un piquet ne maintenant l'arbre que pendant les 2-3 premières années suivant la plantation.

Dans un contexte de pommier cultivé en montagne et en petites parcelles, le palissage des arbres est coûteux à mettre en place, ce qui rend nécessaire l'utilisation de porte-greffes vigoureux afin que l'arbre soit auto-portant. L'arbre est donc greffé sur Supporter® 4 PI 80, MM106 ou M7, ou peut même être planté sur ces propres racines. Ces arbres plus vigoureux demandent des distances de plantation plus importantes, en moyenne 5 m x 2 m. La densité de plantation est alors d'environ 1 000 arbres/ha. Dans tous les cas, le système racinaire puissant permet un ancrage de l'arbre plus profond exploitant un volume de sol important : l'alimentation en éléments nutritifs et en eau est donc plus efficace ce qui est intéressant en situation d'irrigation irrégulière et (ou) espacée. Par ailleurs, en comparaison avec les porte-greffes faibles, les systèmes racinaires vigoureux confèrent à l'arbre un développement végétatif plus rapide et plus volumineux, et un cumul de production par arbre plus élevé au bout de quelques années. Le rendement par hectare peut quant à lui être inférieur à un verger de haute densité. Un aspect négatif de l'utilisation du porte-greffe vigoureux reste le retard d'entrée en production. Il existe toutefois des interactions entre variété et porte-greffe et certaines variétés ont une entrée en production relativement rapide sur un système racinaire vigoureux.

*Règle 3 : le bon équilibre dans la conduite (taille, arcure) de l'arbre.*

On veillera à accélérer l'entrée en production de l'arbre jeune puis à maintenir un bon équilibre entre croissance végétative et fructification. Les tailles classiques consistent en un rajeunissement régulier des branches. On parle de tailles de raccourcissement ou de renouvellement. Ce faisant, ces tailles peuvent stimuler inutilement la croissance végétative, notamment sur système racinaire vigoureux, et retardent la mise à fleur. La rapidité d'entrée en production et la régularité de production peuvent être améliorées en laissant l'arbre occuper le plus rapidement l'espace, en privilégiant selon le volume disponible un seul tronc (type « axe ») ou une forme en volume (type « gobelet ») et en veillant à une bonne répartition des futures branches fruitières autour du tronc ou des axes charpentiers. Sur arbre jeune, les seules opérations à réaliser sont la suppression des branches trop basses ou qui se croisent. À partir de la 3<sup>e</sup> ou 4<sup>e</sup> année, les rameaux à fruit sont enlevés le long du tronc et des charpentières (s'il y en a) et à la base des branches fruitières, de manière à former un « puits de lumière », et dans toutes les zones de l'arbre recevant peu de lumière, c'est-à-dire sous les branches et dans les zones de croisement des branches. On améliore ainsi la qualité de tous les fruits dans l'arbre. Cette « opération d'extinction artificielle » se fait par arrachage avant le débourrement printanier et au plus tard au stade bou-

ton rose (permettant alors de voir l'état de la floraison pour l'année à venir). L'arrachage à la main est préconisé, car il permet une meilleure cicatrisation et limite ainsi les problèmes de maladies occasionnés par les tailles au sécateur. Le sécateur ou la scie ne sont utilisés que pour la suppression de branches de gros diamètre. Cette conduite de l'arbre est appelée « conduite centrifuge » car elle s'opère du centre de l'arbre vers la périphérie. La pratique de l'extinction artificielle, en enlevant une partie des rameaux fructifères, diminue également le nombre d'inflorescences à éclaircir manuellement ou chimiquement. Elle facilite donc le travail d'ajustement de la charge indispensable à une fructification de qualité et régulière.

### **Principaux ravageurs et maladies du pommier**

Les principales maladies sont la tavelure (*Venturia inaequalis*) et l'oïdium (*Podosphaera leucotricha*), contre lesquelles les méthodes préventives (enlèvement de la litière hivernale au sol, et des feuilles et fruits touchés dès les premiers symptômes) sont partiellement efficaces. Les principaux ravageurs du pommier sont la carpocapse (*Cydia pomonella*) sur fruit, l'araignée rouge (*Panonychus ulmi*), le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea*) et le puceron vert (*Aphis pomi*).

## **Le cerisier**

### **Biologie du cerisier et implications agronomiques**

Le cerisier appartient à la famille des Rosacées et au genre *Prunus*, qui comprend plus de 200 espèces. Le cerisier doux correspond à une espèce particulière, *Prunus avium*, qui est composée à 95 % de bigarreaux à fruits sucrés et à chair ferme. Cette espèce est originaire d'Asie, plus particulièrement d'une région comprise entre la mer Noire et la mer Caspienne. Nous ne détaillerons ici que le cas des bigarreaux.

La précocité de production est habituellement estimée en référence à Burlat (maturité vers mi-mai dans le sud de la France). Certaines variétés sont plus précoces (ex. Primulat, environ -5 à -7 jours), d'autres sont plus tardives comme les variétés canadiennes (par ex. Lapins, + 25 à + 28 jours).

Le cerisier est caractérisé par un tronc puissant autour duquel s'organisent des étages de branches bien marqués. Le tronc ainsi que les branches sont érigés. Ils portent latéralement des rameaux courts appelés « bouquets de mai » car leur développement est en général achevé à la fin du mois de mai. Les fleurs apparaissent dans tous les cas à la base des pousses annuelles de l'année précédente, que ce soit des pousses longues du tronc et des branches ou des bouquets de mai. Sur un cerisier âgé de quelques années, l'essentiel de la floraison et donc de la production de fruits est porté par les bouquets de mai. Le bon développement de ces bouquets de mai est donc très important pour maintenir une production de cerises de qualité.

Comme pour le pommier, les fleurs du cerisier contiennent les organes mâles et femelles mais à cause de l'auto-incompatibilité (le pollen d'une fleur ne peut

pas féconder l'ovule de cette même fleur) importante de la quasi-totalité des variétés existantes, il est nécessaire de planter dans la même parcelle différentes variétés en s'assurant qu'elles sont inter-fertiles. L'espèce étant entomophile (pollinisation par des insectes, abeilles notamment), il est également nécessaire de vérifier la présence de ces insectes et de favoriser leur bonne circulation dans le verger.

On classe habituellement le cerisier en trois grandes classes de port d'arbre : port dressé et angles des branches fermés (ex. : Lapins), port semi-dressé et angles des branches semi-ouverts (ex. : Van), port étalé et angles des branches ouverts (ex. : Stark Hardy Giant). Cette classification est indépendante de la précocité de la variété.

Le choix du porte-greffe est très important car il détermine la taille de l'arbre à maturité, la nécessité ou non d'un palissage et la précocité d'entrée en production.

Les porte-greffes appartiennent à différents types :

– *Prunus avium* (obtention par multiplication végétative : F12.1 ou par semis de merisiers) confère une vigueur importante, est bien adapté aux sols pauvres et n'a pas besoin de palissage, mais il retarde l'entrée en production ;

– *Prunus mahaleb* (on choisit le clone Inra SL 64 à multiplication végétative afin de garantir une bonne homogénéité) est également bien adapté aux sols pauvres et calcaires, mais il est très sensible aux sols trop humides qui provoquent une asphyxie rapide de son système racinaire. Il permet également une culture sans palissage, mais retarde l'entrée en production ;

– Pour l'agriculture de montagne, on préfère donc les porte-greffes vigoureux qui sont plus résistants au manque d'eau et ne nécessitent pas de palissage, excepté durant les 2-3 premières années de croissance de l'arbre. L'espacement entre arbres sera d'au moins 2 m sur le rang et 5 m entre les rangs.

La conduite de l'arbre dépend du choix du porte-greffe. Dans le cas d'un porte-greffe faible, une conduite en axe avec arcure des branches peut convenir car elle permet une densité de plantation élevée et une entrée en production précoce. Dans le cas d'un porte-greffe vigoureux, on adopte une conduite en gobelet. 3 à 5 charpentières sont sélectionnées en 1<sup>re</sup> ou 2<sup>e</sup> année de croissance. Sur chacune d'entre elles, on établit des branches fruitières porteuses des bouquets de mai. Selon les variétés, les bouquets de mai peuvent avoir une densité trop importante sur les branches porteuses. C'est le cas de la variété Lapins, par exemple. Dans ce cas, on enlèvera 1 bouquet de mai sur 2, ou même 2 sur 3. Cette suppression des bouquets de mai correspond à l'extinction artificielle telle qu'elle a été développée sur le pommier. Cela permet, d'une part, la bonne croissance des bouquets de mai restant, donc la bonne qualité des fruits, et, d'autre part, de limiter les maladies de type monilioses favorisées par l'humidité et la proximité entre les fruits.

### *Principales maladies et ravageurs du cerisier*

Il n'existe pas réellement de méthodes curatives contre les maladies à virus souvent responsables des maladies de dépérissement chez le cerisier. On veill-

lera donc à ne planter que du matériel végétal certifié indemne de maladies à virus ou à mycoplasme. Les maladies bactériennes principales sont le chancre bactérien (*Pseudomonas syringae*), contre lequel la protection des plaies de taille est efficace, et le *crown gall* (*Agrobacterium tumefaciens*), contre lequel il n'existe pas de moyens de lutte directe. Il est donc indispensable de planter un matériel végétal sain. Les maladies cryptogamiques principales sont les monilioses (*Monilia laxa* et *Monilia fructigena*) provoquant le brunissement puis la chute des bouquets floraux et, pour le second, la pourriture des fruits. Les mesures prophylactiques consistent à diminuer la densité des bouquets de mai sur les branches et, si la maladie se déclare, à enlever les branches atteintes. Les ravageurs, du type mouche de la cerise (*Phagoletis cerasi*) ou puceron noir (*Myzus cerasi*), peuvent être contrôlés par des méthodes de piégeage sexuel, des auxiliaires ou des traitements curatifs à base de produits de synthèse.

## Le noyer

### *Biologie du noyer et implications agronomiques*

Le noyer commun appartient à la famille des Juglandacées et au genre *Juglans* qui comprend une vingtaine d'espèces. L'espèce cultivée est le noyer commun ou *Juglans regia* originaire de l'ouest de l'Himalaya. Toutes les variétés actuelles ont un cycle de développement décalé par rapport à la plupart des autres espèces fruitières : débourrement en avril, floraison en mai, maturation des fruits en septembre-octobre.

La floraison du noyer se distingue des 2 espèces précédentes car elle englobe 2 types de fleurs. Les fleurs femelles (donnant les fruits après fécondation) sont groupées en grappes ne contenant que quelques fleurs et sont situées en position terminale sur les pousses de l'année précédente. Après fécondation, la fleur femelle donne la noix comprenant une partie pulpeuse (le brou), la coque formée de 2 valves symétriques et le cerneau qui constitue la partie comestible. Les fleurs mâles sont groupées en chatons situés à l'aisselle des feuilles le long de la pousse annuelle précédente. Le noyer commun est auto-fertile (les fleurs mâles d'un arbre peuvent féconder les fleurs femelles de ce même arbre). Toutefois, l'autofécondation est rare et cela pour trois raisons principales : décalage de floraison entre fleurs mâles et femelles d'un même arbre (floraison femelle avant la floraison mâle ou inversement selon la variété), faible longévité du pollen et courte période de réceptivité du stigmate. De plus, la pollinisation étant faite par le vent (espèce anémophile), il est particulièrement important de bien répartir dans le verger des variétés compatibles entre elles.

De façon générale, le noyer est un arbre vigoureux. La densité de ramification ainsi que la position de la floraison en position terminale sur les pousses longues ou courtes permet de distinguer 3 grands types de fructification. Les variétés à fructification terminale (ex. : Franquette) sont les plus nombreuses. Elles sont caractérisées par une faible densité de ramification : celle-ci n'apparaît qu'en position subterminale sous l'arrêt de croissance hivernal. La floraison est

terminale sur ces pousses et se maintient donc essentiellement à la périphérie de l'arbre. La mise à fruit est lente et le potentiel de production est faible. Les variétés à fructification latérale (ex. : Lara, Fernor) sont caractérisées par des ramifications latérales nombreuses et courtes portant la floraison. Celle-ci se répartit donc en « manchon » le long des branches principales. La fructification peut se maintenir plusieurs années sur ces ramifications si l'intérieur de l'arbre est bien éclairé. Les arbres ont une entrée en production plus précoce que le type précédent. Il existe enfin un type de fructification intermédiaire (ex. : Hartley) conjuguant des caractères morphologiques des 2 types précédents.

Comme la plupart des autres espèces fruitières, le noyer se greffe. On préfère les semis de noyer commun, *Juglans regia*, qui ne pose aucun problème de compatibilité et confère par ailleurs une bonne tolérance à la chlorose ferrique. Il est toutefois sensible à l'asphyxie racinaire et au pourridié (dépérissement de l'arbre dû à des champignons pathogènes présents dans le sol du type *Armillaria mellea* et *Rosellinia necatrix*). Des sélections en cours à partir de croisements de *J. regia* et *J. nigra* devraient permettre d'avoir des porte-greffes plus vigoureux et tolérants au virus du *Cherry leaf roll* qui se manifeste par des nécroses au point de greffe et peut provoquer des dégâts importants.

Quelle que soit la variété, l'arbre se prête naturellement bien à une forme en axe. Les distances de plantation varient en fonction du type de fructification, avec des distances plus importantes pour les arbres à fructification terminale : 5 à 7 m entre arbres sur le rang, 7 à 10 m entre les rangs. Les branches fruitières réparties le long du tronc ont souvent un angle fermé et devront donc être arquées ou inclinées afin de limiter leur croissance en longueur et accélérer l'entrée en production. Sur les variétés à fructification latérale, la suppression d'une ramification sur 2 ou de 2 ramifications sur 3 (extinction artificielle) donne de bons résultats agronomiques. Dans ce cas on veille à supprimer tous les rameaux de petite taille qui sont potentiellement porteurs de petits fruits par ailleurs plus sensibles à la bactériose. Cette taille permet une meilleure croissance des pousses restantes et augmente le calibre des fruits.

### Principaux maladies et ravageurs du noyer

Les principales maladies sont la maladie de l'encre (*Phytophthora cambivora*, *P. cinnamomi*) et surtout le pourridié (*Armillaria mellea* et *Rosellinia necatrix*) auxquelles le noyer commun utilisé comme porte-greffes est particulièrement sensible. La bactériose (*Xanthomonas campestris* pv. *juglandis*) est susceptible de provoquer des chutes importantes de fruits et entraîner ainsi une baisse très importante de la production dans les vergers denses et vigoureux. Pour éviter cette maladie, on veille à ne pas mouiller le feuillage et à favoriser la pénétration de la lumière et l'aération à l'intérieur de l'arbre (intérêt de l'extinction artificielle). Par ailleurs, on évite des apports azotés tardifs qui, en allongeant la période de croissance, favorisent les attaques de la bactérie. Les principaux ravageurs sont la carpocapse des pommes et des poires (*Cydia pomonella*) et la cochenille rouge du poirier (*Epidiaspis leperii*).

## L'olivier

### *Biologie de l'olivier et implications agronomiques*

L'olivier cultivé appartient à la famille des Oléacées et au genre *Olea* qui comprend environ 35 espèces. Seul l'olivier cultivé, *Olea europea*, se trouve autour de la Méditerranée. Il comprend quelque 2 500 variétés que l'on classe essentiellement en fonction de l'utilisation de l'olive : variétés à huile, variétés de table, variétés à double fin.

La floraison est essentiellement latérale : les inflorescences apparaissent à l'aisselle des feuilles émises sur la pousse de l'année précédente. Bien que les fleurs contiennent des organes mâles et femelles, la pollinisation croisée entre variétés compatibles est indispensable afin d'assurer la fécondation et ainsi une production de qualité. De plus, la pollinisation étant faite par le vent (espèce anémophile), il est particulièrement important de bien répartir dans le verger des variétés compatibles entre elles. L'arbre est habituellement cultivé sur ses propres racines, à partir de plants issus de boutures semi-herbacées. Dans ces conditions, l'arbre adulte atteint 5 à 10 m de hauteur. Des travaux sont en cours pour valider l'intérêt de porte-greffes conférant une vigueur plus faible permettant à la fois un volume d'arbre plus petit et une entrée en production plus précoce.

Quel que soit le port de l'arbre, le fonctionnement des branches fruitières est relativement similaire : la branche a toujours un port dressé à son origine, puis s'affaisse progressivement au cours des années suivantes sous son propre poids, notamment avec la fructification. Dans le même temps, des renouvellements apparaissent sur la partie arquée ou inclinée de la branche initiale. En l'absence de taille, on observe ainsi très facilement sur l'arbre âgé une succession de branches arquées portant des renouvellements qui eux-mêmes s'arquent. On remarque alors un affaiblissement très rapide de la portion de branche pointée vers le bas : la croissance annuelle devient faible et le nombre de fruits étant fonction du nombre de nœuds mis en place l'année précédente, le potentiel de fructification diminue fortement (moins de fruits et de taille plus petite).

Ce mode de fructification par renouvellement régulier des unités de fructification nous conduit aux préconisations suivantes :

– La conduite en gobelet convient bien à un verger extensif (4 à 5 m sur le rang, 5 m entre rangs). Dans ce cas, on établit dès l'année de plantation un tronc sur lequel on sélectionne au cours des 2 années suivantes les charpentières.

– La taille de fructification est basée sur un principe essentiel, général aux arbres fruitiers mais tout particulièrement vrai pour l'olivier, le maintien d'une frondaison poreuse à la lumière. On supprime donc les renouvellements à l'intérieur de l'arbre, qui très vite risquent de bloquer la pénétration de la lumière, ainsi que les portions de branches devenues trop faibles dans la partie basse de l'arbre. Toutefois, cette taille risque d'entraîner au bout de quelques années un éloignement trop important du centre de l'arbre. On pratique alors une taille du « tout ou rien » consistant à enlever des branches entières, voire des charpentières, devenues trop basses et non productives. Cette taille favorise les branches situées plus haut dans l'arbre et qui sont en pleine production.

– Par ailleurs, l'olivier est particulièrement sensible à l'alternance de production. On veille donc à ce que l'année de forte production il y ait une croissance végétative permettant une production suffisante l'année suivante : la taille doit être forte l'année de forte production pour stimuler la croissance végétative et moins forte l'année de faible production.

### **Principales maladies et ravageurs de l'olivier**

Les principales maladies cryptogamiques de l'olivier sont la fumagine ou noir de l'olivier (*Capnodium oleaginum* ou *Fumago salicina*), qui se développe sur le miellat sécrété par les insectes piqueurs (aleurodes, pucerons, *Metcalfa*) et forme très vite un enduit noir sur les feuilles, et la maladie de l'œil de paon (*Spilocaea oleagina*), qui peut occasionner beaucoup de dégâts car il s'attaque aux feuilles mais également aux fruits où il forme des taches circulaires brunes ou jaunes. Dans les deux cas, les traitements préventifs au printemps consistent en des pulvérisations à base de cuivre ou de sulfates. Parmi les ravageurs, on retient la mouche de l'olivier (*Bactrocera oleae*), qui vit uniquement sur l'olive dans laquelle elle pond ses œufs. Le traitement préventif est fait à base de produits de synthèse appliqués dès la chute des pétales.

### **Une arboriculture adaptée à l'Atlas marocain**

La conduite du verger dans l'Atlas marocain mérite une réflexion particulière afin d'adapter au mieux les préconisations développées pour les arbres fruitiers cultivés en plaine. Ces adaptations sont à réaliser tant au niveau de la gestion de l'irrigation et de la fertilisation qu'au niveau de la conduite de l'arbre lui-même. Mais, à plus long terme, la base d'une arboriculture économiquement viable dans les conditions de l'Atlas marocain nécessite sûrement le choix de variétés bien adaptées aux conditions pédo-climatiques des zones de montagne mais également répondant au marché marocain. Le choix de variétés rustiques et naturellement résistantes ou tolérantes aux principales maladies et ravageurs présents dans ces régions est très sûrement une des clés du succès de la culture des arbres fruitiers. Cette stratégie mériterait de définir plus précisément pour chaque espèce un « idéotype » d'arbre adapté aux conditions de l'Atlas marocain. Différents critères pourraient être retenus : entrée en production rapide sur porte-greffe vigoureux ou sur propres racines, fructification régulière, fruits aptes à la conservation, les pommiers notamment (la chambre froide n'est alors plus indispensable), tolérance et résistance aux principaux bio-agresseurs.

## **Le travail du sol**

L'enfouissement à la charrue des résidus de culture ou le labour minimal avec préservation des litières à la surface du sol sont des solutions débattues depuis 40 ans sous les tropiques (CHARREAU et NICOU, 1971 ; LAL, 1974).

En Afrique, plusieurs obstacles ont retardé l'adoption du labour à la charrue : les résidus de culture sont broutés par le bétail, utilisés pour l'habitat ou l'artisanat, le crédit manque pour l'achat des bœufs ou du tracteur et du matériel indispensable (charrue, charrette). De plus, les bœufs manquent d'énergie à la fin de la saison sèche quand il faut labourer : ils ne disposent plus de nourriture saine pour fournir l'effort de traction. Enfin, quand la paille sèche est enfouie dans le sol, sa décomposition fixe une bonne quantité d'azote, induisant une carence en azote dans le sol laquelle réduit la croissance des cultures. Comme les paysans peuvent rarement se payer un complément d'engrais minéral, ils souffrent d'une baisse de rendement directement liée à l'enfouissement des pailles.

La solution d'un labour réduit ou d'un semis direct sous la litière assure une bonne protection de la surface du sol contre l'impact des gouttes de pluie ; la litière limite la compétition avec les adventices, augmente l'activité de la mésofaune, l'infiltration et le stockage d'eau dans le sol. La litière restitue progressivement les nutriments en surface dans l'horizon très riche en racines absorbantes. Les sols dégradés compacts exigent d'abord un décompactage et un enrichissement en MO, par exemple par une jachère cultivée de légumineuses.

Des expérimentations récentes de travail du sol réduit à la ligne de plantation (moins de 10 % de la surface cultivée), combinées avec les résidus maintenus en surface ou des plantes de couverture (légumineuses) ont montré que les risques de ruissellement et d'érosion ont beaucoup baissé, que le taux de MO et d'agrégation du sol s'est maintenu, entraînant progressivement une amélioration de la productivité de la terre et du travail (LAL, 1974 ; BOLI *et al.*, 1993 ; MRABET *et al.*, 2004 ; NOUIRA, 2007 ; DIALLO *et al.*, 2008 ; DUCHEMIN *et al.*, 2008). La solution du labour réduit avec un mulch de paille ou d'herbes herbicides juste avant le semis semble mieux adaptée aux conditions subtropicales et tropicales, mais encore faut-il garder suffisamment de biomasse couvrant le sol et réduire les traditions de pâturage et de nettoyage des champs et parcours par le feu (DIALLO, BOLI et ROOSE, 2008).

## Simplification et amélioration des aménagements

Tous les dispositifs mis en place pour retenir la terre et gérer l'eau sur des pentes trop fortes pour être directement cultivées ne sont pas aussi coûteux en main-d'œuvre et en matériaux. Par exemple la construction soignée de murettes exige entre 1 000 et 1 500 jours de travail d'ouvriers spécialisés pour choisir les pierres adaptées, les transporter, les tailler et les disposer pour construire un mur à la fois solide et perméable. La construction progressive de cordons de pierres issues du champ lui-même demande beaucoup moins de travail, de pierres de qualité et peut s'étaler sur plusieurs années. De plus, l'espace du cordon peut

être valorisé par la plantation d'arbres fruitiers ou fourragers sur lesquels vont s'appuyer les pierres, ou par des plantes rampantes (comme la vigne) ou grimpantes qui vont couvrir le cordon et valoriser cet espace particulier. La construction de ces murets et cordons de pierres peut aussi se justifier du fait d'une présence en excès de pierres et cailloux dont il faut libérer le sol pour augmenter la surface cultivable avec les outils classiques de travail du sol : les cordons et murets servent de « rangement » à ces pierres gênantes. Mais on peut aussi envisager des méthodes biologiques pour stabiliser des talus sur de fortes pentes. En plantant une ligne d'arbres (fruitiers, fourragers, haies vives) ou en respectant simplement une bande d'herbes et de buissons, et en labourant le sol suivant les courbes de niveau, on peut aboutir en 5 à 10 ans à des talus de un mètre (à 1,5 m) qui, couverts d'herbes, seront à la fois efficaces pour retenir la terre et pour produire des fourrages et divers matériaux artisanaux (feuilles de palmier doum, saules, etc.). Ces talus pourront par la suite être recouverts des pierres exhumées du sol : la surface des talus ne sera pas perdue, mais attribuée à une autre production qui participera au maintien d'une certaine biodiversité et de la rugosité du versant par rapport aux vents et au drainage des eaux de surface (dissipation d'énergie).

La position des arbres par rapport au talus a été longtemps discutée. Si on plante des arbustes en amont du talus, ceux-ci vont profiter d'un sol profond et enrichi d'une épaisse couche de l'horizon humifère, tandis que la culture ne disposera que d'un sol appauvri et aminci par le travail du sol : il faudra alors beaucoup de fumier et de travail pour restaurer une bonne productivité de la culture. Dans ces propositions, on a insisté sur l'intérêt des arbres, à condition qu'ils développent une production rentable (bois, fruits ou fourrages). Par contre, on risque de déstabiliser le talus par la croissance et l'épaississement des racines qui longent sa surface.

On peut aussi planter les arbres au pied du talus. Dans ce cas, leur installation est moins aisée si le sol est peu épais, mais les arbres vont développer un enracinement profond sous le talus qui va le stabiliser en assurant son drainage et en l'ancrant profondément dans la roche sous-jacente. Ce mode d'implantation protège aussi la base du talus en empêchant le propriétaire du champ aval de labourer trop près du talus et de le miner progressivement. Dans cet aménagement, la croissance des arbres sera peut-être moins vive (ce qui convient aux arbres fruitiers), mais la partie la plus fertile de la terrasse amont sera disponible pour une culture plus exigeante (maïs, par exemple).

La capture des eaux de sources ou du ruissellement et le transfert des eaux vers les champs peuvent aussi être facilités et améliorés : canaux bétonnés, tuyau et irrigation par gicleur sous la canopée ou au ras du sol.

Les jachères et parcours peuvent aussi être améliorés pendant le temps de mise en défens. En particulier dans les plages dénudées et tassées, on peut introduire dans des cuvettes des arbustes fourragers, des légumineuses fixant l'azote de l'air, des arbres à croissance rapide profitant de l'abondance de la lumière et de la faible concurrence (eucalyptus, divers acacias, fruitiers peu exigeants).

## Restauration rapide de la productivité des sols

Généralement, les pédologues prétendent que le sol est une ressource naturelle non renouvelable. Il est vrai que si on vient à décaper la mince couche de terre qui recouvre une roche dure comme un granite ou un calcaire, il faut plus de 100 000 ans pour reconstituer une couche d'un mètre de roche altérée. C'est donc non faisable à l'échelle humaine. Par contre, il existe des roches qui s'altèrent beaucoup plus rapidement, comme les argilites, les marnes et les schistes tendres, les basaltes : en milieu méditerranéen, il faut environ un an pour produire 1 cm de terre minérale, donc moins de 50 ans pour reconstituer un sol exploitable. Ainsi sur les marnes de la région de Draix, près de Digne (sud de la France), on a observé la production de 12 à 15 mm/an de terre fine et le développement d'un sol de plus d'un mètre sous un peuplement de pins noirs d'Autriche de 80 ans. En Algérie, les mesures d'altération de marnes sont du même ordre de grandeur.

Traditionnellement, lorsqu'un sol est épuisé ou dégradé, on l'abandonne à la friche ou jachère longue (10 à 20 ans) au cours de laquelle la végétation naturelle va se développer, accumuler des poussières et des sédiments, capter de l'eau et des nutriments, stocker des matières organiques qui en minéralisant lentement vont libérer les nutriments nécessaires à la croissance des plantes : d'abord des lichens et des mousses, puis des herbes et des buissons, enfin des arbres (PONTANIER *et al.*, 1995).

Dans les vallées de l'oued Rhéraya du Haut Atlas, on peut observer une technique très élaborée pour construire de nouvelles parcelles cultivées dans le lit majeur de l'oued (voir fiche 29, chap. 6). Dans une zone où la vallée s'élargit, les paysans construisent des cordons de grosses pierres ( $H = 1$  m) qui isolent une parcelle rectangulaire capable de capter les eaux chargées de sables, de limons, d'argile et de MO. L'excès d'eau ressort très clair du côté aval. Après chaque crue, la surface caillouteuse de l'oued est masquée par une couche grandissante de graviers, sables et (ou) de limons argileux et de délaissés de crues (MO flottantes en voie de putréfaction). Très vite, des herbes poussent entre les caillasses, ce qui améliore encore l'efficacité du filtre des eaux de crues. Après quelques années, la couche de terre est suffisante pour qu'on y sème des céréales (orge puis blé) qui prélèvent une partie de l'eau nécessaire dans la nappe phréatique. Une décennie plus tard, lorsque la couche de terre atteint 50 cm, on y plante des arbres fruitiers (noyers, cerisiers, pruniers, pommiers) et fourragers (frênes, peupliers, saules, etc.).

L'exemple le plus complet de restauration rapide de sols dégradés a été décrit en zone soudano-sahélienne du Mali, Burkina, Niger. Il s'agit du *zai* décrit à la figure 24 (ROOSE, KABORÉ et GUÉNAT, 1993).

Le terme *zai* vient de *zaïgre*, jeu des adolescents mossi qui consiste à montrer leur courage en creusant des cuvettes dans le sol sec, tassé et encroûté.

Saison sèche	Début des pluies	Saison des pluies	Récoltes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creusement tous les 80 cm d'une cuvette Ø = 40 cm, H = 20 cm, terre posée en aval.</li> <li>• Les vents apportent sables + limons + matières organiques.</li> <li>• Les termites creusent des galeries et transforment les cuvettes en entonnoirs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apport de 2 poignées de poudrette (= 3 t de fumier par ha).</li> <li>• Les termites creusent des galeries enrobées d'excréments. Eau infiltrée et stockée en profondeur à l'abri de l'évaporation.</li> <li>• Semis en poquet de 12 graines de sorgho ou de mil, capables de soulever la croûte du sol.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Levée précoce du mil et germination des graines (forestières/légumineuses).</li> <li>• Sarclage limité aux poquets, car les sols du champ restent encroûtés</li> <li>• Enracinement profond dans la zone humide et enrichie en nutriments</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Récolte grains et fourrages</li> <li>• Coupe des tiges vers 1-1,5 m : pour cacher les tiges des arbres de la vue des chèvres, ralentir le vent et piéger MO et limons.</li> </ul>

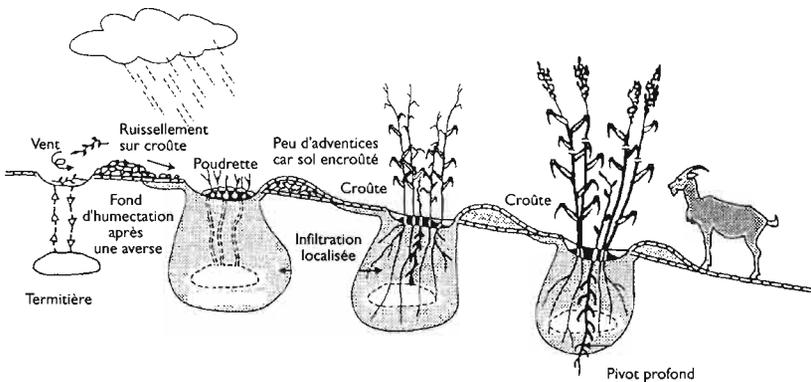


Fig. 24

Le zai : méthode traditionnelle soudano-sahélienne de restauration des sols.

Cette technique complexe permet de restaurer la productivité des terres dégradées, encroûtées, abandonnées et de produire 6 à 10 quintaux de céréales dès la première année, ainsi que d'entretenir la fertilité du sol pendant plus de 30 ans. Elle consiste à concentrer le ruissellement et la fertilité au niveau des poquets afin de stabiliser la production dans ces zones semi-arides à pluies erratiques. Elle a l'avantage de pouvoir être diversifiée par les paysans qui lui associent le retour d'arbustes et de légumineuses fourragères. Même les termites ont un rôle important en collectant des MO en surface, en perforant le fond de la cuvette et en dispersant les MO dans leurs galeries profondes.

Cette technique culturale a aussi ses limites :

- le zai exige 300 heures (= 50 jours) de travail pour creuser 10 000 cuvettes sur un hectare ;
- de plus, il faut y apporter 2 à 3 t/ha de poudrettes ou compost ou paillage de légumineuses ;
- en outre, il faut construire un cordon de pierres autour de la parcelle pour maîtriser le ruissellement, ce qui exige la location de charrettes et d'un camion (2 500 Dm) pour transporter les pierres ;

– enfin, il ne réussit à maintenir une production intéressante que si les pluies annuelles sont > 300 mm et < 850 mm, sinon les nutriments sont lessivés par le drainage.

Améliorations possibles :

- la mécanisation du travail aux bœufs (soussolage croisé) après la récolte permet de réduire le travail de 50 % ;
- un complément de fumure organique par des apports de NPK une fois la saison des pluies bien installée ;
- l'introduction d'autres essences forestières élevées en pépinière (3 mois de gagné).

L'intérêt du *zai* se résume aux six règles suivantes.

#### 1. Entourer la parcelle d'une structure de gestion du ruissellement

Les zones dégradées sont généralement dénudées, tassées et encroûtées, donc sujettes à un ruissellement violent. Il faut donc encadrer la parcelle d'une structure perméable capable de régulariser la vitesse du ruissellement et de le redistribuer sur l'ensemble de la parcelle à cultiver (cordons de pierres, haies vives, cactus *Opuntia*, haies mortes, etc.). Dans la technique du *zai*, l'eau de ruissellement est piégée dans des cuvettes de 40 cm de diamètre et 10 à 20 cm de profondeur permettant de mouiller le sol sur 1 m et de stocker assez d'eau pour que les jeunes plants de sorgho ou mils tiennent 3 semaines en attendant la pluie suivante. On peut imaginer des cuvettes un peu plus grandes pour les plantations d'oliviers ou de noyers. Ces cuvettes (1 m de diamètre et 30 cm de profondeur) sont à aligner en quinconce tous les 5 à 8 mètres sur la ligne de plantation et les lignes sont à espacer de 10 à 20 m selon la pente et les cultures intercalaires prévues durant les premières années.

#### 2. Décompacter le sol des cuvettes

Un sol dégradé est pauvre en MO, tassé et peu perméable. La végétation naturelle met plusieurs années à percer ces horizons tassés pour y reconstituer la macroporosité indispensable à la circulation rapide de l'air et de l'eau. Pour gagner du temps, on peut travailler la zone cultivée sur 30 à 50 cm selon la culture pour permettre le développement rapide d'un réseau racinaire équilibré.

#### 3. Stabiliser la structure du sol

Les sols dégradés sont généralement instables. Si on souhaite que le travail du sol produise des mottes et des macropores stables, il faut enfouir des MO (paillis, résidus de cultures, litière forestière ou, mieux, du fumier), sans quoi il faudra recommencer après chaque averse pour maintenir une bonne infiltration des eaux de ruissellement. Un apport de chaux ou de gypse peut être utile si le milieu est acide, mais il risque d'accélérer la minéralisation des MO.

#### 4. Revitaliser l'horizon superficiel

L'érosion décape généralement en priorité l'horizon humifère des sols cultivés et expose l'horizon B minéral et instable. Or, l'horizon humifère d'un sol sain comprend des millions de microbes par litre : ces microbes sont très importants pour faire évoluer les MO et rendre assimilable le stock de nutriments minéraux. Or, il y en a très peu dans les horizons minéraux profonds. Il faut donc apporter, en plus des résidus organiques, du fumier ou du compost bien fermenté dans la zone cultivée de la cuvette (une poignée par cuvette au minimum = 1,5 t/ha).

### 5. Rééquilibrer le pH entre 5 et 7

Les sols dégradés ont généralement perdu quantité de nutriments et en particulier des bases : le pH est donc acide. Si l'acidité est inférieure à pH 4,5, l'aluminium du réseau argileux passe en position échangeable et devient toxique : il bloque la croissance des cultures.

Pour corriger la toxicité aluminique, il faut donc restituer des bases (chaulage, paillage, fumier, cendres, phosphates de chaux).

Si, par contre, le décapage de l'horizon humifère expose un sol trop basique ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaCO}_3$ ) ou trop calcaire (croûte calcaire, ou roche marneuse), pour éviter de bloquer le phosphore et divers oligoéléments (fer, bore, etc.), il faut apporter des acidifiants naturels (acides humiques ou citriques) ou des résidus acides industriels ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ).

### 6. Nourrir la culture à la demande

Les sols sains ont généralement un grand stock de nutriments minéraux : cependant, les nutriments ne sont pas tous disponibles avec une vitesse suffisante aux moments cruciaux où les cultures en ont besoin. Jadis, on tentait de corriger les carences naturelles du sol, mais cela s'est avéré non rentable car les argiles kaoliniques des sols tropicaux stockent mal certains nutriments qui sont perdus par lessivage (ROOSE et GODEFROY, 1968). Dorénavant, on cherche à maintenir un bon milieu physique et à nourrir les plantes cultivées selon leurs besoins propres, en tenant compte de la fertilité du sol, des adventices et des risques de lixiviation par érosion et drainage. On est donc amené à répartir les divers nutriments à proximité immédiate des plants en plusieurs fractions selon les besoins des cultures : les engrais de fond au labour ou avant le semis, N, P, K à la montaison, floraison et (ou) épiaison. On évite ainsi de fertiliser les mauvaises herbes qui peuvent étouffer les jeunes plantes cultivées. Par contre, on garde les adventices tant qu'elles ne gênent pas, puis on les arrache et on les dépose entre les rangs pour jouer les divers rôles du paillage.

## Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre qu'il existe de nombreuses possibilités pour améliorer et valoriser les structures antiérosives, les unes concernent les techniques culturales (réduction du travail), les autres la gestion raisonnée des eaux de surface, de la biomasse et de la fumure organique et minérales des sols cultivés.

Le choix parmi ces pratiques agronomiques va dépendre des conditions culturelles, sociales, démographiques et économiques des populations concernées.

Cependant, l'État a un rôle à jouer : améliorer la formation des paysans, fournir les engrais, organiser les marchés pour faire circuler les excédents de production.

# Zones de parcours

*Mohamed QARRO*

*Éric ROOSE*

*Mohamed Sabir*

Les terrains de parcours (y compris les parcours sous forêts, les terres incultes) couvrent environ 92 % de la superficie totale du Maroc. Près de 97 % de ces parcours se trouvent en zones arides et semi-arides dans les régions de l'Oriental, du Présahara et dans l'immense zone saharienne. Étant donné l'importance du pasteoralisme dans l'économie paysanne, il est important de se poser ici deux questions :

- dans quelle mesure contribue-t-il à la dégradation des sols, à l'érosion, mais aussi à la fumure des terres ?
- a-t-on observé dans ces sociétés de pasteurs des aménagements particuliers visant la gestion durable des eaux et de la fertilité des sols qui pourraient être étendus à l'ensemble de ces régions semi-arides et arides ?

## Les populations animales

L'élevage sur parcours est une source de revenus importante pour la population rurale et également le meilleur moyen pour valoriser les zones pastorales. En 1990, le secteur de l'élevage a contribué pour environ 32 % à la valeur ajoutée agricole. Ce secteur fournit 20 % du total des emplois agricoles et contribue au revenu de plus de 80 % de la population rurale.

L'évolution des effectifs dépend fortement des conditions climatiques de l'année.

Les bovins, qui étaient au nombre de 3,7 millions de têtes en 1975, ont connu une chute de 30 % durant les années de sécheresse de 1980-1983 et de 1992-1995.

Entre-temps, les troupeaux se sont reconstitués lentement pour atteindre 2,8 millions de bovins en 2004.

Pour les ovins, les effectifs passent d'environ 17 millions de têtes en année normale à 10 millions en année très sèche. Actuellement, les effectifs atteignent 17,2 millions de têtes.

## Répartition des terrains de parcours

La ressource foncière, qui constitue le support de tout processus de production, est rare et soumise à des pressions et contraintes diverses. Rappelons que la superficie totale du pays (71,1 millions d'hectares) se répartit comme suit :

- 9,2 millions d'hectares de surface agricole utile, dont 1,3 million d'hectare irrigué, 2,5 millions d'hectares de *bour* favorable et 5,4 Mha de *bour* défavorable ;
- 5,8 Mha de forêt et matorral ;
- 3 Mha de nappes alfatières ;
- 21 Mha de parcours aménageables ;
- 32,1 Mha de terrains incultes.

Tableau 4  
Superficie des parcours par région (établies par les forestiers)

Zones	Superficie totale (ha) *	Superficie forêt (%)	Superficie steppes (ha)	% steppes	Superficie pelouses (%)
Saharienne	49 000 000	0	49 000 000	100	–
Présaharienne (steppes sahariennes)	5 675 000	1	5 643 000	99	–
Oriental (steppes arides)	5 000 000	6	4 700 000	94	–
Souss (arganeraie)	1 500 000	47	795 000	53	–
Moyen Atlas (chênaie, cédraie)	1 200 000	82	216 000	14	4
Haut Atlas (chênaie, et autres essences)	2 200 000	92	176 000	4	4
Rif (chênaies + essences secondaire)	900 000	100	0	0	–
Plateau central (steppes)	800 000	0	800 000	100	–
Littoral atlantique central (subéraie, ess. secondaire)	175 000	0	175 000	100	–
<b>Total</b>	<b>67 750 000</b>	<b>7,9</b>	<b>62 519 000</b>	<b>92,3</b>	<b>0,2</b>

\*non compris les superficies de la SAU irriguée et *bour* favorable.

On note que les zones semi-arides et sahariennes sont très étendues et très peu productives.

Le statut collectif concerne presque 12 millions d'hectares, dont seulement 5 millions sont délimités ou en cours de délimitation. Le collectif est soumis à trois régimes juridiques : le droit coutumier, le droit musulman et le droit moderne. Ce statut devient, avec l'évolution du contexte socioéconomique et donc des enjeux, moins approprié à la situation actuelle et accuse une régression quant au rôle qu'il a joué durant des siècles.

Les terrains de parcours s'étendent sur dix grandes zones écologiques telles qu'elles ont été définies par la stratégie de Développement des Parcours. Ces zones se différencient les unes des autres par la composition floristique et les conditions édapho-climatiques (tabl. 4).

## Systemes pastoraux

En principe, chaque éleveur a le droit de conduire son troupeau sur tous les parcours du territoire de sa fraction et, au-delà de sa commune, dans toute la zone de sa confédération et même plus loin, sur des territoires d'autres provinces et confédérations ethniques. Cependant le mode d'utilisation de l'espace par les éleveurs dépend de la disponibilité du fourrage de qualité et de l'eau d'abreuvement du cheptel.

En plus de ces caractères essentiels et communs aux systèmes pastoraux, on distingue des éléments propres à chaque région et que l'on note au niveau :

- des méthodes d'utilisation des parcours ;
- de l'utilisation des aliments pour le bétail provenant du secteur agricole ;
- de la conduite du troupeau ;
- des caractéristiques des troupeaux ;
- des habitudes et des traditions des éleveurs.

Tous ces facteurs combinés permettent de distinguer plusieurs systèmes d'élevage pastoraux (pastoral, sylvo-pastoral et agro-pastoral).

## Gestion de l'eau

Les zones arides, semi-arides et subdésertiques au Maroc représentent plus de 90 % de la superficie totale. Ces zones sont caractérisées par des déficits hydriques dus à des pluviosités faibles et aléatoires. Ces déficits en eau sont aggravés par les régimes de températures, les sols érodés, la culture des terres marginales et par des sécheresses intra- et interannuelles. Les terres marginales servent le plus souvent au parcours des animaux domestiques en élevage extensif, mais

Tableau 5

Systèmes de gestion de l'eau et de la biomasse en fonction du système d'élevage et du climat

Système d'élevage	Bioclimats	Système de gestion de l'eau	Système de gestion des potentialités écologiques
Transhumant	Semi-aride, sub-humide, humide	Disponibilité en eau : pas de système spécifique	– Mouvements saisonniers ; – <i>agdal</i> sur pelouse ; – parcours de chaumes et jachères avec fertilisation par le fumier animal ;
Nomade et semi-nomade	Semi-aride, aride, saharien	– <i>ghdir</i> – <i>matfia</i> – puits et forages	– mouvements permanents à la recherche de l'eau et de l'herbe orientés par les conditions bioclimatiques.

elles sont utilisées aussi pour l'agriculture de subsistance. Ces modes d'utilisation sont généralement pratiqués en dehors d'un aménagement. En effet, l'idée d'aménagement suppose une planification régulière et soutenue. La recherche de ressources fourragères de complémentation, dans ce type de milieux où l'agriculture reste très limitée, se fait à travers les déplacements des troupeaux. Ces déplacements à la recherche de l'alimentation constituent les caractéristiques fondamentales des systèmes pastoraux, systèmes qui diffèrent selon les régions, les origines ethniques, les coutumes et les traditions des populations.

La mobilité des troupeaux est garante de la sécurisation des systèmes d'élevage extensif. En effet, les disponibilités fourragères sont fortement liées aux conditions climatiques caractérisées par une grande variabilité. Pour pallier l'irrégularité spatio-temporelle des ressources pastorales, les éleveurs ont recours à des déplacements à la recherche de pâturages de qualité et de l'eau d'abreuvement. Avant la rupture des équilibres agro-sylvo-pastoraux, les éleveurs avaient adopté des systèmes d'élevage et des systèmes d'utilisation des ressources en fonction des conditions écologiques. La gestion de l'eau et des potentialités écologiques (sol, végétation) a été résumée au tableau 5.

Actuellement, on constate au niveau de tous les écosystèmes pastoraux les effets de surpâturage induits par plusieurs phénomènes :

- les charges des parcours excessives ;
- l'abandon des traditions et pactes pastoraux ;
- l'évolution des systèmes d'élevage vers des systèmes non compatibles avec les conditions éco-géographiques ;
- le phénomène de sédentarisation ;
- la réduction de la superficie des terres de parcours par la mise en culture anarchique et par la mise en valeur par « des projets parachute ».

Les systèmes nomades et semi-nomades ont été conditionnés par la recherche de l'herbe et de l'eau. Ces deux ressources sont étroitement liées dans les zones à climat aride et désertique. En effet, l'eau qui est collectée par différents procédés s'épuise généralement avant la surexploitation des ressources pastorales.

Différents procédés sont appliqués dans la gestion de l'eau pour l'abreuvement du cheptel et pour les besoins des populations (voir fiches 16, 11, 10) :

- l'*aghdir* (ou *ghdir*) : c'est l'accumulation des eaux de ruissellement par confection d'une digue en terre au niveau des vallées et des cours d'eau temporaires ;
- la *matfia* : un bassin d'accumulation d'eau couvert et confectionné sous forme de rectangle à des profondeurs variables de 1 à 2,5 m de profondeur. L'imperméabilité de la *matfia* a été obtenue, jadis, par de l'argile et actuellement par le ciment. La *matfia* est généralement confectionnée à l'aval d'un sous-bassin versant, d'une piste ou d'une vallée qui puisse drainer de l'eau de ruissellement ;
- les *madgen* : mare ou petit bassin à ciel ouvert. Avec la sédentarisation, les grands éleveurs sont obligés de s'approvisionner en eau par citernes tractées ;
- quelques cordons de pierres sur le bas des versants orientent la collecte du ruissellement dans des cuvettes plantées en oliviers ou amandiers (moins de 0,5 m<sup>3</sup>).

Dans les systèmes traditionnels, l'eau n'est pas un problème dans les zones occupées par les systèmes sylvo-pastoraux et agro-sylvo-pastoraux, en raison des conditions bioclimatiques sub-humides et humides qui y règnent. Actuellement, l'évolution de ces systèmes vers la sédentarisation entraîne des carences d'eau en période d'irrégularités climatiques qui amènent les éleveurs à s'approvisionner en eau par citerne.

Le parcours en forêt et la transformation progressive en matorral et en parcours herbeux entraîne un tassement de la surface du sol et une diminution de sa capacité d'infiltration. Tant que l'intensité des pluies reste faible, on observe peu de différence de comportement hydrique. Par contre, lors des orages à forte intensité, les zones piétinées par le bétail et les parcours surpâturés, à zones dénudées, ruissellent plus vite et plus fort que les zones forestières en défens (COSANDEY, 1994).

## Gestion de la biomasse

Le système de production se base sur une exploitation multi-usages de l'espace faisant intervenir l'agriculture, la forêt et plus particulièrement les parcours. Ces systèmes d'exploitation sont caractérisés par la complexité des interactions écologiques et socio-économiques. Cette complexité accompagnée de plus en plus de pratiques abusives rend l'analyse des systèmes de production très délicate et met en cause la pérennité des écosystèmes forestiers.

L'espace pastoral subit les mouvements saisonniers des populations et de leurs troupeaux entre la montagne et ses bordures. La montagne (le *jbel*) sert pour le pâturage d'été et les plateaux (*azaghar*), plus tempérés, sont pâturés en hiver.

L'espace est partagé en territoires exploités par des entités humaines homogènes correspondant aux fractions et aux tribus. Ces territoires sont appelés

« parcs de parcours ». Ces parcs sont, selon les tribus (*jmâa*), des finages monoblocs ou composites.

Les éléments de base de ces systèmes d'utilisation sont principalement :

- la transhumance saisonnière entre les parcours d'été et d'hiver ;
- la gestion complémentaire des ressources pastorales assurée par les contrats de parcours entre les tribus de régions voisines ;
- la pratique des *agdal*, ou mise en repos des parcours forestiers ou pastoraux ;
- la contribution de l'agriculture (agro-sylvo-pastoralisme) dans l'alimentation des animaux par la jachère, qui représente au moins 25 % de la SAU, les cultures fourragères et les chaumes.

Les contrats et pactes pastoraux sont une forme de gestion rationnelle : ils se passaient généralement oralement entre les différentes tribus. Ces types de contrats ont pour objectif soit d'assurer la complémentarité entre les ressources fourragères en échangeant le droit d'usage, soit de permettre le passage des troupeaux étrangers à travers les finages. Pour les accords portant sur le « droit d'usage », les parties contractantes précisent le nombre de têtes de bétail à accepter et la durée du séjour sur les parcours. Pour le transit des troupeaux, les contrats précisent la durée de passage et l'itinéraire à suivre.

La pratique de l'*agdal*, nom berbère de mise en défens, désigne l'interdiction temporaire d'utiliser un parcours. Cette pratique est encore fréquente dans le Haut Atlas, où on distingue deux types d'*agdal* :

- les *agdal* concernant les pelouses les plus productives d'altitude dont la mise en défens au printemps permet de fournir de l'herbe en période sèche. C'est la pratique la plus courante dans le Haut Atlas comme au Moyen Atlas ;
- les *agdal* portant sur des forêts à dominance de chêne vert, riveraines des villages du Haut Atlas. Il s'agit d'une interdiction de toute coupe de bois ou de branches dans ces peuplements. En période de neige, quand le déplacement des animaux est impossible, la *jmâa* procède à l'ouverture de l'*agdal* pendant les jours de neige seulement et fixe la quantité de branches à prélever pour nourrir le troupeau de chaque foyer.

Les dates d'ouverture et de fermeture sont arrêtées après la réunion des représentants des ayants droit (*naib*, *chioukh* et sages). Exceptionnellement certaines années, l'ouverture et la fermeture de l'*agdal* peuvent être décalées de quelques semaines à la demande d'une des *jmâa* ayants droit, en raison des besoins du cheptel, de l'état des parcours ou des conditions climatiques.

Dans la plupart des cas, le nombre et la nature du bétail accepté sur l'*agdal* ne sont pas fixés. La construction d'habitat permanent n'est pas autorisée : seule la grande tente est acceptée pour un temps limité.

La jachère sur les terres de culture permet d'avoir des pâturages verts et riches très tôt dans l'année, juste après les premières pluies d'automne. La règle traditionnelle pratiquée autrefois par les éleveurs agriculteurs consistait à laisser au moins un quart de la SAU en jachère pour deux raisons principales :

- le repos de la terre et sa fertilisation directe par les animaux ;

– l'offre en fourrage des terres de culture juste après les premières pluies d'automne, en raison de la facilité d'infiltration de l'eau et de la disponibilité dans le sol des graines de diverses espèces cultivées et des espèces accompagnatrices.

Actuellement, la jachère est presque complètement abandonnée en raison du morcellement des terres et de la réduction des terres de parcours collectifs dus à la croissance démographique. La disparition de cette pratique a considérablement affecté la fertilité des sols et leur productivité.

Le parcours sur les chaumes a été pratiqué dans le cadre de la complémentarité des ressources alimentaires des terroirs exploités par les différentes tribus. C'est aussi un moyen de fertiliser les terrains de culture en maintenant les animaux sur les lieux toute la journée et la nuit dans des enclos qui pouvaient être déplacés à l'intérieur des terrains parcourus. Actuellement, les parcours de chaumes sont limités aux petits troupeaux en fonction des superficies réduites de la SAU. L'abandon de ces pratiques (jachère et fumure) a conduit à l'appauvrissement des sols suite à l'exportation des éléments nutritifs de la récolte des grains et pailles, sans restitution minérale du fait de la pauvreté des petits paysans.

## Les transferts de nutriments par le fumier et le parcage

Traditionnellement, l'élevage est perçu comme le moyen d'entretenir la fertilité du sol grâce à l'apport de fumier. Les caractéristiques chimiques des fèces et des fumiers varient beaucoup en fonction des fourrages consommés, des animaux, des sols, du climat et du mode de gestion des résidus végétaux et animaux (fèces et urine).

Au tableau 6 sont présentées les teneurs en nutriments (en %) mesurées dans des fumiers d'ovins du Maroc, de bovins de la zone soudano-sahélienne d'Afrique occidentale (LHOSTES et RICHARD, 1994).

Il est difficile de distinguer la qualité des fumiers produits par diverses espèces animales, car les teneurs en nutriments dépendent pour une large part des fourrages ingérés, de la récupération des urines, des conditions de production et de protection du fumier vis-à-vis du soleil et des pluies. Nous ne disposons pas de résultats montrant de différence significative entre les fumiers sahéliens et maghrébins, malgré la différence de végétation naturelle : par contre, les fumiers européens semblent nettement plus riches en nutriments.

Au tableau 7 sont comparés des fumiers produits dans deux stations de recherche du Mali (Cinzana et N'Tarla) pendant 4 mois de saison sèche et 4 mois de saison des pluies (600 mm) et conservés ensuite dans diverses conditions : sans litière, avec litière (2 kg/bovin/jour), dans une fosse, à l'ombre d'un toit de paille, additionnés de phosphate de calcium naturel broyé (PNT).

Tableau 6  
Composition chimique des fumiers, compost, poudrettes et terre de parc en Europe et en Afrique (compilation de ROOSE, 2007)

En kg/100 kg	N total	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Références
Ovins, poudrettes	1,3	0,2	0,5	–	–	QARRO, 2006, Maroc
Vache, fumier d'étable Europe	2,0	1,5	2,0	4,0	1,0	IGNATIEFF et al., 1996
Cheval	3,6	1,5	1,5	1,5	1,0	id.
Chèvre	1,5	1,5	3,0	2,0	2,0	id.
Ovins	2,0	1,5	3,0	4,0	2,0	id.
Poulailler	5,0	2,7	1,5	4,0	1,0	id.
Bovin, poudrette fraîche	1,4	0,8	0,7	5,0	1,6	GANRY, BADIANE, 1998, Sénégal
poudrette 45 jours	0,9	0,3	0,3	3,0	1,5	id.
Bovin, fumier de ferme	2,2	1,0	2,4	3,0	1,8	id.
Cheval, fumier non composté	0,4	0,3	0,4	–	–	HAMON, 1972, Sénégal
Vache, fumier + litière	2,2	0,8	2,1	3,7	1,6	PIERI, 1989, Sénégal
fumier sans litière	2,2	1,0	4,8	3,0	2,1	Sénégal
Compost mil-sorgho/fosse	1,5-2	0,3	0,1-0,6	1,0	0,3-1	MERLE, 1982
Terre de parc	1,4	0,3	0,7	0,5	–	GUILLONNEAU, 1988
Poudrette/parc	1-2	0,6-1,3	1,7-3	0,6-2,2	–	RICHARD, 1976, Mali
Fumier de ferme	1,2	0,7	1,8	1,2	0,7	RICHARD, 1976, Mali
Fumier de ferme	1,4	0,7	1,5	1,6	0,8	PIERI, 1989, Sénégal
Poudrette, pauvre : md	1,2	0,6	0,6	0,9	0,6	ROOSE, 2007
Fumier avec litière : md	2,0	0,8	1,8	2,4	1,3	id.

C/N paille de sorgho = 93 ; C/N fumier frais = 30-40 ; C/N fumier bien décomposé = 15-20 ; C/N sol = 8 à 12 ; md = médiane.

Tableau 7  
Production de fumier (en kg de matière sèche par bovin) et de nutriments (kg/bovin/4 mois), en saison sèche + saison humide, au Mali (VAN DER POL, 1988)

	Matière sèche kg/bovin	N kg/bovin	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/bovin	K <sub>2</sub> O kg/bovin	CaO kg/bovin	MgO kg/bovin
Parc sans litière	275 + 450	1,8 + 2,7	1,0 + 2,0	3,4 + 6,1	1,7 + 2,8	0,7 + 2,1
Parc avec litière	303 + 253	3,0 + 4,1	1,3 + 2,3	5,5 + 7,4	2,9 + 3,8	1,5 + 2,9
Parc + litière + fosse	? + 361	? + 4,7	? + 2,9	? + 9,9	? + 3,8	? + 2,5
Parc + litière + ombrage	380 + 389	3,4 + 3,5	1,6 + 2,2	7,9 + 6,6	2,9 + 2,9	1,7 + 1,9
Parc + litière + PNT	356 + ?	3,1 + ?	4,4 + ?	6,8 + ?	6,4 + ?	1,5 + ?
Apport paille	150 + 250	1,1 + 2,0	0,3 + 0,6	2,5 + 4,2	1,0 + 1,7	0,5 + 0,9

Si on traduit l'apport de nutriment par tonne de fumier sec produit, on obtient un apport de :

kg/tonne de fumier	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
poudrette	6,2	4,1	13,7	6,2	3,9
fumier avec litière	12,8	6,5	23,3	12,1	8,1

On constate que le poids de fumier (kg de MS par bovin) produit dans des parcs sans litière peut être supérieur à celui des parcs qui ont reçu de la paille, car avec les pluies et le piétinement, le sol se mélange avec le fumier, lequel est alors plus pauvre en nutriments. Par contre, les nutriments apportés avec la paille se sont conservés dans le fumier. Le fumier produit en saison humide est plus riche que celui qui est produit en saison sèche. Un parc ombragé qui reçoit une litière produit le plus de fumier et préserve le mieux les nutriments apportés. L'apport de PNT semble avoir un effet positif pas seulement sur le phosphate mais aussi sur les bases et l'azote par rapport au parc avec litière seule. La conservation du fumier dans une fosse n'a guère amélioré la production mais bien sa conservation et son évolution en saison sèche.

L'optimum semble le fumier produit dans un parc recevant 2 kg de paille par bovin et par jour et un minimum d'ombrage et de phosphate. En saison sèche, les nutriments apportés sont bien conservés, tandis qu'en saison des pluies on a observé des pertes d'azote et de bases dans les eaux de surface et de drainage.

L'apport de paille comme litière permet de doubler pratiquement l'apport de nutriments du fumier, car la paille permet à la microflore de fixer les nutriments libérés lors de la minéralisation des matières organiques animales, surtout si on récupère les urines et les eaux de drainage. L'intérêt du parcage sur les parcelles cultivées, c'est que le sol va profiter des fèces et des urines sans transport de biomasse, ni arrosage.

On n'a pas pu constater dans ces études l'influence des termites et des vers de terre sur les quantités de fumier produit ni sur les pertes en nutriments : les termites ont été moins actifs dans les fosses de conservation durant la saison sèche que dans les fosses de production durant l'hivernage (présence de pailles fraîches). L'arrosage du tas de fumier a entraîné des pertes d'azote de 32 à 42 % par drainage (10 %) et surtout par dénitrification. L'apport de PNT a réduit sensiblement ces pertes (10 %) : il permet de produire des fumiers mieux décomposés (C/N de 20).

Le rapport C/N initial de 90 pour les pailles est passé à 30-50 dans le fumier frais (peu décomposé) pour se stabiliser avec le temps à 20 dans les fosses qui ont reçu du PNT : la couverture des tas a aussi amélioré le taux de C/N mais pas autant que la fosse avec PNT. L'exposition des tas de fumier au soleil a entraîné la perte de 20 à 40 % de l'azote du fumier en 4 mois !

D'après les essais de longue durée menés en zone soudano-sahélienne, il faut enfouir 3 t/ha/an de fumier sec à l'air pour maintenir le niveau de MO du sol cultivé. Or un bovin produit 300 à 600 kg de poudrette/an dans les parcs sans paillage (VAN DER POL, 1988). En comptant 4 ha de parcours tropical extensif pour nourrir un bovin, il faut 5 à 10 vaches x 4 ha, donc 20 à 40 ha de parcours et 5 à 10 vaches pour entretenir un hectare cultivé. On constate donc que si le fumier peut aider à entretenir la productivité d'une parcelle, il faut prévoir des apports complémentaires d'engrais minéraux (beaucoup moins lourds que le fumier par unité de nutriment) pour maintenir un bon niveau de production, d'autant plus que, si la terre est carencée en certains éléments nutritifs, le fourrage et le fumier le seront aussi.

## Effets positifs liés au pâturage raisonné

Le pâturage exercé dans le cadre d'un équilibre entre l'offre fourragère et la demande du bétail et d'une gestion raisonnable des écosystèmes pastoraux constitue un élément de base de la chaîne des écosystèmes naturels.

- Lutte contre l'incendie et l'emboisement

Dans certaines situations, la présence d'une biomasse herbacée ou buissonnante importante peut constituer un facteur de risque d'incendie. La diminution de la biomasse herbacée à la suite du pacage des animaux contribue à limiter la fréquence des feux et à réduire significativement les coûts d'intervention.

Par ailleurs, le pâturage favorise une forte compétition dans les premiers centimètres au-dessus du sol, où les espèces herbacées (les graminées en particulier) montrent des aptitudes de croissance bien supérieures aux espèces ligneuses. Le pâturage réduit donc l'emboisement.

- Dissémination des semences

Les animaux participent à la dissémination des semences, qui s'accrochent à leur toison et à leurs pattes. Le bétail peut aussi ingérer ces graines et les disperser dans ses déjections. L'action des sucs digestifs, lors du transit intestinal, a pour effet d'attaquer les enveloppes protectrices des semences et peut favoriser leur germination dans le cas des espèces à graines dures.

- Impacts sur la composition spécifique des parcours en fonction de la pression de broutage

Dès que le bétail surexploite le parcours, l'équilibre dynamique entre les espèces palatables et les autres change rapidement.

- Piétinement

Les effets du piétinement par le bétail portent à la fois sur la végétation et sur le sol. Le piétinement favorise ainsi :

- le tallage des graminées ;
- la dissémination de nombreuses plantes, par fragmentation des souches ;
- l'incorporation de la matière organique au sol ;
- l'augmentation de l'infiltrabilité des sols en cassant la croûte de battance.

- Mobilité des troupeaux

La mobilité des troupeaux a été une condition *sine qua non* de l'utilisation des ressources fourragères naturelles, distribuées de façon très hétérogène dans l'espace ou dans le temps.

Ces déplacements présentent un rythme saisonnier plus ou moins marqué entre des parcours naturels et des pâturages postculturels (transhumance), ou de nature plus conjoncturelle, en réponse à des irrégularités de répartition des pluies.

Ce schéma général relève à la fois d'une exploitation opportuniste de la ressource et d'une gestion plutôt conservatrice : l'éleveur choisit les parcours productifs et délaisse les parcours dégradés.

## Effets négatifs sur les écosystèmes

L'alimentation des herbivores domestiques repose sur le prélèvement de matières végétales. Cet acte élémentaire peut conduire à des effets positifs sur l'environnement lorsque le couvert végétal est jugé indésirable, quand celui-ci constitue un combustible qui menace de brûler et de provoquer des incendies. Ce même prélèvement devient un impact négatif lorsque son intensité remet en cause les potentialités de régénération du couvert végétal :

- soit directement, en modifiant la composition, la structure ou la productivité des peuplements herbacés ou ligneux ;
- soit indirectement, en agissant sur les facteurs de la production primaire que sont l'eau (redistribution des eaux de surface liée à une modification du recouvrement de la végétation), le sol (dénudation des sols et sensibilisation à l'érosion) et encore par l'interaction passive avec les autres consommateurs primaires (compétition avec les herbivores sauvages vis-à-vis d'une même ressource).

Les analyses socio-pastorales engagées dans les différents écosystèmes pastoraux ont révélé un certain nombre d'indicateurs relatifs des effets négatifs résultant des nouveaux comportements et de l'évolution des systèmes d'exploitation mis en œuvre par les pasteurs.

### Le surpâturage

La mise en culture et l'appropriation des parcours collectifs, le recours à l'association de propriétaires et de bergers ainsi que l'augmentation des aléas climatiques affectent directement la conduite alimentaire du cheptel. Il s'ensuit une prolongation de la période de pacage et une amplification de la charge pastorale en forêt et des risques de surpâturage.

Le surpâturage engendre par la suite un avortement du cycle végétatif des espèces pastorales appétables qui n'arriveront pas à maturité, ce qui conduit à une diminution du stock de semences du sol, à une perte de la biodiversité pastorale et à un dysfonctionnement des écosystèmes sylvo-pastoraux de la zone (BOUDERBALA, CHICHE et EL AICH, 1992).

Le piétinement réduit :

- la biomasse sur pied, en favorisant l'érosion ;
- la photosynthèse des plantes, en déchirant et en écrasant les tissus foliaires ;
- les stocks semenciers des sols par concassage des graines ;
- la capacité d'infiltration des eaux de pluie par tassement de la surface du sol.

La pression exercée par les pieds des animaux varie en fonction de l'espèce. Elle est de l'ordre de :

- 6 à 8 kg/cm<sup>2</sup> pour les bovins et les équins ;
- 2 à 3 kg/cm<sup>2</sup> pour les ovins et caprins.

À titre de comparaison, la pression exercée par les pneus de tracteurs est de l'ordre de 3 kg/cm<sup>2</sup>. Le parcours en période humide entraîne donc le tassement des

premiers centimètres du sol et une réduction importante de sa capacité d'infiltrer les eaux de pluie (SABIR *et al.*, 1996). Il peut être à l'origine du ravinement, en particulier le long des pistes menant des parcours aux points d'eau dans les vallées et aux étables ou aux parcs. De plus, ces effets négatifs s'exercent différemment selon le type de végétation (espèces vivaces ou annuelles) et le type de milieu.

### **Les exportations d'azote**

L'azote exporté par les prélèvements de biomasse varie entre 0,12 et 10 kg/ha et par coupe. Les faibles exportations sont le reflet d'une faible activité du cycle d'azote, faute de sources efficaces. Elles sont tout au moins le signe de pertes importantes au cours du cycle de cet élément. Par ailleurs, il est clair que le prélèvement par les troupeaux n'est pas suivi d'une répartition méthodique des excréments : ceux-ci sont concentrés à certaines heures dans les lieux de repos du bétail. De plus, les excréments libérés au cours des déplacements sont soumis à de brutales influences météorologiques : l'ensoleillement provoque des pertes d'ammoniac, des dessèchements et une mauvaise incorporation au sol, tandis que les pluies d'orage entraînent l'azote avec le ruissellement, l'érosion et le drainage.

Potentiellement, c'est-à-dire sans facteur nutritif limitant en N, P et K, les chutes de pluies observées entre 260 et 500 mm/an permettraient de produire un minimum de 20 kg de MS par millimètre de pluie (soit 6, 5 à 10 t de MS/an), à condition de trouver une source d'azote peu coûteuse. Si 20, 30 ou 40 % de ce potentiel seulement est réalisé grâce à la fixation symbiotique par les bactéries de légumineuses très rustiques se satisfaisant d'un niveau modeste de fertilisation en P, K, ce serait 1,6 ou 2,4 ou 3,2 t MS/ha/an disponibles.

Un autre facteur extrêmement puissant mais en étroite interaction avec le précédent est le niveau structurel de la matière organique exprimée par le rapport carbone/azote (C/N). Un rapport C/N élevé correspond à un excès de carbone et à une orientation de la vie microbienne vers l'humification de l'azote de préférence à la nitrification. Cependant, cette influence est directement sous le contrôle de l'ambiance climatique, à savoir l'état hydrique de l'atmosphère.

### **La désertification**

Dans les zones arides vulnérables, les indices et les causes de la désertification sont :

– Dégradation de la végétation : elle est caractérisée par un appauvrissement floristique, une perte de vigueur de la végétation et une dégradation de l'écosystème. Selon les secteurs, on observe la disparition des plantes arbustives (disparition de l'armoise en steppe par exemple) et le remplacement de plantes pérennes au profit des annuelles. Les formations ligneuses adaptées à l'aridité et utiles pour le bétail et l'homme sont également menacées. L'installation de cultures permanentes laisse les sols plus sensibles aux risques d'érosion et d'envahissement par d'autres plantes souvent peu appréciées (*Anabasis*, *Noaea*, *Peganum*, chénopodiacées, etc.).

– Dégradation des sols : elle se traduit par l'augmentation du ruissellement et de l'érosion éolienne avec l'apparition de dunes et la diminution de la qualité des sols (SABIR, 1994, 1996) et de la faculté de régénération des espèces végétales.

– Dégradation des écosystèmes : elle se manifeste par la diminution du taux de recouvrement par la végétation, la rupture d'un certain nombre de chaînes d'échanges entre organismes vivants, la raréfaction de la faune sauvage et la dégradation de leurs habitats spécifiques ainsi que la disparition d'espèces végétales rares.

– Surcharge animale et surpâturage : le dysfonctionnement entre l'effectif et le temps de présence des animaux, d'une part, et la période active de végétation, d'autre part, est une caractéristique générale des parcours. Ce dysfonctionnement est amplifié par :

- la concentration des animaux autour des points d'eau (mais la superficie en cause est faible et la multiplication des points d'eau à faible capacité peut contribuer à diminuer la pression) et leur mode inadapté de gestion ;
- la concentration sur des sites particuliers : parcours forestiers de montagne, pelouses, puits et points d'eau ;
- le transport d'eau par camion qui étend le pâturage en toute saison et favorise la montée en puissance des grands troupeaux ;
- les mauvaises pratiques d'exploitation : arrachage des buissons, ébranchage, écimage et défrichage.

Plusieurs de ces facteurs peuvent trouver leur origine dans une absence de gestion raisonnée ou une « gestion pastorale » inadaptée : c'est malheureusement souvent le cas de ces ressources pastorales collectives. Adapter l'effectif du cheptel et la charge animale à l'offre fourragère et aux conditions de durabilité de l'écosystème pâturé est une exigence difficile à respecter en zones pastorales arides.

Les défrichements sur parcours pour mise en culture (et appropriation de collectifs), la cueillette de plantes naturelles (l'alfa...), la mise en culture vivrière des bas-fonds (sols profonds, mieux pourvus en eau) privent le bétail des ressources fourragères les plus intéressantes.

## Possibilités d'amélioration de la gestion de l'eau, de la biomasse et des sols

Pour faire face aux besoins accrus de l'homme et de son cheptel en croissance et répondre aux exigences des systèmes d'utilisation actuels induits par l'évolution quasi générale de la sédentarisation des éleveurs, il serait utile d'orienter la gestion des ressources naturelles (eau, sol, biomasse) vers des modèles plus adaptés aux nouvelles situations.

## Gestion de l'eau

La gestion de l'eau dans les zones arides représente le problème primordial des éleveurs. En effet, par la rareté de la ressource et sa grande irrégularité dans ces zones, il y a lieu d'opter pour des modèles de production semi-traditionnels pour pouvoir emmagasiner l'eau d'une manière aussi durable que possible et dans les conditions d'accessibilité normales.

Ce modèle peut consister à :

- choisir des petits bassins versants ou des vallées qui puissent drainer le ruissellement ;
- construire des digues en terre avec des déversoirs renforcés pour évacuer en sécurité l'excès de ruissellement en cas de crues de fréquence rare.

Dans le cas où il n'y a pas de vallée, on peut procéder à l'ouverture de grandes fosses dans des sols marneux ou argileux avec des canaux de drainage d'eau soit naturel (piste, chemin), soit artificiel (sillon, etc.) ; les fosses à ciel ouvert peuvent être cimentées pour éviter les infiltrations d'eau dans le sol.

## Gestion de la biomasse

La gestion de la biomasse des parcours naturels nécessite le retour aux systèmes traditionnels pratiqués par les éleveurs : transhumance, *agdal*, pactes pastoraux, etc.

À défaut de pouvoir retrouver ces systèmes, on peut adopter des para-systèmes qui permettront de mieux gérer la biomasse dans le contexte actuel. Il s'agit de favoriser les pratiques suivantes :

- agnelage de printemps, au moment où l'herbe est abondante ;
- délestage des parcours par l'engraissement en dehors des parcours après l'été ;
- subvention des cultures fourragères pour encourager les éleveurs à constituer les réserves fourragères pour la période de soudure ;
- encourager matériellement la plantation de haies fourragères autour et à l'intérieur des exploitations agricoles (*Atriplex halimus*, légumineuses) ;
- encourager matériellement les pratiques d'*agdal* sur les pelouses d'altitude ;
- encourager les pratiques de mise en repos pour la régénération des parcours dégradés et en profiter pour les enrichir en plantes fourragères légumineuses.

## Gestion des nutriments

Les parcours naturels se caractérisent par un déséquilibre biogéochimique profondément marqué compte tenu d'une exportation continue des nutriments à travers la biomasse exploitée sans restitution adaptée.

Pour arrêter le flux des nutriments, les dispositions suivantes peuvent être prises :

- encourager les éleveurs à laisser les animaux ruminer en milieu de la journée sur les parcours ;
- encourager l'établissement des contrats de fumure entre les éleveurs et les exploitants agricoles de façon à permettre le pâturage des chaumes et jachère en échange des déjections des animaux laissés sur les exploitations agricoles ;

- encourager la pratique des parcs mobiles sur les parcelles de céréales après récolte et la pratique des parcs améliorés par apport des résidus de culture ;
- améliorer la production de fumier par les animaux en stabulation (besoin de charrette pour le transport) (LHOSTE et RICHARD, 1994) ;
- encourager la collecte de l'urine des animaux sur les parcs de nuit et son utilisation dans les exploitations agricoles pour l'enrichissement des sols en azote.



# Zones forestières : l'arbre et la GCES

*Mohamed SABIR  
Éric ROOSE*

## Introduction : la forêt des forestiers et les arbres de la GCES

Traditionnellement, la plantation des arbres par les forestiers est destinée à la production de bois pour différents usages : bois énergie (charbon de bois ou fagots), cellulose pour la pâte à papier, bois d'œuvre et fûts pour le déroulage (industrie des meubles), poteaux pour les constructions, le téléphone et les mines, etc. Pour les reboisements sont choisies des essences à croissance rapide, soumises à une sylviculture intensive qui exclut le pâturage. Ce modèle réussit relativement bien sur les terrains propriétés de l'État et dans une moindre mesure sur les terrains collectifs. Sur les terrains privés en pente, les reboisements en essences forestières sont rarement réussis. Seules des plantations d'eucalyptus et d'acacias sur les terrains privés sont réalisées par les paysans pour la production de perches et de bois de feu ou pour la fixation et la valorisation des espaces érodés et marginaux. Les paysans préfèrent planter des arbres fruitiers à usages multiples sur les bons sols : ils ont besoin de fourrage et supportent mal d'être privés de leurs droits de parcours dans les forêts et plantations forestières. Là où des plantations de pins suppriment toute possibilité de faire paître les troupeaux, l'agroforesterie offre un moyen de couvrir le terrain avec des arbres, donc de protéger l'environnement contre les risques d'érosion (en particulier l'érosion en masse) et de lessivage des nutriments. D'autre part, l'agroforesterie est un bon moyen d'intensifier et de diversifier la production annuelle sans augmenter les surfaces cultivées.

L'agroforesterie consiste à associer volontairement des arbres ou des arbustes à des cultures et (ou) des parcours sur la même parcelle. Elle trouve une vocation mixte de production agricole annuelle (culture, fourrage) et de production différée à long terme par les arbres (fruits, bois, services). Les arbres et les arbustes peuvent être naturels ou plantés. Les parcelles cultivées portant des cultures agricoles intercalaires et des arbres fruitiers ou forestiers correspondent à des systèmes agroforestiers (agrisylviculture). Les parcelles boisées avec de l'herbe et un sous-bois pâturés correspondent à des systèmes de sylvopastoralisme. Les parcelles cultivées, plantées avec des arbres/arbustes et pâturées, correspondent à des systèmes agro-sylvo-pastoraux. Ce sont des systèmes intégrés de gestion des ressources du territoire rural qui reposent sur l'association intentionnelle d'arbres ou d'arbustes avec des cultures ou avec l'élevage et dont l'interaction permet de générer des bénéfices économiques, environnementaux et sociaux : la réduction de la transpiration des cultures fragiles par l'ombrage de la canopée, l'augmentation de la MO du sol par le dépôt des litières et les activités de la mésafaune, le recyclage des éléments biogéochimiques lessivés par les racines profondes des arbres, la protection de la surface du sol par le feuillage et la litière, l'amélioration de la capacité d'infiltration et la réduction de l'érosion améliorent le bilan d'eau et la fertilité du sol. La production de biomasse est améliorée quantitativement et qualitativement. Les rendements augmentent, les risques de maladies diminuent et la production est diversifiée et échelonnée sur toute l'année. La caisse du paysan est alimentée plus régulièrement et plus sûrement plusieurs fois dans l'année.

Dans les montagnes marocaines (Rif, Moyen et Haut Atlas), on note un rythme élevé de transformation des paysages forestiers. Les versants sont surpâturés, défrichés, mis en culture et plantés en arbres fruitiers et agroforestiers. Les forêts naturelles, productrices de cellulose, ont cédé la place à des forêts artificielles, productrices de biens et services utiles pour les paysans. Ces nouveaux paysages sont organisés pour restaurer la fertilité des sols et assurer leur durabilité. Si la forêt primitive assure la plus forte accumulation de carbone dans le sol (stock C = 100 t C/ha sur 30 cm dans le Rif), son défrichement et sa mise en culture, du fait de la disparition des litières, entraîne une réduction de 50 % du carbone sous culture céréalière (SABIR et ROOSE, 2004). La plantation de pins a restauré le niveau de stock de carbone à 95 % du niveau primitif... mais elle n'est pas acceptée par les paysans qui ont besoin de fourrage. Par contre, les systèmes agroforestiers restaurent le stock de carbone du sol à hauteur de 75 % tout en maintenant une production alimentaire ou fourragère intéressante.

## Diversité des systèmes agroforestiers

Les systèmes agroforestiers au Maroc sont très divers selon les zones géographiques. Le climat, le substrat, la morphologie des terres et l'histoire de l'occupation des paysages par l'homme déterminent leur nature et leur structure.

*Les systèmes sylvopastoraux* correspondent essentiellement à des forêts ou matorrals de chênes verts, de chênes-lièges, de cèdres, de thuyas et d'arganiers qui sont pâturés d'une manière extensive par les troupeaux des usagers de ces espaces. Ces systèmes occupent les espaces forestiers du Rif, Moyen Atlas, Haut Atlas et Anti-Atlas. Ils sont caractérisés par une surexploitation élevée induisant des transformations du couvert végétal et des sols compromettant leur avenir.

*Les systèmes agrisylviculturaux et agrosylvopastoraux* correspondent essentiellement à des parcelles agricoles, cultivées et plantées avec des arbres fruitiers (olivier, amandier, figuier, vigne, etc.) ou forestiers (eucalyptus, acacia, peuplier, caroubier, etc.). Certaines parcelles, issues d'empiétements sur des espaces forestiers, comportent des arbres forestiers (chênes verts et liège, frêne, peuplier, etc.) qui sont souvent gardés sur les bordures et sont traités en arbres fourragers (têtards) ou « clôtures vertes ».

Dans le Rif occidental, les arbres les plus utilisés sur les parcelles cultivées sont l'olivier, le figuier, le prunier, le poirier et l'abricotier. Dans quelques vallées, on retrouve sur certaines parcelles du chêne vert sur substrat calcaire, du chêne-liège sur substrat gréseux ou du frêne et du peuplier dans les fonds humides des vallées. On y trouve un système agroforestier particulier, qui associe cultures vivrières et jachère forestière. Les espaces forestiers proches des villages sont mis en culture (céréales). Après une période de 3 à 4 ans, la fertilité du sol diminue à cause de la minéralisation des matières organiques du sol, de l'exportation des nutriments par les récoltes et de l'érosion hydrique (en nappe et ravinante). Le travail du paysan n'est plus rentable. La parcelle est abandonnée à la jachère longue (une dizaine d'années). Les souches des arbustes et arbres forestiers à enracinements profonds rejettent et donnent lieu à un matorral qui peut couvrir entièrement la parcelle. En 10 à 15 ans, la terre récupère une grande partie de sa fertilité. La parcelle sera de nouveau défrichée et cultivée. Dans les zones où les forêts ne sont pas encore délimitées, le défrichement de ces parcelles est interdit par les services forestiers. L'expansion démographique et le surcroît de pression sur les terres qui l'accompagne menacent la stabilité de ce système. Au fur et à mesure que les superficies cultivées annuellement s'accroissent, la période de jachère forestière se raccourcit, et les espèces ligneuses sont éliminées ou n'ont plus le temps de jouer leur rôle de restauration du sol.

Dans le Rif Central et l'Oriental, plus secs, les espèces dominantes sont l'amandier, puis l'olivier et le figuier. La vigne est utilisée sur certaines parcelles comme sous-étage de l'amandier ou du figuier.

Dans le Moyen Atlas, on note une nette dominance des rosacées en altitude (cerisiers, pruniers, pommiers, cognacés, etc.). Ce sont souvent des plantations intensives appartenant à des investisseurs venant des villes voisines. Les plantations paysannes sont constituées essentiellement d'oliviers. Le caroubier commence à devenir une espèce à grand usage, notamment dans le *dir* entre Beni Mellal et Khénifra.

Dans le Haut Atlas, on note une dominance de l'amandier sur les versants semi-arides et arides, de l'olivier sur les versants sub-humides. Ce dernier est limité par le froid en altitude (1 700 m). Dans les vallées encaissées et froides, on note une large expansion des rosacés, notamment le cerisier et le pommier sur les terrasses agricoles. Le noyer occupe les berges des oueds et des séguia. Le caroubier com-

menge à se répandre en tant qu'arbre fruitier et fourrager dans le Haut Atlas central calcaire. Sur les versants sud du Haut Atlas donnant sur la vallée de Souss, l'arganier constitue l'élément de base d'un système agrosylvopastoral traditionnel. Sur les versants nord et ouest de l'Anti-Atlas, des versants entiers sont aménagés en terrasses anciennes cultivées (céréales) et plantées en amandier. Les arbres sont vieux et abandonnés. Sur les versants non aménagés, l'arganier épars est associé à des cultures extensives de céréales (orge, blé dur). Le cactus raquette (*Opuntia*) prend une extension importante sur les versants abandonnés par les paysans partis à Casablanca et Agadir pour travailler dans le commerce.

## Gestion des systèmes agroforestiers

L'association des arbres aux cultures est bénéfique à la parcelle, d'une part, par la conservation de la fertilité de la terre et, d'autre part, par l'amélioration de la production. Ces effets positifs dépendent de la structure des arbres à l'intérieur de la parcelle (densité et disposition). Cependant, la quasi-totalité des espaces agroforestiers paysans comportent des densités très élevées d'arbres et d'arbustes et des dispositions anarchiques. Sur les terrasses fertiles des Atlas et du Rif, on rencontre des vergers avec des espacements trop serrés : l'olivier est parfois planté à 1 x 1 m ! L'arbre est en même temps un moyen de production et un moyen d'occupation du territoire et donc indicateur de propriété privée. Les cultures intercalaires se trouvent fortement concurrencées pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs.

Trop souvent, les arbres fruitiers ne sont ni taillés, ni traités contre les maladies et les parasites : ils produisent plus de bois que de fruits. Les plants utilisés par les paysans proviennent essentiellement des vergers locaux : gourmands, dragons, boutures, etc. Rares sont les paysans qui se procurent des variétés améliorées produites dans des pépinières spécialisées. Un effort d'encadrement est indispensable pour valoriser les vergers actuels et donc valoriser leur travail. Avec l'amélioration de la production – donc des revenus –, et des conditions de travail dans les vergers, les jeunes s'investiront plus volontiers dans l'entretien et le suivi des vergers bâtis par les anciens.

## Atouts de l'agroforesterie pour la GCES

Les parcelles agroforestières représentent un mode de mise en valeur distinct des parcelles agricoles et forestières traditionnelles. Elles tirent parti de la complémentarité des arbres (forte biomasse pérenne et enracinement profond) et des cultures (durée limitée à quelques mois et enracinement superficiel) pour mieux

valoriser les ressources du milieu. Il s'agit de pratiques respectueuses de l'environnement, et ayant un intérêt paysager évident. Les pratiques agroforestières ont de nombreux avantages :

- diversification des activités des exploitants agricoles, avec constitution d'un patrimoine d'arbres de valeur (biodiversité) ;
- rôle protecteur des arbres pour les cultures intercalaires ou pour les animaux : brise-vent, ombre, fixation des sols, stimulation de la microfaune et de la microflore des sols ;
- récupération par les racines profondes des arbres d'une partie des éléments fertilisants lessivés du sol ou libérés par l'altération des roches ;
- enrichissement du sol en matière organique ;
- protection des sols contre l'érosion hydrique en améliorant la couverture de la surface des sols, en stabilisant les berges des ravins et en renforçant les structures antiérosives (talus, murettes, murs des terrasses, etc.) ;
- pour les parcelles sylvopastorales, disponibilité d'unités fourragères pour le bétail, en particulier en période de grande sécheresse ;
- par les plantations agroforestières sur terres agricoles, mise en place d'une ressource en bois de qualité allégeant la pression sur la forêt avoisinante (bois de feu, bois de service) ;
- amélioration de la valorisation des ressources naturelles : la somme de la production de bois et de la production agricole d'une parcelle agroforestière est supérieure à la production séparée obtenue par un assolement agriculture forêt sur la même surface ;
- création de paysages bocagers originaux, attractifs, ouverts, favorables aux activités récréatives. Les parcelles agroforestières représentent un potentiel paysager réellement novateur, porteur de symboles forts et favorable à l'image de marque des agriculteurs dans la société ;
- lutte contre l'effet de serre : constitution de systèmes efficaces pour la séquestration du carbone, par combinaison du maintien du stock organique des sols et superposition d'une strate arborée fixatrice nette ;
- protection des sols (en particulier contre l'érosion en nappe par la litière et l'érosion en masse par les racines et l'assèchement des couches profondes du sol). Les arbres réduisent le ruissellement, mais augmentent beaucoup l'ETR, surtout si le feuillage est pérenne. C'est ainsi qu'en zone semi-aride on observe après défrichage une remontée de la nappe phréatique, car les arbres dessèchent le sol au-delà de 250 cm tandis que les cultures n'exploitent que les 50 premiers centimètres.

## L'agroforesterie et la fertilité des sols

Le rôle des arbres dans le recyclage des éléments nutritifs, la formation de la matière organique du sol, la prévention de l'érosion et la production de bois (de

feu et de service) ont été reconnus par les agriculteurs depuis plusieurs siècles. Les apports d'éléments fertilisants provenant de la fixation biologique de l'azote et de la désagrégation des minéraux du sol compensent les pertes d'éléments fertilisants dues au lessivage, à la dénitrification, au ruissellement et à l'érosion. L'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le soufre (S) et les oligoéléments sont absorbés par les racines profondes des arbres et restitués aux horizons superficiels du sol par la décomposition de la litière et des racines superficielles.

Les forêts des bioclimats humides accumulent d'énormes quantités d'éléments nutritifs au fur et à mesure de leur croissance et pourraient atteindre à leur maturité des valeurs de 700 à 2 000 kg de N, 30 à 150 kg de P et 400 à 3 000 kg/ha de K. Le recyclage efficace des éléments nutritifs du sol vers la biomasse, puis de celle-ci vers le sol permet aux arbres et aux cultures de se développer durablement, tant qu'il n'y a pas d'exportation majeure de biomasse du système. Le Houerou (comm. pers., juin 2008) a montré que la forêt de chêne vert de Puechabon, près de Montpellier, a une biomasse épigée de 163 t/ha de MS et une production primaire de 2,5 t MS/ha/an, soit environ 1,3 t de C/ha/an.

La principale différence entre les systèmes agricoles et les systèmes agroforestiers est qu'il y a une exportation nette d'éléments nutritifs du site au moment de la récolte. Cette exportation par les cultures peut entraîner un déficit net si les éléments nutritifs ne sont pas restitués. Les arbres peuvent donc favoriser la fertilité des sols ; cependant, il faut aussi tenir compte de l'importance relative d'autres facteurs – tels que la structure des sols, la matière organique de ces derniers et la concurrence pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs – avant d'attendre un effet positif sur la productivité des sols dans un système donné. Le problème de base en agroforesterie est de savoir comment gérer la concurrence pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs entre les arbres et les cultures et l'élevage au mieux des intérêts de l'agriculteur. En particulier, les alignements d'arbres devraient suivre la ligne isohypse pour réduire l'érosion hydrique et la ligne est-ouest pour réduire les effets d'ombrage. De même, pour réduire la concurrence hydrique, il est possible de « tailler les racines superficielles des jeunes arbres » par un passage de charrue ou d'une dent à 50 cm des arbres, ce qui réduit temporairement leur croissance mais les encourage à développer un système racinaire profond qui concurrence moins les cultures.

Les arbres peuvent fournir des apports d'azote dans les systèmes agroforestiers de deux manières : la fixation biologique de l'azote et l'absorption d'éléments nutritifs en profondeur, sous le réseau racinaire des cultures. Bien que la quantification de la fixation biologique de l'azote soit difficile, les estimations annuelles globales sont de l'ordre de 150 kg/ha de N (GILLER et WILSON, 1991).

Le prélèvement des éléments nutritifs par les racines des arbres à des profondeurs auxquelles ne peuvent arriver les racines des plantes cultivées peut être considéré comme un apport supplémentaire d'éléments nutritifs dans les systèmes agroforestiers lors de la décomposition de la litière.

Tableau 8  
Les effets des arbres et arbustes sur le sol

Processus	Effets sur le sol
Production de biomasse	<ul style="list-style-type: none"> <li>– addition de C et MO (humus, augmentation du C/N),</li> <li>– litière : protection contre l'effet splash,</li> <li>amélioration de l'infiltration et de l'activité biologique des sols ;</li> </ul>
Fixation d'azote	<ul style="list-style-type: none"> <li>– enrichissement en N,</li> <li>– amélioration de la productivité ;</li> </ul>
Pluie	<ul style="list-style-type: none"> <li>– interception et redistribution (amélioration de l'infiltration),</li> <li>– réduction de l'agressivité des pluies (érosivité) ;</li> </ul>
Protection contre l'érosion (hydrique, éolienne)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– augmente la couverture du sol (litière, branchage),</li> <li>– permet l'évolution des versants vers des terrasses progressives,</li> <li>– enrichissement par sédimentation devant les haies,</li> <li>– oriente le travail du sol et l'érosion aratoire,</li> <li>– augmente la résistance du sol par la MO,</li> <li>– stabilise les versants par le réseau racinaire,</li> <li>– réduit les pertes en sol et en nutriments,</li> <li>– améliore le bilan d'eau (brise-vent et réduction du ruissellement, mais augmentation de l'ETR) ;</li> </ul>
Augmentation de l'ET	<ul style="list-style-type: none"> <li>– réduction du ruissellement,</li> <li>– drainage biologique des sols et des versants ;</li> </ul>
Recyclage des nutriments	<ul style="list-style-type: none"> <li>– prélèvements dans les couches profondes,</li> <li>– réduction de la lixiviation des nutriments solubles,</li> <li>– augmente la période de disponibilité des nutriments ;</li> </ul>
Caractéristiques physiques du sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>– amélioration de la structure, stabilité des agrégats, porosité, perméabilité, stock d'eau utile, drainage ;</li> </ul>
Variation du microclimat (ombrage)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– réduction des températures et de l'évapotranspiration,</li> <li>– amélioration du bilan d'eau,</li> <li>– assèchement des horizons profonds du sol.</li> </ul>

Le prélèvement en profondeur du phosphore est probablement négligeable, en raison des très faibles concentrations de phosphore disponibles dans le sous-sol. Les deux principaux modes de perte de phosphore sont les exportations provoquées par les récoltes et l'érosion.

La nature des arbres, leur gestion et leur traitement dans les parcelles agroforestières déterminent l'effet du système sur la durabilité de la fertilité du sol. Certaines espèces produisent beaucoup de feuillage donnant lieu à la formation d'une litière abondante. Les espèces les plus intéressantes sont à feuillage caduc (mûrier, acacia, olivier). Les paysans peuvent procéder à la coupe et à l'épilage de branchages sur la surface des parcelles cultivées. Cet apport en matière organique est incorporé au sol au moment des labours. On peut aussi penser que la mésofaune qui enfouit la litière forestière et forme les horizons humifères sous forêt joue ce rôle dans des systèmes culturaux de semis direct sous la litière (no-tillage ou reduced-tillage systems) (MRABET *et al.*, 2004).

## Quelques espèces agroforestières du Maroc

### L'eucalyptus

Les espèces les plus utilisées sont l'*Eucalyptus camaldulensis* et *E. gomphocephala*. Les arbres peuvent être plantés le long des berges des ravins, en bordure des parcelles cultivées, le long des limites de propriété et autour des habitations.

Pour la production de perches de construction ou de manches d'outil agricoles, les densités de plantation peuvent être élevées (2 x 5 m). Sur les berges des ravins, 2 à 3 rangées peuvent être installées, espacées de 2 m. Les plants sont disposés en quinconce. Plus le milieu est aride et plus l'espacement doit être grand. Les eucalyptus peuvent être utilisés aussi pour l'ombrage et l'agrément des habitations paysannes et de leurs dépendances (hangars, écuries). Dans les zones arides et semi-arides, très ensoleillées durant une grande partie de l'année (mars à octobre), *E. gomphocephala* et *E. torquata* peuvent être utilisés à des densités relativement faibles. Ces deux espèces résistent au froid et à l'aridité de ces zones.

Ces espèces à croissance rapide sont utilisées aussi pour la stabilisation des versants où les glissements de terrain sont importants (Rif occidental marneux, schisteux), pour la stabilisation des pistes et le dessèchement des zones humides marécageuses, sources de parasites et de moustiques (Rharb). Pour réduire les risques de mouvement en masse, il faut exploiter les eucalyptus dès le stade de perches (période de 7 à 10 ans où l'arbre développe la plus forte ETR) sans quoi le poids du tronc et de la canopée peut engendrer les glissements de terrain.

Les plantations d'eucalyptus ont permis le développement d'une apiculture importante dans certaines zones du Maroc. Le coût de la plantation est relativement faible. Depuis plusieurs années, les services forestiers fournissent gratuitement les plants aux paysans qui les demandent. Le transport et la plantation sont à leur charge. Un arbre planté reviendrait de 2 à 5 Dm.

### L'*Acacia cyanophylla*

Parmi les nombreux acacias utilisés au Maroc, l'espèce la plus utilisée est *Acacia cyanophylla*. C'est un arbuste fourrager de moins de 5 m de haut. L'enracinement de cette légumineuse originaire d'Australie occidentale présente d'importantes nodosités fixatrices d'azote. Il produit annuellement beaucoup de branchage, feuillage, gousses et graines. C'est une espèce à longévité réduite (moins de 10 ans), qui préfère les sols sablonneux et qui prospère en climat semi-aride à humide (plus de 250 mm/an). Le feuillage et les jeunes rameaux de cette espèce constituent un aliment bien apprécié par les petits ruminants. Ce type de fourrage est riche en protéine mais relativement pauvre en énergie. Un kilo de matière sèche de la phytomasse disponible fournit en moyenne 0,4 UF (unité fourragère). En plus, cette espèce améliore le sol, protège le milieu contre l'érosion et produit du bois multi-usages. Les plantations

Tableau 9  
Analyses chimiques des parties vertes de l'Acacia cyanophylla

	<b>Matière sèche</b> %	<b>Matières minérales</b> (g/kg MS)	<b>Matières organiques</b> (g/kg MS)	<b>Matière azotée totale</b> (g/kg MS)	<b>Cellulose brute</b> (g/kg MS)
Feuilles et brindilles tendres	41	106	894	123	179

Tableau 10  
Production de l'Acacia cyanophylla

<b>Bioclimat</b>	<b>Densité moyenne</b> (plants/ha)	<b>Production matière sèche</b> (kg MS/ha/an)	<b>Valeur énergétique</b> (UF/kg MS)	<b>Production fourragère</b> (UF/ha/an)
Sub-humide (nord)	1 000	2 000	0,4	800
Semi-aride (centre)	800	1 500	0,4	600

d'acacias sont utilisées comme réserve fourragère sur pied (feuillage et gousse) principalement pour la sauvegarde du cheptel pendant les périodes de soudure hivernale et pendant les années de sécheresse où l'herbe est rare.

Généralement, les plants d'acacia sont élevés en pépinière et plantés sur le terrain à l'âge de 7 à 8 mois. La période favorable de mise en place des plants s'étend du 15 novembre jusqu'au 30 mars. La densité de plantation de l'acacia varie de 700 à 1 100 plants/ha selon la pluviosité et les conditions édaphiques. Les trous de plantation sont des cubes de 50 cm de côté.

Le coût de la plantation de l'acacia est relativement faible (2 à 5 Dm par plant).

## Le caroubier

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*) est un arbre pouvant atteindre 7 à 20 m de hauteur et des circonférences à la base du tronc de 2 à 3 m selon les stations. Son feuillage est dense et persistant. C'est un arbre xérophytique à longévité considérable, jusqu'à 200 ans. Les racines sont fortes et pénètrent dans le sol jusqu'à une profondeur de 18 m. Sa croissance est très lente, surtout à son jeune âge. Le caroubier marocain est unisexué. La forme hermaphrodite reste rare.

Le caroubier est une espèce agro-sylvo-pastorale avec des intérêts socio-économiques et écologiques importants. Il s'installe favorablement dans les zones arides et semi-arides (< 200 à > 800 mm/an). Il présente un intérêt de plus en plus grand en raison, non seulement de sa rusticité, de son indifférence vis-à-vis de la nature du sol, de son bois de qualité, de sa valeur ornementale et paysagère, mais surtout pour ses graines qui font l'objet d'un commerce dont la valeur dépasse celle de la production ligneuse. Ainsi, les gousses entières, la pulpe, les graines et la gomme font l'objet d'un commerce important en direction de l'Europe et de l'Amérique. La demande mondiale pour la gomme correspond à environ 35 000 t de graines.

Le caroubier occupe au Maroc une surface d'environ 30 000 ha. Il s'étend sur les plaines et les moyennes montagnes du Rif, du Moyen Atlas, du Haut Atlas et de l'Anti-Atlas. Souvent en association avec l'oléastre, le lentisque, le thuya ou l'arganier, il se développe dans les bioclimats humide, sub-humide, semi-aride et aride côtier à variantes chaudes et tempérées. C'est une espèce plastique, héliophile, thermophile, très résistante à la sécheresse (200 mm) mais pas au froid. Elle tolère les sols pauvres, sablonneux, limoneux lourds, rocailleux et calcaires, des pH de 6,2 jusqu'à 8,6 mais craint les sols acides et humides. La tranche altitudinale optimale à son développement est de 600 à 1 000 m.

Sa production annuelle dépend du bilan hydrique dans le sol, notamment des précipitations. Elle varie de 10 000 à 16 000 t en gousses (4 800 t en graines). Elle n'a pas cessé d'augmenter depuis une vingtaine d'années. Selon les plantations, elle est passée de presque 1 t/ha/an à plus de 6 t/ha/an.

Dans les peuplements naturels, et selon leur gestion antérieure, les densités varient de 5 à 25 pieds/ha. Les arbres sont hétérogènes du point de vue âge, forme et vigueur. Du fait de leur importance croissante dans le revenu de l'exploitation et dans le bilan fourrager des troupeaux, les paysans prennent de plus en plus soin de ces arbres, aussi bien en forêt que dans les parcelles cultivées. Les rejets et gourmands sont coupés, les arbres sont taillés et les mâles sont greffés par des greffes femelles de bonne souche (qualité et production).

Dans les vergers récents (peu nombreux), le caroubier est planté à 100-200 pieds à l'ha. Il est conduit comme un arbre exclusivement fruitier (gousses et graines). Les arbres sont taillés, irrigués, fertilisés et traités contre les maladies.

Le caroubier est cultivé pour divers usages. La gousse, fruit du caroubier, se compose d'une pulpe enveloppant une graine. Les sous-produits, la farine de pulpe, la farine de graines et la protéine de germe de caroube sont utilisés en alimentation humaine et animale :

- la farine obtenue en séchant, torréfiant et moulant les gousses dégrainées est utilisée en agro-alimentaire et pour la production d'alcool ;
- la gomme extraite de la graine rentre dans la composition de produits agro-alimentaires, pharmaceutiques (contre les diarrhées), textiles et cosmétiques. Une quantité de 100 kg de graines donnent en moyenne 20 kg de gomme pure et sèche ;
- lors de la préparation de la gomme de caroube, la graine génère un sous-produit très riche en protéines, le germe ; il contient 35 % à 50 % de protéines utilisées dans l'alimentation des poulets ;
- la pulpe contient une grande proportion de sucre (glucose, saccharose, fructose), 35 à 50 %, dont on tire une mélasse. Après un processus de torréfaction, elle est aussi utilisée comme un substitut au cacao. La pulpe de caroube ne renferme ni théobromine, ni caféine, mais elle contient une quantité élevée de polyphénols, qui donne un « chocolat » de qualité. La pulpe contient aussi un galactomanane utilisé dans l'agro-alimentaire comme épaississant pour les glaces ;
- le caroubier est une excellente plante mellifère et pastorale : les feuilles et la pulpe des gousses ont des valeurs fourragères, respectivement, de 0,3 et 0,6 à 0,9 UF/kg de matière sèche.

On se sert aussi du caroubier pour lutter contre l'érosion des sols sur les versants en pente, comme brise-vent et comme arbre ornemental. Son bois est apprécié en ébénisterie et pour la fabrication du charbon. L'écorce et les racines sont employées dans le tannage. Le prix de vente des caroubes varie de 3 à 5 Dm/kg d'août à septembre, et jusqu'à 9 Dm d'avril à juillet. Les graines décortiquées sont vendues entre 22 et 32 Dm/kg dans trois régions commerciales : Fès, Marrakech et Agadir.

En peuplement naturel, le caroubier fructifie à l'âge de 10 ans. Conduit en verger intensif, il peut produire dès 5 ans. Avec des densités de 45 à 100 pieds/ha, la production moyenne est de 2 à 3,5 t/ha. Des arbres adultes isolés peuvent fournir plusieurs quintaux de gousses, 300 kg ne sont pas rares. Un verger de 50 arbres par hectare, produisant en moyenne à l'âge adulte 70 kg/arbre, fournit 3,5 t/ha.

Le caroubier est une espèce dioïque et les peuplements spontanés ont une diversité génétique importante, mais sa fructification est très irrégulière à cause généralement d'une mauvaise pollinisation et d'une déficience en soins culturaux. Ses qualités de rusticité ont fait de lui un arbre multiplié depuis longtemps par les forestiers.

Au Maroc, la méthode la plus utilisée pour multiplier le caroubier est le semis. Cette technique, par voie sexuée, présente un certain nombre d'inconvénients :

- les semis donnent 50 % de mâles improductifs ;
- la production est très tardive : plus de 8 ans.

Le bouturage est une technique limitée. Les résultats varient en fonction des arbres et de la nature de la bouture. Le greffage en fente apicale est une technique efficace et maîtrisée par les paysans.

Exigeant en lumière, le caroubier ne supporte pas des densités élevées (100 à 200 arbres/ha) en fonction de l'eau disponible et de la forme de l'arbre. Pour assurer la pollinisation, il est nécessaire d'avoir un pollinisateur pour 10 pieds femelles.

Les trous de plantation (1 m<sup>3</sup>) doivent permettre un développement vigoureux du système racinaire et une meilleure résistance à la sécheresse. Le trou doit être irrigué juste après la plantation. Un paillage (mulching) aide à protéger les plants du gel et à limiter l'évaporation. La meilleure période de plantation serait vers le début du printemps. Les rejets des souches doivent être limités pour maintenir un seul tronc.

*Tableau 11*  
*Coût d'installation d'un verger de caroubiers*

<b>Nature des opérations</b>	<b>Coût (Dm/ha)</b>
Achat des plants (150)	1 500
Transport des plants	1 500
Ouverture des trous (150) et plantation (rebouchage)	7 500
Fumure (organique et minérale)	750
Paillage après plantation	750
Irrigation (première et deuxième saison estivale)	3 000
<b>Total</b>	<b>15 000</b>

## Le figuier

Le figuier (*Ficus carica*) appartient au genre *Ficus* qui comprend 700 espèces. Cette espèce a une importante capacité de régénération végétative et de production de fruits. C'est un arbre de hauteur très variable. Dans le bassin méditerranéen, il atteint douze mètres de haut. Le figuier craint le froid et il est déconseillé d'installer des plantations commerciales dans les régions où la température descend en dessous de 5 °C.

La superficie totale occupée par le figuier au Maroc est de 42 000 ha. Il existe cinq grandes zones de production de figues : Taounate (22 230 ha), Chefchaouen (7 050 ha), Al Hoceima (5 000 ha), Ouezzane (3 150 ha) et Tétouan (2 000 ha). D'autres plantations sont réparties entre Taza, Nador, Essaouira, El Jadida et Safi. Le rendement moyen est de 2,5 t/ha, ce qui est très bas comparé aux 5 à 8 t/ha des plantations industrielles. Le figuier est productif à compter de la quatrième année et atteint son maximum de production vers 12 ans. On trouve les variétés Ounk H'Man, El Homran, Mebdar qui sont à peau violette et El Mansour, Nabort, El Koto, Beida, Ferzaoui, à peau verte.

Le figuier joue également un rôle important dans la conservation des sols et l'embellissement des paysages. Arbre rustique et facile à conduire, cette espèce mériterait d'être développée, bien que les fruits soient fragiles à transporter.

La période de fructification des figuiers est très différente selon les variétés. Certaines variétés n'ont qu'une seule fructification, d'autres fournissent deux récoltes par an, l'une de gros fruits, ou figues fleurs (Bakor), formés sur les rameaux de l'année précédente, qui mûrissent en juillet-août, et l'autre de fruits standard, formés sur les rameaux de l'année, qui mûrissent en septembre-octobre (Karmousse).

La production du figuier commence au bout de 12 ans, se poursuit jusqu'à 50 ans et fournit de 15 à 80 kilos de fruits par arbre. La production diffère selon le mode de culture et la qualité de la terre. L'échelonnement de la maturité des fruits peut s'étendre sur plusieurs mois et va nécessiter une récolte tous les deux jours, et par conséquent une main-d'œuvre très importante. Par exemple, la figue d'automne demande 90 à 100 jours de passages.

La figue est très énergétique, riche en vitamines et en éléments minéraux. Ce fruit qui a aussi des propriétés laxatives et diurétiques peut être séché et transformé. Le figuier s'adapte à tous les types de sol mais il préfère des sols sableux profonds, fertiles et bien drainés. Ses racines sont généralement traçantes et les travaux du sol doivent être limités à la couche superficielle du sol. Avec le développement de la frondaison (4<sup>e</sup> année), le couvert végétal réduit la concurrence des adventices.

Le figuier se multiplie principalement par boutures. La période la plus favorable est début mars. Le plus simple est de couper une branche en tronçons de 15 à 25 cm et de les planter dans une terre riche en humus en laissant dépasser 1 ou 2 yeux. Il faut le protéger des gelées printanières et du soleil en cas de forte chaleur. La plantation d'un figuier mâle suffit pour 20 arbres femelles. Le figuier a besoin de soleil et de chaleur ; le planter de préférence en situation abritée, le long d'un mur orienté au sud. Les espacements de plantations varient selon la

Tableau 12  
Coût d'installation d'un verger de figuiers

Nature des opérations	Coût (Dm/ha)
Achat des plants (300)	3 000
Transport des plants	1 500
Ouverture des trous (300) et plantation (rebouchage)	6 000
Fumure (organique et minérale)	750
Paillage après plantation	750
Irrigation (première et deuxième saison estivale)	3 000
<b>Total</b>	<b>15 000</b>

richesse du sol, de la pluviosité annuelle et des possibilités d'irrigation : 3 à 6 m sur le rang et 5 à 7 mètres entre les lignes (250 à 400 plants/ha).

Bien que le figuier soit tolérant à la sécheresse, des arrosages copieux améliorent la production en quantité et en qualité. Ses besoins réels annuels sont de l'ordre de 600 mm, surtout au printemps et en début de l'été. Les arrosages doivent être espacés et copieux. Mais des pluies abondantes en période de maturité fragilisent l'épiderme et provoquent l'éclatement des fruits.

Le figuier pousse naturellement en cépée, mais il peut être conduit en gobelet sur un tronc de 1 à 2 m, ce qui permet une rotation des charpentières grâce aux rejets de souche.

Il n'y a pas de taille de fructification proprement dite, mais il faut équilibrer les charpentières et remplacer les branches dépérissantes. En raison de son bois tendre et creux et de sa faible aptitude à cicatriser, les coupes doivent être effectuées au printemps à la montée de sève.

Le figuier ne requiert pas de fortes doses de fumure azotée. En sol irrigué et riche, on peut préconiser une fumure riche en potasse de type 1-2-2,5 (NPK). En sol pauvre, l'apport du fumier additionné à la potasse (200 unités) est préférable. La fumure doit être apportée loin du tronc et à l'aplomb du feuillage. Bien que ses ennemis soient nombreux (cochenille, mouche de la figue, teigne, chancre, mosaïque), le figuier est un arbre rustique ne demandant pas de traitements particuliers. Un traitement d'hiver préventif au cuivre peut être suffisant.

La mise à fruit débute à partir de la 3<sup>e</sup> année, mais le rendement maximal (de 5 t/ha en terrain sec à plus de 20 t/ha/an en culture irriguée) est atteint à l'âge de 6 ans.

## Conclusion

L'arbre occupe une place importante dans l'équilibre des écosystèmes marocains. Cependant, on constate que les forêts naturelles sont en net recul devant la pression foncière, alors que les cultures arborées fruitières envahissent les

fonds de vallée. Le rôle des fruitiers n'est pas identique à celui des arbres des forêts, mais ils apportent à la fois des revenus plus importants aux populations rurales montagnardes et de nombreux services écologiques (énergie, fourrages, séquestration du carbone, recyclage des nutriments lessivés sous les racines des plantes annuelles, augmentation de l'évapotranspiration réelle et stabilisation des versants susceptibles de migrer par érosion en masse). Enfin, le bois des arbres fruitiers en fin de vie a une grande valeur pour l'ébénisterie (déroulage et marqueterie). Il est clair que les paysans préfèrent la plantation de fruitiers à la plantation d'arbres forestiers qui inhibent la croissance des herbes fourragères exploitées par le bétail.

Reste le problème des soins sanitaires et de la taille des arbres fruitiers qui, souvent plantés trop serrés, produisent plus de bois et de fourrage que de fruits commercialisables.

# Les milieux imperméables, urbains et routiers

Éric ROOSE

## La problématique

On pourrait être étonné de trouver dans un manuel de GCES un chapitre consacré au milieu urbain qui, à première vue, ne laisse aucune place aux techniques culturales et bien peu à la végétation. En réalité, plus de 50 % de la population marocaine vit en milieu urbain ou périurbain en pleine extension et les quartiers s'étendent dans des champs récemment cultivés et non propices aux constructions car sujets aux ravinelements, coulées boueuses, voire glissements de terrain. On trouve d'ailleurs des traces des anciennes terrasses dans certains quartiers périphériques des villes de montagne, ainsi que des jardins et des espaces verts qui ont aussi un rôle à jouer sur l'infiltration des eaux de pluie.

On a tous à la mémoire les phénomènes catastrophiques survenus récemment dans cette grande ville du Maghreb, Alger, qui a vu ses rues transformées en torrents par des pluies diluviennes occasionnant des coulées de boue et tuant un millier de personnes en quelques heures dans le vieux quartier de Bab El Oued, dont le réseau de drainage avait été progressivement obstrué par les immondices. De plus, certains quartiers ont été bâtis sur des couvertures pédologiques instables, qui lors d'averses exceptionnelles se sont remises en mouvement (d'où des bâtiments fissurés fragilisés). Dans les nouveaux quartiers, des ravines de plusieurs mètres de profondeur se creusent en quelques années pour évacuer le ruissellement qui se développe sur les toits des maisons, dans les cours en terre battue soigneusement balayées chaque matin, sur les chemins et pistes tassés par le passage incessant des hommes et des animaux, voire des voitures et des camions.

En Afrique, les exemples sont nombreux où, après quelques orages spectaculaires, les terrains voisins des maisons sont décapés, les maisons basculent dans les

ravines ou sont emportées par des glissements de terrain. Au fond des vallons, des habitations sont enfouies sous les sédiments arrachés aux versants (TCHOTSOUA et BONVALLOT, 2000).

B. EL FELLAH *et al.* (1996) ont bien montré l'origine complexe de nombreux glissements dans la zone littorale méditerranéenne marocaine entre Torres et Al Hoceima : il s'agit d'une zone comportant de nombreuses failles qui, à l'occasion d'activités sismiques, de sapement des côtes par la mer et par des ravines lors d'averses abondantes, entraînent des mouvements de masse rotationnels, des éboulements de blocs détachés de la falaise et des coulées boueuses. Bien que ces mouvements de masse soient en relation directe avec des failles et la lithologie, il est fréquent que leur dangerosité soit aggravée du fait du développement d'habitations à bon marché sur des terrains vendus moins chers que les terres stables aux populations rurales émigrées. Ces dernières ignorent les pièges de ces terrains instables ou qui n'ont plus été inondés depuis dix ans.

Certes, les processus en cause sont différents de ceux qui ont cours généralement dans les campagnes, mais ils provoquent des dégâts considérables. Même si on ne dispose pas de moyens suffisants pour les combattre, il nous a semblé utile de décrire quelques moyens traditionnels pour alléger les risques de ruissellement et d'inondation dans les nouveaux quartiers en voie de construction.

En région méditerranéenne, le risque vient plus souvent de l'amont que de la ville elle-même. En effet, les vieilles villes ont généralement été construites sur des terrains choisis pour leur situation de défense (pitons rocheux stables bien drainés) ou situés à la croisée des routes commerciales ou encore dans des plaines dont le drainage a très tôt été assuré par des canalisations empierrées. Cependant, certaines vieilles cités ont connu des épisodes d'inondation par les torrents qui se sont développés sur les terres semi-arides cultivées ou pâturées, défrichées en amont.

Au Maroc, les bourgades et cités en pleine expansion depuis l'émigration des populations rurales (et qui connaîtront encore une accélération de cette émigration face aux sécheresses qui s'accroissent) voient se développer une urbanisation sauvage, en particulier sur les terrains les moins chers : des versants raides ou instables, des berges d'oueds ou des ravines. Ces terrains, lors d'orages très intenses (été) ou au cours des longues périodes de pluies surabondantes (automne ou printemps), vont connaître des inondations avec sapement de berges et développement des ravines mettant en péril les biens et les gens.

Dans le Rif et le Prérif, la nature des roches étant marno-calcaire ou schisteuse, les terrains s'avèrent très instables et on constate dans les villes de Chaouen, Bab Taza, Bab Bered, Taounat, la fissuration des villas et des immeubles au fil des années à cause des glissements de terrain. Le long des oueds du Haut Atlas, le sapement des berges lors des crues peut également entraîner la destruction de l'habitat. Dans la vallée touristique du Lourika, on peut constater depuis les dernières inondations catastrophiques (1998) des maisons détruites par l'oued ou par la chute de blocs de pierre de plusieurs tonnes défonçant tout sur leur passage.

Par ailleurs, dans l'ensemble du Maghreb, on peut observer que le réseau de pistes et de routes en zone de montagnes ou de collines engendre la formation de

nombreuses ravines très actives, du fait du captage du ruissellement accumulé sur les versants et sur la voie de circulation rendue imperméable par le tassement lors du passage des véhicules.

Les causes de ces phénomènes de ravinement, de mouvements de masse et d'inondation étant voisines (l'imperméabilisation du milieu urbain et des pistes provoque des pointes de crue très énergétiques), nous pensons qu'il est possible d'exploiter ici quelques systèmes traditionnels de gestion des eaux de surface excédentaires au cours d'événements pluvieux de fréquence rare. En effet, ces problèmes ne sont pas nouveaux, et les Anciens (Romains, Arabes et Berbères) nous ont laissé de beaux exemples de gestion conservatoire de ces eaux dévastatrices.

## Quelques solutions pour prévenir les risques

Il ne s'agit pas ici de développer les techniques des ingénieurs des Ponts et Chaussées, mais de rappeler quelques règles de sagesse connues depuis longtemps qui permettent de réduire les risques de dégâts des eaux et de valoriser les eaux captées et stockées.

1. Capturer les eaux de pluies sur les toits ou les surfaces rocheuses et les stocker dans une citerne (citerne romaine ou *matfia* cimentée couverte), une simple mare (*madgen*) ou un bassin irriguant un jardin est possible dès que l'habitat devient rectangulaire et peut supporter des gouttières. En milieu urbain, il faut exiger que toute habitation nouvelle capte ses eaux domestiques, ce qui permettra de réduire à la fois les débits de pointe dans les canalisations de drainage lors des averses et la consommation d'eau propre en période sèche. Les vieilles mosquées (comme Kairouan, El Jadida) disposent souvent de grandes citernes dont les eaux sont recyclées pour les ablutions.

2. Respecter le ratio surface bâtie/surface filtrante (jardins + cours empierrées + cours engravées + puits d'absorption). Ce rapport doit diminuer à mesure qu'on s'éloigne du centre-ville de 1/2 à 1/10<sup>e</sup> de façon à étaler l'écoulement des pluies excédentaires et à éviter les crues brutales qui charrient la majeure partie des sédiments grossiers.

3. Les squares et parcs publics, surtout s'ils ont des étangs, permettent de compléter l'action de retardement des écoulements et par conséquent de réduire les transports solides.

4. Aménager les ravines pour qu'elles se développent en « jardins filtrants » abondamment protégés par des tapis herbacés, un mulch de cailloux et des arbres rustiques à enracinement profond et à forte évapotranspiration comme les eucalyptus et les peupliers.

5. Préserver toutes les vallées (terrains non constructibles) pour en faire des étangs, des terrains de sport séparés par des passages couverts de cailloux filtrants.
6. Réduire les surfaces imperméabilisées telles que parkings goudronnés (utiliser des graviers ou des briques creuses ensablées), pistes en terre tassée (enserrer la bande de roulement par deux bandes enherbées de plus de deux mètres).
7. Sur les pistes de montagne, prévoir un bombement (ou un petit canal entre deux demi-troncs d'arbres) chassant les eaux de ruissellement vers des fossés latéraux ou vers le côté amont. Un dalot servira à évacuer les eaux de ruissellement du côté aval tous les 25 à 50 m ; les eaux doivent ensuite être accompagnées jusqu'au fond de la vallée par un canal bétonné rugueux pour réduire l'énergie du drainage dispersée sur les pentes de terre peu cohérente. Comme cela est rarement fait, on peut observer le creusement rapide de nombreuses ravines capables de lacérer les pentes et finalement de couper la route.
8. Enfin, pour éviter les glissements de terrain lors du creusement des pistes en montagne, l'expérience a montré qu'il est bon de dessécher l'assiette des pistes en plantant quelques lignes d'eucalyptus à traiter en taillis (coupe à blanc tous les 5 à 7 ans) pour éviter que les troncs de ces grands arbres ne déséquilibrent le versant durant les périodes très pluvieuses. Un lacis de graminées bien dense retiendra les bandes de roulement de chaque côté (*Cynodon dactylon*, *Digitaria umfolozi*, *Vetiver zizanoïdes*, citronnelle).

## Conclusion

Le thème de la gestion des eaux issues du ruissellement sur des pistes et en milieu urbain mériterait d'être traité plus en détail dans un ouvrage spécialisé. Actuellement, les constructeurs des pistes en pays montagneux semblent ignorer les dégâts qu'ils causent aux riverains, souvent obligés de cultiver ces pentes pour nourrir leur famille : ravinement, réduction de la surface cultivable, ensablement des bas-fonds irrigués, envasement des petites retenues d'eau d'irrigation, ensablement des habitations en contrebas des routes, inondation des parcelles en contrebas des drains d'évacuation des pistes, etc.

Les exemples cités montrent qu'il existe des méthodes utilisées depuis longtemps, mais elles ont un coût et demandent parfois une main-d'œuvre abondante. Leur mise en œuvre reste la meilleure solution pour minimiser voire éliminer les risques de ravinement et économiser l'eau, ressource rare donc chère, tout en offrant une variété d'emploi dans la prévention.

Le public a du mal à imaginer le volume issu du ruissellement d'une averse de fréquence annuelle : en effet, 50 mm de pluie ruisselant ( $K_r = 95\%$ ) sur un hectare imperméabilisé entraînent un ruissellement de plus de 450 m<sup>3</sup>. Pour des raisons économiques, il n'est pas toujours possible pour les ingénieurs qui

calculent les dimensions des canalisations de drainage de respecter les normes qui s'appuient sur les pluies décennales. Or, ce sont les pluies de fréquence rare qui causent les plus gros dégâts.

Alors qu'il est question du réchauffement climatique qui entraîne la raréfaction des ressources en eau et l'augmentation des événements catastrophiques, il est important que chaque citoyen prenne en charge une partie de l'aménagement nécessaire pour maîtriser les eaux superficielles en stockant ces eaux de bonne qualité pour divers usages domestiques. En Haïti comme au Burundi, des projets de citernes réalisés par des ONG ont permis d'observer à la fois une réduction des problèmes de ravinement, l'amélioration de l'hygiène des familles, la réduction de la corvée eau et le développement de jardins potagers (Smolikowski et Brochet, comm. pers.). C'est exactement la philosophie de la GCES : transformer un mal (le ruissellement) en un bien (le stockage de l'eau).



# Choix de techniques de GCES par zone agro-écologique au Maroc

Mohamed SABIR  
Éric ROOSE

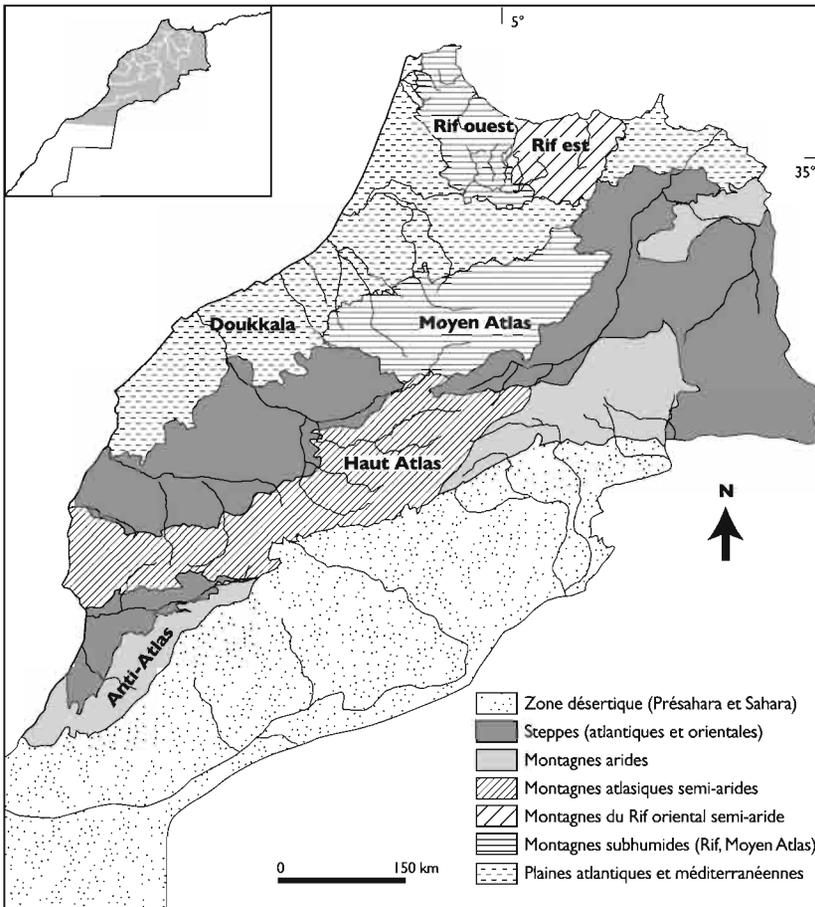


Fig. 25

Carte des régions agro-écologiques concernées par la lutte antiérosive (LAOUINA, 2010).

Tableau 13  
Grappes d'aménagements en fonction des sept zones agro-écologiques

Zones	Pluies (mm)	Gestion de l'eau	Couvert végétal et aménagements
1. Désertique : Présahara, Sahara, Anti-Atlas oriental, Haut Atlas sud	< 100	capture, résurgences	versants dénudés, oasis, lutte contre ensablement, inondation, barrages collinaires, faïde, <i>khattara</i> , <i>séguia</i> , oasis en terrasses irriguées
2. Plaines steppiques arides Chiadma, Haha, Haouz, Souss	< 300 hiver froid	capture, cuvettes, irrigation locale	parcours, céréales en zones plateaux, terrasses progressives, Oriental, <i>faïd</i> , <i>jessour ghdir</i> , citernes, <i>meskat</i> , haies vives
3. Montagnes arides, Atlas oriental et sud, Anti-Atlas occidental	< 300 hiver froid	capture, stockage, citernes, irrigation locale	oasis de montagne sur les oueds, terrasses progressives et céréales, terrasses en gradins + jardins, citernes diverses
4 Montagnes semi-arides, Atlas central et occidental	300 à 600 hiver froid	capture/versant, vallées irriguées, crues des oueds	forêt, matorral, parcours, Haut Atlas terrasses, progressives, prés, céréales, légumes, arboriculture, gradins/séguia, jardins/oueds
5. Prérif et Rif oriental semi-aride	300 à 600	capture + infiltration, citernes + irrigation	matorral ⇒ parcours ⇒ cultures en terrasse progressive ou gradins irrigués, jardins irrigués/oued, amandiers
6. Prérif et Rif occidental sub-humide et humide, Moyen Atlas	600 à > 1 500 hiver doux	infiltration + drainage + conservation des sols + lutte contre crues	forêt ⇒ matorral ⇒ parcours ⇒ culture, terrasses progressives, gradins irrig., chemins d'eau, ravins végétalisés
7. Plaines atlantiques, plateaux grandes cultures, Rharb, Loukkos, Doukkala, Tadla, basse Moulouya	300 à 600	Infiltration + capture, irrigation + fertilisation	forêt ⇒ parcours ⇒ cultures, peu de CES, haies, grandes cultures irriguées, serres

Au chapitre 5, sont exposés les critères géographiques et humains de distribution des dispositifs de GCES. Aux chapitres 6 et 7, sont décrites 30 techniques de gestion de l'eau et des sols classées selon le mode de gestion de l'eau (capture, infiltration totale, diversion et dissipation) et leurs associations dans les bassins ou les toposéquences de plusieurs régions du Maroc.

Dans ce chapitre, nous avons regroupé en grappes les techniques qui sont adaptées à chacune des sept zones agro-écologiques principales dans lesquelles les utilisateurs pourront choisir un ensemble de techniques en fonction des conditions socio-économiques du groupe de paysans exploitant un versant ou un terroir villageois. Nous tenterons ainsi de tenir compte du bilan hydrique (pluie, ETP), de la diversité des systèmes de production, de la pente et des sols, du type d'exploitation et du milieu humain, agriculteurs de longue tradition ou éleveurs ayant récemment évolué vers des systèmes agro-sylvo-pastoraux.

## Zone désertique Présahara, Sahara, Anti-Atlas oriental, versant sud du Haut Atlas Sud

### Milieu

Dans ces zones ne recevant que des pluies erratiques en période fraîche et subissant des chaleurs torrides en été ( $ETP > 2\,000$  mm), quasi aucune végétation ne résiste sur les versants. Seuls le lit des oueds et les alentours des sources, des forages et des vallées irriguées possèdent une maigre végétation naturelle ou cultivée (oasis de palmiers, acacias, épineux divers). Cependant, juste après les gros orages, se développent rapidement des prairies de plantes annuelles qui bouclent leur cycle en un mois.

### Aménagements

– Oasis et *khettara* : pour développer des cultures, les paysans ont aménagé des oasis où des eaux de sources et des nappes phréatiques sont capturées par forages ou par *khettara* (tunnels creusés dans les alluvions ou les piémonts jusqu'à la nappe phréatique). Vu le coût et le danger de l'entretien des galeries souterraines, la majorité des *khettara* sont abandonnées : elles pourraient être remplacées par de gros drains perforés en plastique ou en terre cuite. Toute une série de techniques de partage des eaux entre les propriétaires des oasis permettent d'irriguer des petites parcelles où poussent trois étages de végétation : des cultures



© E. Roose

Là où aucune végétation ne résiste sur les versants, les paysans ont mis à profit les maigres ressources en eau pour aménager des oasis.

(légumes, céréales et fourrages), des arbustes (oliviers, abricotiers, grenadiers), et des grands arbres (palmiers dattiers, oliviers, etc.). Des cuvettes entourent les arbres tandis que les cultures poussent sur billons dans des planches irriguées. Des haies de rosiers, amandiers, figuiers cloisonnent les parcelles et ralentissent les vents. Les abords des oasis doivent souvent être protégés des vents violents et du sable par des haies de palmes, des branches de lauriers-roses et divers arbustes. Les dangers majeurs consistent dans l'ensablement et la salinisation des sols d'où s'évaporent les eaux d'irrigation.

– Localement, des fossés sont creusés au pied des collines pour récupérer les eaux de ruissellement et les concentrer sur des cultures d'arbres fruitiers plantés dans de grandes cuvettes dans les meilleures terres des vallées.

– Des petits barrages collinaires stockent le ruissellement au confluent des vallées secondaires. Des *faïd* captent les eaux des crues grâce à des digues de terre dans l'oued et les redistribuent sur les champs et les cultures fruitières par des canaux creusés dans les plaines.

## Zone de plaines et plateaux arides steppiques

### Oriental, Souss, Haouz, plateaux atlantiques arides

#### Milieu

Avec 100 à 300 mm de pluies tombant en hiver, une ETP de l'ordre de 1 800 mm et trois mois d'été torrides, la steppe a encore du mal à survivre sur les versants surpâturés. Le meilleur mode de gestion des eaux consiste à capter le ruissellement sur les versants de parcours extensifs et à le stocker dans les meilleurs sols cultivés dans la vallée.

#### Aménagements

En plus des aménagements des zones sahariennes, on a observé des cultures extensives sur colluvions de bas de colline qui captent les eaux de ruissellement des versants peu perméables. Ces champs rapidement labourés au tracteur produisent des grains tous les 2 ou 3 ans (années pluvieuses excédentaires) et surtout de la paille pour le bétail toutes les années. Les versants à parcours extensifs peuvent aussi être enrichis d'arbres plantés dans une cuvette ou un élément de banquette.

Les structures de LAE pour la capture des eaux de crue des oueds comprennent :

– Les *liman* sont des digues de terre tassée avec fusible barrant la confluence de deux petites vallées et stockant les eaux de ruissellement et les sédiments arrachés aux versants. Dès que les eaux de ruissellement ont infiltré le sol et l'ont mouillé sur plus d'un mètre, il est semé en céréales et autres cultures à cycle court.

– Les *jessour* sont aussi des digues de terre (parfois renforcées de pierres) avec un exutoire latéral s'appuyant sur la colline : des digues successives barrent de petits vallons secondaires et stockent l'eau et les sédiments. Dès que le sol est assez épais, il est enrichi en fumier et planté d'arbres (palmiers, oliviers, figuiers acceptant d'être enfouis sous les sédiments) et semé de céréales et légumineuses (pois ou trèfle, luzerne) qui profitent de chaque averse ou écoulement.

– Les *faïd*, digues de terre construites sur une partie du lit de l'oued, peuvent capter les crues et amener ces eaux sur des terrains aménagés en terrasses capables d'absorber rapidement ces apports complémentaires et d'irriguer ainsi des arbres fruitiers (oliviers ou amandiers) plantés dans des cuvettes, à densité variable selon la disponibilité en eau.

– Sur les grandes vallées, il est nécessaire de maîtriser les eaux impétueuses des oueds et de protéger par des murs de pierres sèches les berges et terrasses quaternaires, souvent les meilleures terres du bassin. On y trouve des cordons de pierres, des épis et des seuils en gabions perpendiculaires aux flux. Ces murettes piègent l'eau des crues et leurs sédiments qui finissent par s'accumuler et former des terrasses où sont aménagés des petits jardins potagers.

– En amont, des haies vives ou des cordons de grosses pierres, parallèles au courant, captent des eaux qui coulent tranquillement dans des séguias, canaux de terre ou de béton, qui vont irriguer des terrasses sur les colluvions et pieds de collines. Ces haies plantées dans le lit de l'oued (roseaux, lauriers-roses, peupliers, saules, frênes, aulnes) permettent quelquefois d'aménager des terrasses étroites le long des collines lors des grosses crues.

Les structures de LAE pour la capture des eaux de ruissellement des versants arides comprennent :

– les citernes privées (*matfia*) ou collectives (avec canal de collecte et d'amenée des eaux devant un dessableur) ;

– les fossés de capture du ruissellement au pied des collines pour concentrer les eaux de ruissellement dans des micro-bassins sur sols profonds pour irriguer un arbre fruitier (dattier, olivier, amandier) ;

Pour lutter contre les inondations sont préconisés :

– des seuils dans les ravins secondaires ;

– des prises d'eau au débouché des oueds primaires pour irriguer la terrasse quaternaire ;

– des *faïd* ou diguettes fusibles pour bloquer le ruissellement au débouché d'un oued primaire, infiltrer assez d'eau pour un cycle cultural (tank indien) ;

– des murs végétaux encadrant le lit de l'oued (palmiers, lauriers-roses, cannes, roseaux) ;

– des murettes en gros moellons pour encadrer le lit de l'oued.

### Proposition

Murs de barrage dans les sables de la vallée pour capter les inféro-flux et recycler les eaux de crue qui serviront d'irrigation d'appoint en période sèche.



© E. Roose

*Les versants creusés de ravines des reliefs steppiques sont utilisés pour capter l'eau des impluviums dénudés (Prérif oriental).*



© E. Roose

*Dans l'Atlas oriental, au pied des montagnes arides, fleurissent le long des oueds des oasis également alimentées par des séguias.*

## Zone aride de montagne Haut Atlas oriental et sud, Anti-Atlas occidental

### Milieu

Avec moins de 300 mm de pluies tombant en hiver, les versants servent de parcours extensifs tandis que les cultures en jardins se développent dans les oasis de vallées : celles-ci sont irriguées presque toute l'année par la fonte des neiges dans l'Atlas oriental et méridional (ex-vallée du M'Goun). Les hivers sont rigoureux et les vents venus du désert torrides en été et froids l'hiver.

### Aménagements

– Les hauts versants sont couverts d'épineux dispersés surpâturés par des troupeaux de chèvres. Dans les dépressions entre deux collines sont aménagées des petites mares (*ghdir*) ou des citernes pour l'abreuvement des troupeaux. Sur des replats, on peut trouver quelques champs d'orge avec cordons de pierres discontinus.

– Dans l'Anti-Atlas occidental, la majorité des versants ont été aménagés jadis en terrasses progressives avec talus enherbés, renforcés de cailloux et de quelques arganiers : seules les terrasses irriguées situées près des villages ou le long des oueds sont encore cultivées de nos jours, ainsi que les terres autour de résurgences et de citernes.

– Les citernes bétonnées (*matfia*), avec ou sans dessableurs, sont nombreuses le long des routes et au bas des versants rocheux. Certaines habitations collectent aussi leurs eaux pluviales, seule source d'eau potable qui fait gravement défaut dans cette région.

– Le long des oueds sont entretenues des oasis linéaires de palmiers dattiers, oliviers, pistachiers, amandiers, grenadiers et diverses espèces locales. Des jardins fruitiers irrigués et cultivés avec soins autour de puits sont entourés de murettes de pierres pour les protéger des crues des oueds ou du broutage par les troupeaux.

## Zone semi-aride de montagne Haut Atlas central et occidental

### Milieu

Avec 300 à 600 mm de pluies, l'ensemble du paysage est couvert de forêts (cèdres de l'Atlas, chênes-verts, genévriers) ou de matorral, surtout en montagne où le climat est froid en hiver et plus frais en été. Tout le paysage est végétalisé sauf les hauts sommets pierreux, couverts de neige une grande partie de l'année. Les roches sont dures, volcaniques et métamorphiques dans l'Atlas occidental,

calcaires dans l'Atlas central, mais elles sont tendres et marneuses à l'aval. La population est dense (40 hab./km<sup>2</sup>) et les villages sont localisés dans les vallées près des rivières. Les signes d'érosion sont surtout les rigoles, les ravines, la dégradation des berges, les inondations et des mouvements de masse.

## **Aménagements**

### *Sur versants secs*

- Parcours extensifs enrichis en arbustes fourragers plantés dans des demi-lunes ou des éléments de banquettes stockant les eaux de ruissellement ;
- cultures en sec (céréales, fèves, pois chiche, oignons, lentilles sur billons perpendiculaires à la pente) sur terrasses progressives s'appuyant sur des cordons de pierres, haies vives ou talus enherbés. On les trouve aux alentours des villages, sur les cônes de déjection des ravins et au-dessus de la première séguia.

### *Sur versants irrigués autour d'une source ou le long d'une vallée*

- Capture de sourcin ou de ruissellement, stockage des eaux dans une mare de quelques dizaines de mètres cubes (*madgen*) ou des citernes bétonnées (*matfia*), séguia ou tuyau plastique amenant les eaux de nappe ou de ruissellement vers les parcelles à irriguer ;
- terrasses progressives s'appuyant sur des cordons de pierres, haies vives ou talus enherbés, avec cultures d'arbres fruitiers dans des cuvettes et irrigation par sillons et débordement d'une cuvette à la suivante, ou cultures annuelles irriguées. Quand les arbres deviennent grands, les cultures de légumes sont abandonnées au profit de cultures fourragères ou des céréales. Pour réduire les pertes d'eau par infiltration et évaporation dans les canaux, on peut acheminer l'eau des *madgen* jusqu'aux parcelles cultivées par tuyau et asperseur ou goutte-à-goutte ;
- terrasses en gradins avec un canal d'amenée des eaux vers les cuvettes des arbres et vers les planches de culture : les talus et espaces en amont peuvent apporter un complément d'eau de ruissellement ;
- techniques culturales pour irriguer les terrasses, assurer une bonne infiltration en profondeur et un drainage des excès de pluie : sillons amenant les eaux d'irrigation, billons drainés au bout opposé ou cuvettes de stockage pour chaque culture (arbres ou céréales, légumes, fourrages).

### *Colluvions de bas de pente et du lit des oueds*

- Les zones de colluvions aux sols plus riches et plus profonds sont généralement les premières aménagées en gradins irrigués et fumés. Les eaux d'irrigation proviennent d'une prise d'eau dans l'oued en amont. Une séguia distribue les eaux courantes vers diverses parcelles constituées d'arbres fruitiers (noyers, cerisiers, pommiers, pruniers, oliviers) plantés dans des cuvettes et des planches de cultures intercalaires qui finissent par laisser place à des cultures fourragères une fois que les arbres développent trop de couvert.

– Les berges de l’oued doivent faire l’objet de soins particuliers pour protéger contre les crues du torrent les terres les plus riches des terrasses quaternaires. Des murs de grosses pierres protègent généralement les berges du torrent principal et des ravines qui s’y jettent.

– Dès que le lit du torrent s’élargit, les paysans plantent des lignes de roseaux, peupliers, saules, lauriers qui poussent les pieds dans l’eau pour ralentir les eaux de crue, piéger des sédiments et former des terrasses étroites où poussent d’abord des herbes, puis des céréales et enfin des arbres.

– Si le lit de l’oued est très large, il peut être aménagé par des cordons de grosses pierres perpendiculaires au lit de l’oued, isolant des parcelles rectangulaires où les eaux chargées des crues sont piégées, ralenties : elles déposent des galets, des sables puis des sédiments plus fins à mesure que poussent des herbes pâturées, des céréales et finalement des arbres fourragers ou fruitiers. Ces aménagements sont souvent détruits lors des crues majeures et les murettes ou cordons de pierres sont reconstruits jusqu’à ce que les arbres soient suffisamment bien implantés et capables de résister au torrent.

### *Techniques culturales conservatoires préconisées*

Pour infiltrer et capter les pluies sans créer des ravines ou des glissements de terrain :

– labour grossier avec enfouissement de fumier, résidus de culture et mauvaises herbes ;

– labour grossier, semis puis couverture du sol avec les émondes des haies vives ;

– semis direct sur couverture morte (paillage, résidus de culture + mauvaises herbes herbicides) ;



© E. Roose

*Sur les colluvions des bas de pente des montagnes semi-arides sont aménagés des gradins irrigués ; des murs de pierres protègent les berges de l’oued des crues saisonnières.*

- billonnage cloisonné ou paillé ;
- irrigation sur billons ou planches déprimées, avec séguia amenant l'eau et fossé de drainage à l'autre bout des planches pour diriger les excès d'eau d'irrigation ou de ruissellement vers la terrasse suivante ou un chemin d'eau (ravine stabilisée, citerne et agriculture intensive).

## Prérif et Rif central et oriental semi-aride

### Le milieu

Les pluies (300 à 600 mm) sont beaucoup moins abondantes que dans le Rif occidental et la saison sèche est plus longue (3 à 5 mois). Les forêts ont laissé la place aux matorrals parcourus par les troupeaux et ces parcours dégradés sont finalement cultivés ou laissés en jachères. Les oliviers laissent la place aux amandiers plus résistants à la sécheresse. Les sols dénudés sont en danger d'érosion en nappe, en rigoles et surtout en ravine. Les berges sont dégradées ou protégées par des épis en gabion perpendiculaires aux écoulements. Il faut donc à la fois protéger les sols de l'érosion, stocker un maximum d'eau en période transitoire et organiser le drainage à travers tous les versants susceptibles d'être cultivés et enfin protéger les berges des oueds. La céréaliculture domine sur les versants, associée à l'élevage et aux amandiers plantés dans des cuvettes ou demi-lunes. Les roches sont sédimentaires ou constituées de flyschs tendres : les sols sont bruns, bruns vertiques ou des lithosols.

### Les aménagements sur les hauts de versants

- Les fortes pentes doivent être couvertes en permanence par les forêts et les parcours doivent s'effectuer dans le matorral et prairies enrichies en légumineuses.
- Les céréales dominent sur les pentes moyennes (< 40 %) ; il vaut mieux étaler les eaux de ruissellement sur le versant rugueux, les ralentir par des cordons pierreux ou des haies vives et former des terrasses progressives avec un fossé de drainage près de la base du talus protégé par des herbes drues : *Andropogon*, diss. Les banquettes d'absorption totale ou de diversion n'ont pas donné les résultats escomptés et ne s'avèrent pas ici une bonne solution.
- Les ravines sont stabilisées par des seuils en pierres sèches et souvent plantées de fruitiers au milieu de cuvettes.

### Les aménagements sur les bas de versants et les colluvions

- Sur les talus de bas de pente, aménagement de terrasses en gradins irrigués. Talus protégés par un revêtement de pierres ou d'herbes avec un fruit de 20 %. La terrasse est cultivée en billons ou sur planches pour maintenir hors d'eau les jeunes plants.



© É. Roose

*Champ d'amandiers alimenté par une séguia partant de l'oued principal dans la région semi-aride du Prérif.*

- Dans les vallées assez larges, on trouve des jardins irrigués, protégés des crues de l'oued par des épis en gabions ou en cordons de grosses pierres et des haies vives de roseaux, cannes de Provence, peupliers, lauriers-roses, etc.
- Pour parer au manque d'eau, on a creusé des puits, et construit des *matfia* et des cuves en béton pour assurer l'irrigation des jardins sur les berges.

## Prérif, Rif occidental et Moyen Atlas sub-humide à humide

### Le milieu

Bien que le milieu soit encore sec durant les 3 mois chauds de l'été, les pluies à l'automne et au printemps sont abondantes (600 à > 1 500 mm) et provoquent du ruissellement et du drainage si la surface du sol n'est pas totalement couverte par la végétation forestière, la litière ou les résidus de culture. Il faut donc à la fois infiltrer le maximum d'eau durant les périodes transitoires et gérer les excédents des eaux de surface en organisant le drainage lors des plus fortes averses. Les risques d'érosion en rigole, ravine, masse, sapement de berge sont très élevés dès que la végétation forestière est remplacée par les cultures.

## **Les aménagements sur les versants**

– Les sommets rocailleux sont généralement utilisés en parcours arbustifs évoluant avec les feux répétés en jachères herbacées dont les parties exploitables sont souvent clôturées par des cordons de pierres ou des murettes à claire-voie (Rif occidental, barre dolomitique) ;

– Les sommets sur roche tendre et sols plus profonds sont au départ couverts de forêts évoluant en matorral surpâturé qui, sous la pression démographique, finira par être brûlé et défriché pour les cultures (céréales, légumineuses). Vu les fortes pentes, il est urgent de couvrir le sol (résidus de culture, adventices ou plantes de couverture), de réduire la pente (cordons de pierres ou haies vives exploitées comme fourrage ou paillage) et d'assurer une bonne rugosité (labour grossier), une fertilisation raisonnée pour que la culture couvre le sol le plus rapidement possible et de préférence une culture pérenne (fourrages, luzerne).

– L'ensemble du versant peut être cultivé. Il est donc prudent de prévoir des chemins creux ou des fossés stabilisés par des pierres et des herbes pour collecter le ruissellement issu des parcours des sommets et le redistribuer dans une zone de terrasses en gradins cultivés très intensivement (légumes en rotation, fumure organique et minérale raisonnée, irrigation en planches, sillons, goutte-à-goutte ou pulvérisation).

– Vu la surabondance des pluies et du ruissellement en périodes fraîches, il est nécessaire de prévoir un circuit de drainage guidant les excès d'eau temporaires vers des drains naturels du paysage (ravineaux stabilisés, ondulations du versant) ou des chemins d'eau artificiels bien stabilisés par l'enherbement et éventuellement des citernes de stockage pour des périodes sèches difficiles pour le troupeau ou les cultures.

– La concentration des eaux de ruissellement entraîne la formation de ravins. Tant que les ravins sont peu profonds, on peut tenter de les reboucher en y déversant des pierres, adventices, jujubiers et déchets de culture puis en y repoussant la terre en labourant les berges. Mais si le ruissellement perdure sur ces chemins d'eau naturels, il vaut mieux stabiliser le fond par des petits seuils en pierres sèches renforcés par les herbes et arbustes croissant naturellement dans ces situations difficiles (palmier doum, laurier-rose, cannes, roseaux, bambous, cypéracées et diverses herbes). Si les ravins sont plus larges, on peut réduire leur pente par des petits seuils en grillage et planter des arbres divers sur les bords des sédiments et des herbages au centre qui vont se pencher pour laisser passer les excès d'eau. Enfin, s'il s'agit de ravins torrentiels au fond garni de grosses pierres mouvantes, la végétation ne peut résister et il faut faire appel à des seuils bétonnés et feraillés résistants aux galets en transit.

– Si le versant est long, une partie est consacrée aux céréales extensives qui ne bénéficient que de peu d'aménagements : talus de fin de parcelles stabilisés par des herbes et buissons naturels (palmier doum, agaves, etc.). On peut les stabiliser par des rangées d'amandiers ou d'oliviers serrés sur la ligne (4-5 m), les rangées étant écartées de 10 à 25 m sur le versant avec des cultures intercalaires en courbes de niveau entre les lignes d'arbres et de fourrages pérennes.

© É. Roose



*L'ensemble du versant des montagnes humides peut être cultivé. En bas de pente, des arbres fourragers et fruitiers bordent des terrasses cultivées intensivement.*

- Sur les colluvions de bas de pente et dans le fond de la vallée, on rencontre souvent des terrasses en gradins irriguées et fumées, tout un système agro-forestier combinant des arbres fourragers (frênes, peupliers) et fruitiers (oliviers, amandiers, cognassiers, citrus, pommiers, cerisiers et noyers en altitude) avec des cultures annuelles intercalaires.
- Les berges de l’oued exigent une fixation efficace par des arbres (peupliers, aulnes) et par diverses herbes (bambous, cannes de Provence), ou par des épis en gabions ou en murettes de grosses pierres.

### **Techniques culturales conservatoires**

- labour grossier en courbe de niveau et fumier sur jachère broutée, tassée ;
- labour grossier, semis, puis paillage avec les émondes (coupe des haies) ;
- semis direct sur résidus de culture, adventices, légumineuses de couvertures ;
- irrigation en planches, billons, cuvettes avec drainage du surplus.

Pour assurer le drainage :

- billonnage incliné vers le drain ;
- billons courts dans le sens de la pente, bien couverts, reprise du ruissellement par des sillons décalés ou des drains obliques ;
- drains au pied des talus et déversoirs vers la terrasse sous-jacente ou vers un chemin d’eau, ou une ravine stabilisée (herbes + arbres = jardin de ravine).

## Zone de grandes cultures des plaines et plateaux semi-arides

Plaines et plateaux atlantiques, collines du N.-O., Rharb, Doukkala, Tadla, basse Moulouya

La plupart des grandes plaines céréalières du Maroc sont quasi dépourvues d'aménagements antiérosifs, à part quelques talus enherbés en bordure des champs, ou des citernes en aval des pistes ou à proximité des habitations. Aussi la plupart sont-elles dégradées par les pluies (300 à 600 mm) mais aussi par le vent et elles voient leur fertilité épuisée par les exportations des grains et des pailles depuis des dizaines voir des centaines d'années. La mécanisation du labour, du sarclage et des récoltes combinée au pâturage des chaumes a entraîné la minéralisation des matières organiques, l'instabilité structurale et le tassement de la semelle de labour. Ces sols sont devenus plus sensibles à l'érosion hydrique et éolienne, très durs en saison sèche et boueux durant les pluies, difficiles à travailler, en humide et en sec.

Les systèmes de culture doivent donc être modifiés progressivement pour restituer aux sols leur macroporosité, leur humus, leur capacité de stocker l'eau et les nutriments.

Pour gérer l'eau, il est important d'effectuer des labours grossiers avec enfouissement des chaumes ou au contraire de tenter le semis direct sous la litière des cultures précédentes, de maintenir des cordons de pierres ou des bandes enherbées tous les 50 m et de développer des cultures en courbes de niveau. L'établissement de rideaux d'arbres pourrait réduire l'évapotranspiration des cultures, tout en ramenant une meilleure diversité de la flore et de la faune. Les brise-vent permettent une meilleure homogénéité de l'irrigation par aspersion (réduction du vent).

Pour améliorer la gestion des matières organiques du sol, il convient de réduire les travaux culturaux, de semer directement sous la litière (laisser 10 à 20 cm de paille) des céréales et des cultures fourragères en rotation. Si on est proche des villes et usines, on peut favoriser les épandages des boues de traitement des eaux usées pour les surfaces irriguées.

Enfin, il faut gérer les nutriments en équilibrant les exportations de nutriments par les grains et les pailles, par l'apport de fumures organiques (rares) complétées par des fumures minérales. Il faut entrer dans le cercle bénéfique des cultures intensives : plus les sols sont fertiles, plus les cultures se développent vite et produisent beaucoup de biomasse, plus les sols sont couverts et les résidus de culture abondants, plus ils résistent à la battance des pluies et à l'énergie du ruissellement. Le Maroc a la chance de posséder d'importantes réserves de phosphates de chaux : elles permettraient de valoriser ses faibles réserves en eau et en sol en nourrissant plus correctement les céréales et légumineuses tout en favorisant la stabilité de la structure du sol, donc sa résistance à l'érosion.

© É. Roose



*Sur le plateau des Phosphates, les pentes sont consacrées aux céréales extensives qui ne nécessitent que de peu d'aménagements : des talus de fin de parcelles stabilisés par des herbes et buissons naturels.*



# Conclusion générale

Après la guerre de 1940-1945, pour faire face à la dégradation des sols de montagne, à l'envasement des barrages, aux glissements de terrain et aux inondations, les services forestiers du Maghreb ont entrepris de grands chantiers. Ils ont reforesté 800 000 hectares de terres marginales dans les hautes vallées, installé un million d'hectares de banquettes dans les terres cultivées en montagne, restauré des milliers de ravines, créé des dizaines de barrages et des centaines de petits barrages collinaires, etc.

Ces grands chantiers de protection des bassins versants ont certainement permis de distribuer des salaires à des milliers de foyers, d'assurer la stabilité sociale et de prendre conscience que l'érosion est devenue un problème national de gestion des ressources en eau et en sols dans les montagnes. Sans ces grands projets, on peut imaginer que les paysages méditerranéens seraient bien plus dégradés aujourd'hui.

Cependant, les enquêtes sur l'évolution de ces aménagements ont prouvé qu'ils n'ont pas réussi à enrayer la dégradation des forêts, ni la réduction de la productivité des sols, ni l'envasement des barrages, ni la désertification, sauf dans de rares cas...

Depuis 1987, une nouvelle stratégie, la Gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols, a été proposée, qui tient mieux compte :

- des systèmes traditionnels de gestion de l'eau et de la fertilité des sols ;
- des contraintes socio-économiques du milieu rural et de l'acceptabilité des techniques ;

- des divers processus d'érosion qui interviennent avec des vitesses différentes ;
- des techniques culturales et des moyens biologiques de lutte antiérosive.

Faisant suite à l'échec des grands chantiers de terrassements mécanisés il s'agissait de proposer une stratégie alternative sur la base de l'analyse des systèmes traditionnels de gestion régionale de l'eau et de la fertilité des sols et sur l'amélioration des techniques bien connues des paysans pour les rendre plus rentables et plus acceptables par les sociétés rurales. Il revient à l'État l'organisation d'équipes spécialisées dans les techniques de restauration des ravines, d'aménagement des berges des oueds et de prévention des glissements de terrains.

Les résultats des recherches montrent qu'en milieu méditerranéen, non seulement les problèmes techniques sont plus complexes que prévus (en particulier le rôle du ruissellement hypodermique et de la pente, et ses interactions avec les autres facteurs), mais aussi que l'histoire des communautés rurales (populations nomades ou cultivateurs stabilisés depuis des siècles) va déterminer l'intérêt qu'elles portent à la conservation des sols.

Cet ouvrage, bilan de dix années de travaux sur les techniques traditionnelles de GCES dans les campagnes marocaines, est le fruit des recherches de deux équipes :

- deux projets de recherche agronomique PRAD (ENFI et IRD) sur les techniques de GCES du Rif et de l'Atlas ;
- les études régionales d'une équipe de géographes sous la direction de la faculté de Lettres de Rabat.

Au cours de ces dix années, les méthodes d'investigation ont évolué, depuis les études géographiques classiques de régions caractéristiques, les mémoires des jeunes forestiers analysant la gestion de terroirs montagneux, l'exploration rapide de terrains de montagne, jusqu'aux travaux de chercheurs analysant les indicateurs de risques d'érosion à l'aide de simulateurs de pluies et de tests de laboratoire.

Profitant des mesures antérieures de l'érosion sur parcelles (échelles de 1 et 100 m<sup>2</sup>) et sur petits bassins versants, il nous a été possible de faire une analyse critique « des certitudes et des erreurs du passé ». Ainsi, les risques d'érosion en nappe s'avèrent modestes, tandis que le ruissellement, l'érosion linéaire et l'érosion aratoire sont beaucoup plus dangereux pour la stabilité des paysages méditerranéens soumis à des pluies diluviennes de fréquence décennale. Par ailleurs, la DRS et la CES sont basées sur l'hypothèse que le ruissellement et l'érosion augmentent avec le pourcentage de pente des terrains. Or, les mesures ont montré que le ruissellement et l'érosion, phénomènes cumulatifs, sont souvent plus forts en bas de pente qu'en haut de pente, même si la pente y est plus forte. Le rôle de la forme et de l'orientation des pentes, de la succession des roches et de la présence de cailloux en surface du sol, et du ruissellement hypodermique peut modifier radicalement les processus d'érosion. Par conséquent, il faut se méfier des études spatialisées utilisant systématiquement le facteur pente comme le principal facteur de risque (SIG).

Les sols méditerranéens sont généralement assez résistants à l'énergie des gouttes de pluie. Le danger en région méditerranéenne vient du volume des pluies exceptionnelles qui saturent le paysage et de l'énergie du ruissellement sur les pentes fortes des montagnes. C'est donc vers des techniques de gestion des eaux de surface que nous avons orienté les méthodes de LAE, tout comme les montagnards maghrébins...

- Gestion de l'eau : amélioration de l'infiltration, captage des eaux des impluviums, dissipation de l'énergie du ruissellement ;
- gestion de la biomasse à la surface du sol (importance des litières), réduction du travail du sol et des surfaces dénudées ;
- restauration du potentiel de production des sols par apport de matières organiques et de minéraux complémentaires.

Nos propositions partent des connaissances traditionnelles de l'environnement rural : nous tentons de les croiser avec les connaissances scientifiques pour mieux valoriser la terre et le travail. Au lieu de s'opposer aux forces de la nature par des grands travaux de terrassement, nous proposons de tirer parti des phénomènes naturels et d'améliorer la production pour maintenir en place la population rurale.

La diversité des systèmes de gestion de l'eau et de la fertilité des sols est importante au Maroc (30 systèmes plus ou moins complémentaires par grappes). Certaines techniques, comme les terrasses méditerranéennes en gradins, se retrouvent partout au Maroc dès qu'apparaît une ressource en eau suffisante pour irriguer des cultures rentables. D'autres techniques (cordons de pierres) sont liées à la présence de fragments rocheux (sols superficiels ou colluviaux non irrigables). Un troisième groupe de techniques (les drains et banquettes de diversion) est lié aux excès de pluies en milieu humide et surtout, ailleurs, à la rareté de l'eau : la diversité et la fréquence des techniques de stockage et de collecte d'eau sont remarquables dans les zones semi-arides et arides.

Cette étude a bien montré combien il est nécessaire non seulement de gérer la ressource en eaux de surface, mais aussi d'accumuler le sol et de le maintenir en bon état structural (apports réguliers de matières organiques), ainsi que de nourrir les plantes cultivées : sans cette triple intervention, la conservation des sols n'aboutit pas à une amélioration de la production et du niveau de vie des ruraux. Cette intensification de la productivité des terres est tout à fait possible, mais exige un complément de travail et un investissement en nutriments qui doit être valorisé pour être acceptable : il faut donc mettre au point des systèmes de production rentables et des systèmes de protection sanitaire efficaces.

Le nouveau défi du XXI<sup>e</sup> siècle consiste à améliorer les conditions de production des cultures, à couvrir mieux le sol, à améliorer les rendements de biomasse (indispensable au bétail et au sol), à doubler la production au même rythme que la croissance de la population et, surtout, à améliorer les revenus des paysans tout en réduisant les risques environnementaux.

Pour faire face à ce défi, il nous a fallu faire de nouvelles propositions, nous rapprocher du génie créatif des populations rurales qui survivent dans des condi-

tions très difficiles ; il s'agit de sauvegarder ces connaissances traditionnelles, d'analyser leur efficacité et leurs limites, et de proposer des éléments de solutions puisés dans les connaissances scientifiques sur la gestion de l'eau, la fertilisation organique et minérale. Il s'agit de mettre au point des systèmes de production respectueux de l'environnement, tenant compte de la rentabilité mais aussi de la séquestration du carbone et du réchauffement climatique.

### **Perspectives**

Malgré les progrès des recherches menées sur les processus d'érosion et l'efficacité des techniques de LAE, il reste de nombreux thèmes à approfondir :

- les avantages et inconvénients du labour et du semis direct sous litière en milieux semi-arides ;
- les interactions entre la turbidité des eaux de ruissellement et la réduction de l'infiltration dans les sols ;
- l'influence de la pente (% , longueur, forme, position dans le paysage) et de divers couverts végétaux sur l'infiltration et l'érosion ;
- l'amélioration de l'efficacité des systèmes de gestion des eaux de surface ;
- les meilleurs indicateurs des risques d'érosion et de ruissellement ;
- les processus et facteurs de l'érosion aratoire et des glissements de terrain ;
- l'utilisation des diverses espèces d'arbres et d'herbes pour limiter le ravinement et les mouvements de masse ;
- l'amélioration de la gestion de la biomasse pour favoriser l'infiltration et la séquestration du carbone dans les sols ;
- la compréhension du rôle des populations microbiennes du sol dans la fixation de l'azote et l'assimilabilité des minéraux stockés dans le sol et les matières organiques ;
- le rôle des engrais minéraux et organiques pour réduire les risques d'érosion et de ruissellement ;
- la capacité des arbres indigènes ou importés de restaurer la productivité des sols ;
- l'efficacité de l'utilisation de la biomasse en surface (litière comme sous forêt) ou enfouie par labour (comme le préconisent les agronomes) ;
- la gestion des eaux de ruissellement sur les zones imperméables comme les pistes et le milieu urbain ;
- la valorisation des travaux d'amélioration foncière par la production intensive de cultures rentables et la réduction du coût et du travail nécessaire pour stabiliser les pentes ;
- la valorisation des sédiments trappés dans les barrages ;
- la perception paysanne de la dégradation des sols par l'érosion et des systèmes de GCES proposés ;
- la maîtrise des effets négatifs des parcours (dénudation et tassement du sol) et la valorisation de leurs déchets (fumier, lisier, compost) ;
- le rôle des arbres dans le maintien ou la protection des sols.

# Bibliographie

## Partie I

---

- ALAOUI O., 1992** – « Analyse économique de la LAE. Cas du bassin du Loukkos, Maroc ». *In* : Séminaire sur le *Programme national de la recherche sur l'aménagement des bassins versants*, Agroconcept, Rabat, 14 p.
- ALBERGEL J., 2008** – « Place des petits barrages dans la mobilisation des eaux de surface et dans la LAE au Maghreb ». *In* : Roose É. *et al.* (éd.) : 31-43.
- ARABI M., 1991** – *Influence de quatre systèmes de production sur le ruissellement et l'érosion en milieu montagnard méditerranéen algérien*. Thèse doct. géographie, Univ. Grenoble, 276 p.
- ARABI M., KEDAID OUM ELKHIR, BOURUGAA L., ASLA T., ROOSE É., 2004** – Bilan de l'enquête sur la DRS en Algérie. *Sécheresse*, 15, 1 : 87-95.
- ARABI M., ROOSE É., 1989** – Influence de quatre systèmes de production en région méditerranéenne de moyenne montagne algérienne. France, Montpellier, *Bull. Réseau Érosion*, Montpellier, 9 : 39-51.
- BACCARI N., NASRI S., BOUSSEMA M., 2008** – « Efficience des banquettes sur l'érosion des terres, le remplissage et l'envasement d'un lac collinaire en zone semi-aride de Tunisie. » *In* : ROOSE É. *et al.* (éd.) : 70-74.
- BARTHÈS B., ROOSE É., 2002** – Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion: validation at several levels. *Catena*, 47 : 133-149.
- BAUMER M., 1987** – *Agroforesterie et désertification*. Wageningen, Icrاف-CTA, 260 p.
- BENNET H., 1939** – *Elements of soil conservation*. 2<sup>d</sup> edition, New York, Mc Graw-Hill.
- BERGSMAN E., FARSHAD A., 2003** – « Multiple use of microtopographic erosion features ». *In* Gabriels D., Cornelis W. : *25 years of assessment of erosion* : 129-134.
- BERNARD C., MABIT L., LAVERDIÈRE M., 2006** – « Utilisation des marqueurs isotopiques pour l'étude de l'érosion à diverses échelles spatiales et temporelles. » *In* Ratsivalaka S. *et al.* (éd.) : *Erosion et GCES*, AUF + GB, coll. Actualités scientifiques : 159-166.
- BIED-CHARRETON M., 2008** – « L'évaluation du coût économique de la dégradation des terres ». *In* : Roose É. *et al.* (éd.) : 61-64.
- BIED-CHARRETON M., BRAHIMI Y., REQUIER-DESJARDINS M., 2007** – Les évaluations des coûts macro-économiques de la désertification en Afrique : inventaires et principaux résultats. *Bois et Forêts des Tropiques*, 293 : 30-42.
- BLUME H., EGGER H., FLEISCHAUER É., HEBEL A., REIJ C., STEINER K., 1998** – Towards sustainable land use. Furthering cooperation between people and Institutions. *Advances in GeoEcology*, 31, vol. 1, 2, 1 560 p.
- BOISSAU S., LOCATELLI B., WEBER J. 1999** – *Population and environment relationship. A U-shaped curve hypothesis*. Chambéry, Jardin planétaire, 4 p.
- BOJÓ J., 1996** – The cost of land degradation in sub-saharan Africa. *Ecological Economics*, 16 : 161-173.
- BOLI Z., ROOSE É., 1998** – Degradation of a sandy Alfisol and restoration of its productivity under cotton-maize intensive cropping rotation in the wet savannah of Northern Cameroon. *Advances in GeoEcology*, 31 : 395-401.
- BOLI Z., ROOSE É., 2004** – Effets du labour classique et du non-labour sous litière sur le fonctionnement de deux sols ferrugineux tropicaux sableux à Mbissiri, Nord-Cameroun. *Bull. Réseau Érosion* 23 : 431-437.

- BOLI B., ROOSE É., BEP AZIEM B., SANON K., WAECHTER F., 1993** – Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs sur un sol ferrugineux sableux. Recherche de systèmes de culture intensifs et durables en région soudanienne du Nord-Cameroun (Mbissiri, 1991-92). *Cah. Orstom Pédol.*, 28 (2) : 309-326.
- BOLLINE A., 1982** – *Étude et prévision de l'érosion des sols limoneux cultivés en moyenne Belgique*. Thèse doct. Géographie, Univ. de Liège, Belgique, 356 p.
- BONVALLOT J., 1986** – Tabias et jessours du Sud tunisien. Agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion. *Cah. Orstom Pédol.*, 22 (2) : 163-172.
- BOURGES J., FLORET C., GIRARD G., PONTANIER R., 1979** – *Étude d'un milieu représentatif du Sud tunisien : la citerne Telman (campagnes 1972-1977)*. Tunis, Min. Agriculture/Orstom/ DRES, 88 p.
- CHEGGOUR A., SIMONNEAUX V., SABIR M., ROOSE É., 2008 a** – « Recherche d'indicateurs de ruissellement et d'érosion par simulation de pluies sur les principaux sols du bassin versant de Rhéraya (Haut Atlas occidental, Maroc). » In : Roose É. *et al.* (éd.) : 307-311.
- CHEGGOUR A., SIMONNEAUX V., SAMIA A., YARO Y., ERROUANE S., SABIR M., ROOSE É., 2008 b** – Recherche d'indicateurs de ruissellement et des risques d'érosion au moyen de tests d'infiltrométrie dans le bassin versant du Rhéraya (Haut Atlas occidental, Maroc). *Revue des Sciences de l'Eau*, 21 (3) : 311-322.
- CRITCHLEY W., REIJ CH., SEZNEC A., 1992** – Water harvesting for plant production. 2. Case studies and conclusions for Sub-Saharan Africa. *World Bank Technical Paper*, 120 p.
- CLAUDE J., CHARTIER R., 1977** – Mesure de l'envasement dans les retenues de six barrages en Tunisie : campagne 1975. *AISH*, 122 : 219-252.
- CLAUDE J., FRANCILLON G., LOYER J.Y., 1976** – *Les alluvions déposées par l'oued Medjerda lors des crues exceptionnelles de mars 1973*. Dres-Orstom, 162 p.
- COMBEAU A., 1977** – *Cours de conservation des sols*. Paris, Orstom, 90 p.
- COSANDEY C., ROBINSON M., 2000** – *Hydrologie continentale*. Paris, Armand Colin/HER, 360 p.
- CRITCHLEY W., REIJ C., TURNER S., 1992** – *Soil and water conservation in sub-saharan Africa. Towards sustainable production by the rural poor*. Report IFAD by CDCS, Free University, Amsterdam, 110 p.
- CTF, 1979** – *Conservation des sols au sud du Sahara*. Paris, min. Coopération, coll. Techniques rurales en Afrique.
- DE GRAAF J., 1996** – *The price of erosion: an economic evaluation of soil conservation and watershed management*. Thesis Agricultural University Wageningen, 300 p.
- DE NONI G., VIENNOT M., 1991** – L'érosion agricole dans les Andes de l'Équateur. *Bull. Réseau Erosion*, 11 : 205-209.
- DE NONI G., VIENNOT M., 1993** – Mutations récentes de l'agriculture équatorienne et conséquences sur la durabilité des agrosystèmes andins. *Cah. Orstom Pédol.*, 28 (2) : 277-288.
- DE PLOEY J., 1990** – La conservation des sols. *La Recherche* 227, Suppl. 6 : 111-122.
- DEMMAK M., 1982** – *Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale*. Thèse doct. ing., Paris, 324 p.
- DIALLO A., 1994** – *Les haies vives dans la préfecture de Faranah (Guinée)*. France, Montlhéry, AFVP, 20 p. + 12 fiches biologiques.
- DIALLO D., BOLI Z., ROOSE É., 2008** – « Influence of no-tillage on soil conservation, carbon sequestration and yield of intensive rotation maize-cotton. Research on sandy Alfisols of Cameroon & Mali. » In Goddard T., Zoebisch M. *et al.* (eds.) : *No-till farming systems*, Special publication 3 by the WASWC : 383-392.

- DIALLO D., ORANGE D., ROOSE É., 2004** – Influence des pratiques culturales et du type de sols sur les stocks et pertes de carbone par érosion en zone soudanienne du Mali. *Bull. Réseau Érosion*, 22 : 193-207.
- DIDON-LESCOT J.-F., 1996** – *Forêt et développement durable au mont Lozère. Impact d'une plantation de résineux, de sa coupe et de son remplacement sur l'eau et sur les réserves minérales du sol*. Thèse Univ. Orléans, 162 p.
- DREGNE H.E., 1988** – *Productivity and sustainable Agriculture*. Int. Center for Arid and Semiarid land studies, Texas Techn. Univ. Lubbock, 11 p.
- DURAND P., LELONG F., NEAL C., 1992** – Modélisation des effets hydrochimiques à long terme des dépôts acides et des reboisements dans les bassins versants du mont Lozère (sud de la France). *Revue des Sciences de l'Eau*, 5 : 229-245.
- EL AMAMI S., 1977** – Traditional technologies and development of the African environments. Utilisation of runoff water: the Meskat and other techniques in Tunisia. *African Environment*, 3 : 107-120.
- EL AMAMI S., 1983** – *Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie*. Tunis, Centre de recherches du Génie rural, 70 p.
- ELLISON W.D., 1944** – Studies of raindrop erosion. *Agric. Eng.*, 25 : 131-181.
- ERHART H., 1955** – *Biostasie et rhexistasie. Esquisse d'une théorie sur le rôle de la pédogenèse en tant que phénomène géologique*. Paris, C. R. Acad. Sci., 242 p.
- EVENARI M., SHANAN L., TADMOR N.H., 1968** – Runoff farming in the desert. *Agron. J.*, 60, 1 : 29-38.
- FAO, 1948** – *Soil conservation : an international study*. Washington, 190 p.
- FAO, 1974** – Shifting cultivation and soil conservation in Africa. *FAO Soils Bull.*, 24.
- FAUCK R., 1956** – *Érosion et mécanisation agricole*. Bureau des Sols en Afrique occidentale française, 24 p.
- FELLER C., 1995** – La matière organique du sol : un indicateur de la fertilité. Application aux zones sahéliennes et soudaniennes. *Agriculture et Développement*, 8 : 35-41.
- FELLER C., BEARE M.H., 1997** – Physical control of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79 : 69-116.
- FLOTTE P., 1984** – Mouvement de masse en Algérie. *Bull. Réseau Érosion*, 4 : 3-6.
- FOTSING J.-M., 1993** – Diagnostic des problèmes d'érosion et éléments de solution en pays bamiléké, Cameroun. *Cah. Orstom Pédol.*, 26 (4) : 241-254.
- FOURNIER F., 1967** – La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent africain. *Sols Africains*, 12 (1) : 5-53.
- GOSSELIN M., 1939** – *L'hydraulique en Tunisie*. Tunis, Archives Institut Pasteur, tome 3.
- GRÉCO J., 1978** – *La défense des sols contre l'érosion*. Paris, Maison Rustique, 184 p.
- HAMOUDI A., MONJENGUE S., ROOSE É., 1989** – Enquête sur l'efficacité des aménagements de DRS en Algérie. *Bull. Réseau Erosion*, 9 : 14 -18.
- HAMZA A., 1993** – Essai de quantification des pertes en terre du territoire tunisien. *Bull. Réseau Érosion*, 13 : 188-191
- HAMZA A., 1992** – Contribution à l'étude des anciennes techniques paysannes de stabilisation des terres. Exemple de la LAE à l'époque romaine dans le bassin versant de l'oued Zéroud (Tunisie centrale). *Bull. Réseau Érosion*, 12 : 314-325
- HARROY J.-P., 1944** – *Afrique, terre qui meurt*. Bruxelles, Marcel Hayez, éditeur, 557 p.
- HEUSCH B., 1969** – L'érosion dans le bassin du Sebou : une approche quantitative. *Rev. de Géographie du Maroc*, 15 : 109-128.
- HEUSCH B., 1970** – L'érosion du Pré-Rif. Une étude quantitative de l'érosion hydrique dans les collines marneuses du Pré-Rif occidental. *Annales Recherches Forestières du Maroc*, 12 : 1-176.

- HEUSCH B., 1971** – Estimation et contrôle de l'érosion hydrique. *Soc. Sci. Nat. Phys. Maroc*, CR 37 : 41-54.
- HEUSCH B., 1972** – « L'érosion dans les collines marneuses du Pré-Rif ». In Heusch B. et al. (éd.) : *Études sur l'érosion, Annales de la Recherche Forestière du Maroc*, Rabat, n° 12 : 9-174.
- HEUSCH B., 1980** – « Sociological constraints in soil conservation : a case study ». In : *Conservation 80*, Edit. Wiley, London : 419-424.
- HEUSCH B., 1985** – *Techniques de lutte contre l'érosion*. Cnecarc, Montpellier, 198 p.
- HEUSCH B., 1986** – Cinquante ans de banquette de DRS en Afrique du Nord : un bilan. *Cah. Orstom Pédol.*, 22 (2) : 153-162.
- HEUSCH B., 1988** – *Aménagement d'un terroir : techniques de lutte contre l'érosion*. Cnecarc Montpellier, 200 p.
- HJULSTRÖM F., 1935** – Studies on the morphological activities of rivers as illustrated by the river Fyries. *Bull. GEO, Inst. Univ. Uppsala* 25 : 293-305 et 442-452.
- HUDSON N., 1971** – *Soil conservation*. London, Batsford Ltd, 324 p.
- HUDSON N.W., 1990** – Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides. Rome, *Bull. Pédol. FAO*, 57, 182 p.
- HUDSON N., 1991** – A study of the reasons for success or failure of soil conservation projects. Rome, *FAO Soil Bulletin*, 64, 66 p.
- HUDSON N., 1992** – *Land husbandry*. London, Batsford, 192 p.
- HULL W. 1960** – *Manuel de conservation du sol*. Washington, USDA, ICA, 360 p.
- HURNI H., 1986** – *Soil conservation in Ethiopia*. Min. of Natural Ressources Development, 100 p.
- JURION F., HENRY J., 1967** – *De l'agriculture itinérante à l'agriculture intensifiée*. Bruxelles, Ineac, 498 p.
- KANWAR J., 1982** – « Managing soil resources to meet the challenge to mankind ». In : *Presidential address of 12<sup>th</sup> Int. Congress of Soil Science*, New Delhi, India, Plenary session paper : 1-32.
- KARKOURI A., WATFEH A., ADERGHAL M., 2002** – Techniques de CES dans une zone semi-aride méditerranéenne du Rif central (Beni Bouffrah), Maroc. *Bull. Réseau Érosion*, 21 : 56-81.
- KHAMSOUK B., ROOSE É., 2003** – Ruissellement et érosion d'un sol volcanique tropical cultivé en systèmes intensifs en Martinique. *Cahiers d'Agricultures*, 12 : 1-2.
- KILLIAN J., BERTRAND R., 1974** – Étude du milieu physique en vue de son aménagement. Conception de travail. Méthode cartographique. *Agron. Trop.*, 2-3 : 122-363.
- LAL R., 1974** – Role of mulching techniques in tropical soil and water management. IITA, Ibadan, *Technical Bulletin*, 1, 38 p.
- LAL R., 1976** – *Soil erosion problems on an Alfisol in Western Nigeria and their control*. IITA Ibadan, Nigeria, monograph 1, 126 p.
- LAL R., 1988** – *Soil erosion research methods*. SWCS, ISSS, Ankeny-Iowa, 244 p.
- LAOUINA A., 1992** – Recherches actuelles sur les processus d'érosion au Maroc. *Bull. Réseau Érosion* 12 : 292-299.
- LAOUINA A., 1998** – Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb. *Bull. Réseau Érosion*, 18 : 33-53.
- LAOUINA A. (sous la dir. de), 2007** – *Gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc : la diversité des réponses paysannes à la dégradation des terres*. Publ. de la FLSH, Univ. Mohammed V Agdal, Rabat, 172 p.
- LAOUINA A., AÏT HAMZA M., CHAKER M., EL ABASSI H., 1995** – *Techniques traditionnelles de CES*. Rapport CDCS, Free Univ. Amsterdam, 112 p.
- LAOUINA A., CHAKER M., NACIRI R., NAFAA R., 1993** – L'érosion anthropique en milieu méditerranéen : le cas du Maroc septentrional. *Bull. Réseau Érosion*, 13 : 248-265.

- LATRILLE E., 1975** – *Grande Comore : inventaire des terres cultivables et de leurs aptitudes culturales*. Comores, Rapport Irat, 316 p.
- LECOMTE P., BOVAL M., GUERIN H., ICKOWICZ A., HUGUENIN J., LIMBOURG P., 2004** – Carbone et élevage des ruminants. *Bull. Réseau Érosion*, 23 : 220-235.
- LEVANG P., 1984** – Shifting cultivation for transmigration projects? How primitive techniques could help to solve development problems in Central-Kalimatan Transmigration areas? *Agric. Science J.*, 3, 6 : 275-283.
- LEVANG P., MICHON G., DE FORESTA H., 1997** – Agriculture forestière ou agroforesterie ? *Bois et Forêts des Tropiques*, 251, 1 : 29-42.
- LILIN C., 1986** – Histoire de la Restauration des terrains en montagne au XIX<sup>e</sup> siècle. *Cah. Orstom Pédol.*, 22 (2) : 139-146.
- LILIN C., KOOHAFKAN P., 1987** – *Techniques biologiques de conservation des sols en Haïti*. Rome, FAO, 36 p.
- LOVEJOY J.B., NAPIER T., 1976** – Conserving soil : sociological insight. *J. Soil & Water Cons.*, 415 : 304-410.
- LOWDERMILK W.C., 1953** – Conquest of the land through 7 000 years. USDA, SCS, *Agric. Information Bull.* 99.
- MANNERING J., 1981** – « The use of soil loss tolerance as a strategy for soil conservation. » *In* : Morgan (ed.), Wiley : *ISCO 2* : 337-350.
- MARTIN C., 1997** – L'érosion hydrique après incendie de forêt dans le bassin du Rimbaud (Var, France). *Bull. Réseau Erosion*, 17 : 83-92.
- MERZOUK A., 1985** – *Relative erodibility of nine selected Moroccan soils as related to their physical, chemical et mineral properties*. Thesis University Minnesota, USA, 110 pages.
- MERZOUK A., 1987** – « Érosion hydrique et pertes en fertilité des sols dans le bassin versant du Tlata, Rif occidental. » *In* : Actes de l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, n° 21 : 87-91.
- MERZOUK A., BLAKE G.R., 1991** – Indices for the estimation of interrill erodibility of Moroccan soils. *Catena*, 18, 6 : 537-550.
- MEUNIER M., 1989** – Essai de synthèse des connaissances de l'érosion et hydraulique torrentielle. *Houille Blanche*, 5.
- MOLDENHAUER W., HUDSON N., 1987** – *Conservation farming on steep lands*. USA, SWC Soc. Ankeny, IOWA, 296 p.
- MONJAUZE A., 1962** – *Rénovation rurale : rôle et dispositif d'infiltration*. Alger, Délégation générale, Dépt. des Forêts, Service DRS, 16 p.
- MOUFADDAL K., 2001** – Les premiers résultats des parcelles de mesure des pertes en terre dans le bassin versant de l'oued Nakhla dans le Rif occidental (nord du Maroc). *Bull. Réseau Érosion*, 21 : 244-254.
- MOUKHCHANE M., 2001** – Différentes méthodes d'estimation de l'érosion dans le bassin versant du Nakhla (Rif occidental, Maroc). *Bull. Réseau Érosion*, 21 : 255-266.
- MRABET R., LAHLOU S., LE BISSONNAIS Y., DUVAL O., 2004** – Estimation de la stabilité structurale des sols semi-arides marocains. Influence des techniques culturales simplifiées. *Bull. Réseau Erosion*, 23 : 405-415.
- MURA R., 1990** – *La correction torrentielle*. Grenoble, Cemagref, 10 p.
- NAHAL I., 1975** – *Principes de conservation du sol*. Paris, Masson.
- NAIMI M., BAGDAD B., 2002** – Aménagements traditionnels dans une vallée du Haut Atlas occidental. *Bull. Réseau Érosion*, 21 : 82-93.
- NAIMI M., TAYAA M., OUZIZI S., CHOUKR-LLAH R., KERBY M., 2001** – Estimation du ravinement dans le bassin versant du Nakhla, Rif occidental, Maroc. *Bull. Réseau Érosion*, 21 : 232-243.
- NDAYIZIGIYÉ F. 1992** – Valorisation des haies arbustives *Calliandra et Leucaena* dans la lutte contre l'érosion en montagne, Rwanda. *Bull. Réseau Érosion*, 12 : 120-129.

- NEBOIT, 1991 – *L'homme et l'érosion dans le monde*. France, Fac. Lettres Univ. Clermont-Ferrand, 2<sup>e</sup> édition, 270 p.
- NICOU R., OUATTARA B., SOMÉ L., 1987 – *Effets des techniques d'économie de l'eau à la parcelle sur les cultures céréalières au Burkina Faso*. Ouagadougou, Inera, 78 p.
- NYAMULINDA V., 1989 – Méthodes autochtones de conservation des sols en préfecture de Ruhengeri. *Bull. Agricole Rwanda*, 3 : 147-158.
- PIMENTAL D. *et al.*, 1995 – Environmental & economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267 : 1117-1123.
- PLANCHON O., VALENTIN C., 1999 – Croissance démographique et dégradation des sols en Afrique de l'Ouest. *Bull. Réseau Érosion*, 19 : 157.
- PLANTIÉ I., 1961 – *Technique franco-algérienne des banquettes de DRS*. Oran, Délégation générale, Dépt. Forêts, Service DRS, 22 p.
- POESEN J., 1989 – Conditions for gully formation in the Belgian loam belt and some ways to control them. *Soil Technology*, 1 : 39-52.
- POESEN J., BRYAN R., 1989 – Influence de la longueur de pente sur le ruissellement : rôle de la formation de rigoles et de croûtes de sédimentation. *Cah. Orstom Pédol.*, 25 (1) : 71-80.
- PONTANIER R., 1988 – *Synthèse bibliographique sur la maîtrise et l'utilisation des eaux de ruissellement, CES en zones arides*. Orstom Tunis, 34 p. multigr.
- PUTOD, R., 1956 – La protection des vignes contre l'érosion. *Revue Agron. Afrique du Nord*, 1992 : 567-576.
- RAHELLARISOA M.-A. 1986 – *Influence des techniques culturales sur le comportement hydrodynamique et la susceptibilité à l'érosion de sols limoneux et sableux. Expérimentation au champ sous pluies simulées en région Centre de la France*. Thèse 3<sup>e</sup> cycle en Géologie appliquée, Univ. Orléans, 298 p.
- RAUNET M., RICHARD J.-F., ROJAT D., 2004 – Premiers résultats d'introduction du semis direct sous couvert et lutte antiérosive en Tunisie. *Bull. Réseau Erosion*, 23 : 388-404.
- REIJ C., MULDER P., BEGEMANN L., 1988 – Water harvesting for plant production. *World Bank paper*, 91, 124 p.
- REIJ C., SCOONES I., TOULMIN C., 1996 – *Techniques traditionnelles de CES en Afrique*. Paris, CTA-CDCS-Karthala, 356 p.
- REVEL J.-C., COSTE N., CAVALIER J., COSTE J.-L., 1989 – Premiers résultats expérimentaux sur l'entraînement mécanique des terres par le travail du sol dans le Terrefort toulousain (France). *Cah. Orstom Pédol.*, 25 (1) : 111-118.
- REY F., 2002 – Influence de la distribution spatiale de la végétation sur la production sédimentaire de ravines marnées dans les Alpes du Sud. Thèse doct. Univ. Grenoble-I, Géographie physique. *Bull. Réseau Erosion*, 21 : 429-434.
- RIBOLSI O., BARIAC T., BRESSON L.M. *et al.*, 2004 – « Why does infiltration rate increase with slope gradient ? » In : *Land use change and soil and water processes in tropical mountain environments*, Luang Phrabang, Laos, 7/12/2004., IRD, NAFRI, IWMI,
- RISHIRUMUHIRWA T., 1993 – Potentiel du bananier dans la gestion et la conservation de la fertilité des sols ferrallitiques du Burundi. *Cah. Orstom Pédol.*, 28 (2) : 367-384.
- RISHIRUMUHIRWA T., 1998 – The contribution of banana farming systems to sustainable land use In Burundi. *Advances in GeoEcology*, 31 : 1197-1205.
- ROBINSON D., MCKEAN S., 1991 – *Shifting cultivation and alternatives. An annotated bibliography (1972-1989)*. Wallingford, CIAT/CAB International, 282 p.
- ROCHETTE R., 1989 – *Le Sahel en lutte contre la désertification*. CILLS/PACC/GTZ, 592 p.
- ROOSE É., 1973 – *Dix-sept années de mesures de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire*. Thèse Doct. Ing., Fac. Sciences Abidjan, Côte d'Ivoire, n° 20, 125 p.

- ROOSE É., 1977** – *Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest : vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales*. Paris, Travaux et Documents de l'Orstom, 78, 108 p.
- ROOSE É., 1978** – Pédogenèse actuelle d'un sol ferrugineux complexe issu de granite sous une savane arborescente du centre de Haute-Volta. Gonsé, campagnes 1968-1974. *Cah. Orstom Pédol.*, 16 (2) : 193-223.
- ROOSE É., 1981** – *Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale*. Paris, Travaux et Documents de l'Orstom, 130, 570 p.
- ROOSE É., 1986** – Terrasses de diversion ou microbarrages perméables ? Analyse de deux démarches de conservation de l'eau et des sols chez les petits fermiers de la zone soudano-sahélienne d'Afrique occidentale. *Cah. Orstom Pédol.*, 22 (2) : 81-92.
- ROOSE É., 1987 a** – « GCES dans les paysages soudano-sahéliens d'Afrique occidentale. Stratégies nouvelles et classiques ». In *Proceeding, ICRISAT, Niamey : Soil, Crop, Water management systems for rainfed Agriculture in semi-arid zone* : 55-72.
- ROOSE É., 1987 b** – Évolution des stratégies de lutte antiérosive en Algérie. Nouvelle démarche, la GCES. Séminaire INRF de Médéa, Algérie, *Bull. Réseau Érosion*, 7 : 91-96.
- ROOSE É., 1992** – « Diversité de stratégies traditionnelles et modernes de conservation de l'eau et des sols en région soudano-sahélienne d'Afrique occidentale ». In *Le Floch É. et al. (éd.) : L'aridité*, Paris, Orstom, coll. Didactiques : 481-506.
- ROOSE É., 1994** – Introduction à la GCES. Rome, *Bull. Pédologique de la FAO*, 70, 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*, 16 : 87-97.
- ROOSE É., 1999** – *Protection des terres et gestion du ruissellement à l'amont d'un lac collinaire en zone méditerranéenne semi-aride*. Montpellier, Orstom, Étude bibliographique pour le projet Hydromed, 34 p.
- ROOSE É., ALBERGEL J., DE NONI G., LAOUNA A., SABIR M., (éd.) 2008** – *Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides*. AUF, EAC, ENFI, IRD : 402 p.
- ROOSE É., ARABI M., BRAHAMIA K., CHEBBANI R., MAZOUR M., MORSLI B., 1993** – 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. *Cahier Orstom Pédol.*, 28 (2) : 289-308.
- ROOSE É., BARTHÈS B., 2001** – Organic matter management for soil conservation in Africa. *Nutrient cycling in Ecosystems*, 61 : 159-170.
- ROOSE É., BERTRAND R., 1971** – Contribution à l'étude des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique occidentale. *Agron. Trop.*, 26 (11) : 1270-1283.
- ROOSE É., CAVALIÉ J., 1988** – New strategy of water management and soil conservation. Application in developed and developing countries. In *ISCO 5 : Land conservation for future generations*, Thailand, Bangkok, Min. of Agriculture : 913-924.
- ROOSE É., CHEBBANI R., BOUROUGAA L., 2000** – Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. *Sécheresse*, 11 (4) : 317-326.
- ROOSE É., DUGUÉ P., RODRIGUEZ L., 1992** – La GCES, une nouvelle stratégie de lutte anti-érosive appliquée à l'aménagement de terroirs en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques*, 233 (3) : 49-63.
- ROOSE É., KABORE V., GUÉNAT C., 1993** – Le zaï : fonctionnement, limites et amélioration d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso). *Cah. Orstom Pédol.*, 28 (2) : 159-174.

- ROOSE É., KABORE V., GUENAT C., 1999 – The Zaï practice : a West African traditional rehabilitation system for semi-arid degraded lands. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 13, 4 : 343-355.
- ROOSE É., LAMACHÈRE J.-M., DE NONI G., 2001 – Effets des actions incitatives contre l'érosion en Afrique francophone et en Amérique latine. *Bull. Réseau Érosion*, 20 : 460-476.
- ROOSE É., LELONG F., COLOMBANI J., 1983 – Influence du bioclimat et de l'aménagement des sols sur les éléments du bilan hydrique en Afrique de l'Ouest. *J. Sciences Hydrologiques*, 28 (2) : 283-309.
- ROOSE É., MASSON F.X., 1983 – « Consequences of heavy mechanization and new rotation on runoff and on loessial soil degradation in the North of France. » In *Comm. 92, Int. Conf. : Preserve the land*, Hawaï, Honolulu, USA, Edit. SCSA, Ankeny : 24-33.
- ROOSE É., NDAYIZIGIYE F., 1996 – Agroforestry and GCES in Rwanda. *Soil Technology*, 11, 1 : 109-119.
- ROOSE É., PIOT J., 1984 – Runoff, erosion and soil fertility restoration on the Mossi Plateau of Upper-Volta. *AISH*, 144 : 485-498.
- ROOSE É., SARRAILH J.-M., 1989 – Érodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesures en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. *Cah. Orstom Pédol.*, 25 (1) : 7-30.
- SAADA H., 1999 – *Évaluation des pertes en sol à partir des parcelles expérimentales dans le bassin versant de Nakhla (région de Tétouan)*. Mémoire de 3<sup>e</sup> cycle agronomique, IAV, Maroc, 80 p.
- SABIR M., 2002 – Quelques techniques traditionnelles de GCES dans le bassin versant de Sidi Driss, Haut Atlas, Maroc. *Bull. Réseau Érosion*, 21 : 224-231.
- SABIR M., BARTHÈS B., ROOSE É., 2004 – Recherche d'indicateurs de risques de ruissellement et d'érosion sur les principaux sols des montagnes méditerranéennes du Rif occidental (Maroc). *Sécheresse*, 15 (1) : 05-110.
- SABIR M., MERZOUK A., BERKAT O., ROOSE É., 1996 – Effet de la maximisation du pâturage sur certaines caractéristiques de la surface et de la perméabilité du sol dans un milieu steppique marocain, Aarid (Haute Moulouya). *Bull. Réseau Érosion*, 16 : 47-57.
- SABIR M., ROOSE É., 2004 a – « Effects of soil types and vegetal cover on soil carbon stock and runoff risks in the western Rif's Mediterranean mountains (Morocco) ». In *Roose É. et al. (eds.) : Land use, erosion & carbon sequestration, proceedings of the Int. Colloquium, Montpellier 24-28 sept.*
- SABIR M., ROOSE É., 2004 b – Influences du couvert végétal et du sol sur le stock de carbone du sol et les risques de ruissellement et d'érosion dans les montagnes du Rif occidental, Maroc. *Bull. Réseau Érosion*, 23 : 144-154.
- SEGUY L., BOUZINAC S., PACHECO R., KLUTHCOUSKI J. 1989 – Des modes de gestion mécanisée des sols et des cultures aux techniques de gestion en semis direct, sans travail du sol, appliquée aux *cerrados* du Centre-Ouest brésilien. Montpellier, Document Irat, 186 p.
- SEIGNOBOS C., 1999 – Pratiques antiérosives traditionnelles : élaboration des terrasses sur les monts Mandara et récupération des terres « hardé » dans le Nord-Cameroun. *Bull. Réseau Érosion*, 18 : 300-305.
- SHAXSON T.F., HUDSON N.W., SANDERS D., ROOSE É., MOLDENHAUER W.C., 1989 – *Land husbandry : a frame work for soil and water conservation*. USA, Ankeny, IOWA, SWC Soc., WASWC, 64 p.
- SIMONNEAUX V., CHEGGOUR A., SABIR M., ROOSE É., 2008 – « 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 : *Roose É. et al. (éd.)* : 312-316.
- SMOLIKOWSKI B., 1993 – La GCES, une nouvelle stratégie de LAE en Haïti. *Cah. Orstom Pédol.*, 28 (2) : 229-252.
- SMOLIKOWSKI B., 1997 – *Gestion de l'eau en milieu cultivé sahélien de montagne (Cap-Vert)*. Thèse doctorat en écologie tropicale, Univ. Toulouse, n° 2826, 265 p.

- SMOLIKOWSKI B., PUIG H., ROOSE É., 2001** – Influence of soil protection techniques on runoff, erosion and plant production on semi-arid hillsides of Cabo Verde. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 87 : 67-80.
- STALLINGS J.H., 1953** – Continuous plant cover : the key for soil and water conservation. *J. Soil & Water Cons.*, 8 : 63-68.
- STOCKING M., 1978** – A dilemma for soil conservation. *AREA*, 10 : 306-308.
- STOCKING M., 1980** – « Examination of the factors controlling gully growth ». In John Wiley, De Boodt, Gabriels (eds.) : *Assesment of erosion* : 505-521 –
- STOKING M., 1986** – The cost of soil erosion In Zimbabwe in terms of three major nutrients. Rome, FAO/AGLS, Soil conservation programme, *Consultants' working paper 3*.
- STOKING M., 1987** – « Quantifying the on-site impact of soil erosion in land conservation for future generations ». In Rimwanich S. (ed.) : ISCO 5, Bangkok, Ministry of Agriculture : 137-162.
- TAYAA M., 1997** – *Caractéristiques physiques et hydrologiques du bassin versant de Nakhla et détermination du taux d'érosion*. Rabat, ministère de l'Environnement, projet Pérennité des ressources en eau du Maroc (PREM).
- TEMPLE P., RAPP A., 1972** – Landslides in Mgeta area, Western Uluguru mountains, Tanzania. Geomorphological effects of Suddan heavy rainfall. *Geografiska Annales* 54, 3-4 : 157-194.
- TIFFEN M., MORTIMORE M., GICHOUKI F., 1994** – *More people, less erosion : environmental recovery in Kenya*. Chichester, John Wiley, 26 p.
- TONDEUR G., 1954** – *Érosion du sol, spécialement au Congo Belge*. Bruxelles, publ. Services agriculture du min. des Colonies, 240 p.
- TRIBAK A., 2002** – Stratégies et techniques de LAE dans les montagnes du Pré-Rif oriental, Maroc. *Bull. Réseau Érosion*, 21 : 45-55.
- VALENTIN C., JANEAU J.-L., CHAPLOT V., et al., 2004** – « Soil crusting and infiltration in Laos and Thailand ». In Luang Phrabang, Laos, 14-17 December : *Land use change and soil and water processes in tropical mountain environments*, IRD, NAFRI, IWMI.
- VALENTIN C., RUIZ FIGUEROA J.F., 1987** – « Effects of kinetic energy et water application rate on the development of crusts in a fine sandy loam soil using sprinkling irrigation and rainfall simulation ». In Paris, AISS/AFES : *Micromorphologie des sols* : 401-408.
- VAN DEN ABEELE M., 1941** – *L'érosion, problème africain*. Bruxelles, INEAC, Sciences naturelles, tome 11.
- VOGT J., 1970** – Un bel exemple d'érosion historique dans le nord de la plaine d'Alsace. *Bull. Association philomatique de Lorraine*, tome 4 : 53-55.
- VOGT J., 1974** – Exemple d'érosion catastrophique dans le vignoble alsacien au XVII<sup>e</sup> siècle (Marlenheim et Mutzig). *Revue d'Alsace*, 104 : 95-96.
- VOGT H., VOGT T., 1979** – « Érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen ». In compte rendu au colloque du lab. Géographie physique, Univ. Strasbourg, 275 p.
- WASSMER P., 1981** – *Recherches géomorphologiques au Rwanda. Étude de l'érosion dans la préfecture de Kibuye*. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Strasbourg, 156 p.
- WISCHMEIER W., 1966** – « Surface runoff in relation to physical and management factors ». In : First Panamerican Soil Conservation Congress, Sao Paulo, Brazil : 237-244.
- WISCHMEIER W., JOHNSON C., CROSS B., 1971** – A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Soil and Water Conservation*, 26, 5 : 189-192.
- WISCHMEIER W., SMITH D., 1960** – « An universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning ». In : Proc. 7<sup>th</sup> Int. Congress of Soil Science Soc., vol. 1 : 418-425.

WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., 1978 – *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. USDA Handbook, 537, 58 p.

WISCHMEIER W., SMITH D., UHLAND R., 1958 – Evaluation of factors in the soil loss equation. *Agron. Eng.*, 39, 8 : 458-462.

WOCAT, 2007 – « Where the land is greener : case studies and analysis of soil and

water conservation initiatives worldwide ». In : Liniger H., Critchley W. (eds.), WOCAT, CTA, FAO, UNEP, CDE publishers, 364 p.

WORTHINGTON E.B., 1938 – *Science in Africa : a review of scientific research relating to tropical and Southern Africa*. London, Oxford University Press.

## Partie 2

---

ABKHAR F., ROUIHA A., 2007 – « Dégradation des terres et stratégies de gestion et de conservation des sols et des eaux dans la région de Abda-Doukkala ». In Laouina A. (sous la dir. de) : *Gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc, la diversité des réponses paysannes à la dégradation des terres*, publ. du groupe Relor et de la chaire Unesco-GN, FLSH, Univ. Mohammed V Agdal, Rabat : 7-15 (article en arabe).

ADERGHAL M., WATFFEH A., TAILASSAN M., NAFAA R., AL KARKOURI J., 2007 – « Les techniques de CES dans le Plateau Central, le haut pays d'Oulmès ». In Laouina A. (sous la dir. de) : *Gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc, la diversité des réponses paysannes à la dégradation des terres*, publ. du groupe Relor et de la chaire Unesco-GN, FLSH, Univ. Mohammed V Agdal, Rabat : 151-164.

AKDIM B., LAAOUANE M., TRIBAK A., AMYAY M., OBDA K., 2007 – La Khettara et le Faïd : enjeux et perspectives des techniques traditionnelles de mobilisation des eaux dans le Moyen et Bas Rhéris. In Laouina A. (sous la dir. de) : *Gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc, la diversité des réponses paysannes à la dégradation des terres*, publ. du groupe Relor et de la chaire Unesco-GN, FLSH, Univ. Mohammed V Agdal, Rabat : 103-112.

ALBERGEL J., 2008 – « Place des petits barrages dans la mobilisation des eaux de surface et dans la lutte contre l'érosion au Maghreb et au Moyen-Orient ». In Roose É. et al. (éd.) : *Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides*. Paris, AUF, EAC, ENFI, IRD : 31-43.

ALBERGEL J., BOUFAROUA M., PEPIN Y., 1998 – Bilan de l'érosion sur les petits bassins versants des lacs collinaires en Tunisie semi-aride. *Bull. Réseau Érosion*, 18 : 67-75.

ALBERGEL J., NASRI S., BOUFAROUA M., DROUBI A., MERZOUK A., 2004 – Petits barrages et lacs collinaires, aménagements originaux de conservation des eaux et de protection des infrastructures aval : exemples des petits barrages en Afrique du Nord et au Proche-Orient. *Sécheresse*, 15, 1 : 78-86.

ALBERGEL J., REJEB N., 1997 – Les lacs collinaires en Tunisie : enjeux, contraintes et perspectives. *C. R. Acad. Agri. Fr.*, 19 mars : 77-88.

AL KARKOURI J., 2003 – *Dégradation du milieu naturel dans le bassin versant de Béni Boufrah (Rif central, Maroc) : analyse des facteurs et des processus, essai de quantification et de modélisation spatiale*. Rabat, thèse de doct. d'État, université Mohammed V, 392 p.

AL KARKOURI J., LAOUINA A., ADERGHAL M., WATFFEH A., 2007 – « Pratiques et techniques de gestion conservatoire des sols et des eaux dans le bassin versant de Beni Boufrah (Rif central, Maroc) ». In Laouina A. (sous la dir. de) : *Gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc, la diversité des réponses paysannes à la dégradation des terres*, publ. du groupe Relor et de la chaire Unesco-GN, FLSH, Univ. Mohammed V Agdal, Rabat : 49-70.

AL KARKOURI J., LAOUINA A., ROOSE É., SABIR M., 2000 – Capacité d'infiltration et risques d'érosion des sols dans la vallée de Béni Boufrah Rif central (Maroc). *Bull. Réseau Érosion*, 20 : 342-356.

- AL KARKOURI J., WATFEH A., ADERGHAL M., 2000** – Action anthropique, dégradation des terres et tentatives de conservation dans le Rif central (cas de la vallée de Béni Boufrah). *Rev. Géogr. Maroc*, 18, n° 1-2 : 5-30.
- AL KARKOURI J., WATFEH A., ADERGHAL M., 2002** – Techniques de conservation de l'eau et des sols dans une zone semi-aride méditerranéenne du Rif central, vallée de Béni Boufrah). *Bull. Réseau Érosion*, 21 : 56-80.
- ARABI M., ROOSE É., 1989** – Influence de quatre systèmes de production sur l'érosion en zone méditerranéenne de moyenne montagne algérienne. *Bull. Réseau Érosion*, 9 : 39-51.
- BELHILALI M., CHAKER M., 2007** – Techniques traditionnelles de CES dans le bassin moyen du Bouregreg, arrière-pays de Rabat. In Laouina A. (sous la dir. de) : *Gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc, la diversité des réponses paysannes à la dégradation des terres*, Publ. du groupe Relor et de la chaire Unesco-GN, FLSH, Univ. Mohammed V Agdal, Rabat : 165-171.
- BENCHERIFA A., POPP H., 1992** – *L'oasis de Figuig, persistance et changement*. Publ. de la Fac. des Lettres et des Sciences humaines, Rabat, 110 p.
- BONVALLOT J., 1986** – Tabias et jessour du Sud tunisien. *Cah. Orstom Pédol.*, 22 (2) : 163-172.
- BOUCHELKHA M., 1994** – « Les modes d'approvisionnement et de consommation de l'eau dans les campagnes des Doukkala : quelques aspects des changements socio-spatiaux ». In Bencherifa A., Aït Hamza M. (éd.) : *Mutations socio-spatiales dans les campagnes marocaines*, Publ. de la Fac. des Lettres et des Sciences humaines, Rabat, série Colloques et Séminaires n° 28 : 53-72.
- BOURGES J., FLORET C., GIRARD G., PONTANIER R., 1979** – *Étude d'un milieu représentatif du Sud tunisien type segui : la citerne Telman (1972-1977)*. Tunis, Rapport Orstom-DRES, 148 p.
- CHAKER M., 1998** – *Le massif de Boukhouali et la plaine d'El Aioun, Maroc oriental : dynamique de la surface, fragilité naturelle et pression anthropique. Quelles tendances et quelles stratégies ?* Thèse d'État, Univ. Mohammed V, Rabat, 288 p. (en arabe).
- CHAKER M., EL ABASSI H., LAOUINA A. 1996** – « Montagne, piedmont, plaine : investir dans les techniques traditionnelles de CES au Maroc oriental ». In Reij C., I Scoones I., Toulmin P. (éd.) : *Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique*, CTA-CDCE, Karthala : 75-86.
- CHAKER M., LAOUINA A., 2007** – « Pratiques et techniques de CES dans le massif de Boukhouali et son piémont steppique, Maroc oriental ». In Laouina A. (sous la dir. de) : *Gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc, la diversité des réponses paysannes à la dégradation des terres*, publ. du groupe Relor et de la chaire Unesco-GN, FLSH, Univ. Mohammed V Agdal, Rabat : 71-82.
- DELHOUME J.-P., 1987** – « Ruissellement et érosion en bioclimat méditerranéen semi-aride de Tunisie centrale ». In *Processus et mesures de l'érosion*, Paris, édit. CNRS : 487-507.
- DELHUMEAU M., 1981** – *Étude de la dynamique de l'eau sur parcelles du bassin de l'oued Sidi Ben Naceur, Nord Tunisie*. Tunis, Rapport Orstom, 80 p.
- DEMMAK A., 1982** – *Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale*. Thèse doct. ing. Paris, 324 p.
- EL ABBASSI H., 1999** – *Les campagnes du Rif oriental marocain. Géomorphologie, érosion du sol et occupation humaine*. Thèse doct. d'État, El Jadida, 394 p.
- EL ABASSI H., 2000** – Le savoir-faire des populations et gestion des eaux et des sols dans une moyenne montagne semi-aride du Rif oriental (Maroc). *Bull. Réseau Érosion*, 20 : 399-428.
- EL AMAMI S., 1977** – Traditional technologies and development of the African environments. Utilisation of runoff water: the meskat and other techniques in Tunisia. *African Environment*, 3 : 107-120.

- EL AMANI S., 1983** – *Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie*. Tunis, Centre de recherche du Génie rural, 70 p.
- EL FASSKAOUI B., 2005** – « Sécheresse et assèchement des nappes dans le bassin du Maïder (Sud-Est marocain) ». In Actes du colloque organisé à la Fac. des Lettres et des Sciences humaines de Fès-Saïs : *Gestion des risques et aménagement au Maroc*, 16 p.
- EL FASSKAOUI B., 2007** – Une technique de conservation des eaux dans l'Anti-Atlas Occidental, les *Matfia* du cercle d'Ighrem. In Laouina A. (sous la dir. de) : *Gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc, la diversité des réponses paysannes à la dégradation des terres*, publ. du groupe Relor et de la chaire Unesco-GN, FLSH, Univ. Mohammed V Agdal, Rabat : 113-130.
- EL HARRADJI A. 1986** – « Observations sur le milieu géographique de la région de Debdou ». In actes du colloque : *Le Maroc Oriental, passé et présent*, publ. de la Fac. des Lettres et des Sciences humaines, Oujda : 29-33 (en arabe).
- EL HARRADJI A. 1993** – « Morphodynamique, activités anthropiques et environnement dans le massif de Debdou-Mekkam, (Maroc Oriental) ». In actes du symposium : *Dynamique de l'environnement en Afrique*, 2<sup>e</sup> Congrès des géographes africains, Rabat, 19-25 avril : 103-112.
- EL HARRADJI A. 1994-1997** – « Aménagement, érosion et désertification sur les Hauts Plateaux du Maroc Oriental ». In International Symposium on *Human impact in mediterranean environments, soil erosion, process and quantification*, Maroc, 9-15 octobre, 1994 ; Méditerranée, tome 86, n° 1-2 : 15-23.
- EL HARRADJI A. 2005** – « Mécanismes et processus de la désertification du milieu forestier semi-aride/subhumide sec de la Gâda de Debdou (Hauts Plateaux du Maroc Oriental) ». In 6th International Conference on Geomorphology : *Geomorphology in Regions of Environmental Contrasts*, (IAG), Zaragoza, 7-11 sept., Abstracts volume : 182.
- EL HARRADJI A., 2007 a** – « Activités agropastorales et gestion conservatoire des eaux et des sols au NW des Hauts Plateaux du Maroc Oriental ». In Laouina A. (sous la dir. de) : *Gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc, la diversité des réponses paysannes à la dégradation des terres*, publ. du groupe Relor et de la chaire Unesco-GN, FLSH, Univ. Mohammed V Agdal, Rabat : 83-102
- EL HARRADJI A., 2007 b** – « La gestion des eaux et des sols dans l'oasis de Figuig, état des lieux et problématique de développement ». In Laouina A. (sous la dir. de) : *Gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc, la diversité des réponses paysannes à la dégradation des terres*, publ. du groupe Relor et de la chaire Unesco-GN, FLSH, Univ. Mohammed V Agdal, Rabat : 131-150.
- EVENARY M., SHANAN L., TADMOR N., 1968** – Runoff farming in the Neguev desert. *Agron. J.*, 60, 2 : 29-38.
- HCEFLCD, 2003** – *Référentiel des techniques de lutte antiérosive dans le bassin versant de Sidi Driss*. Rabat, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et Lutte contre la désertification.
- HEUSCH B., 1970** – L'érosion du Pré-Rif. Étude quantitative dans les collines marneuses. *Annales Recherches Forestières du Maroc*, 12 : 9-176.
- HEUSCH B., 1986** – Cinquante ans de banquettes de DRS en Afrique du Nord : un bilan. *Cah. Orstom. Pédol.*, 22 : 153-162.
- HUDSON N.W., 1987** – Soil and water conservation in semi-arid areas. *FAO Soils Bull.*, 57, 172 p.
- HUDSON N.W., 1991** – A study of the reasons for success or failure of soil conservation projects. *FAO Soils Bull.*, 64, 66 p.
- HURNI H., 1995** – *Soil conservation in Ethiopia*. Ministry of Natural Resources Development and Environmental Protection, Watershed Development et Land Use Department, 100 p.

- JOLY F., 1950** – Les régions géographiques du Maroc. *L'Information géographique*, Paris : 70-72.
- JOLY F., 1960** – Une carte au 1 : 1 000 000 de l'utilisation du sol au Maroc. Rabat, École du Livre.
- JUNGER É., SAMIMI C., 1989** – Le danger de salinisation dans les oasis maghrébines, l'exemple de Figuig. *Rev. Géogr. Maroc*, 13, 1 : 87-103.
- LAOUINA A., 1994** – *Démographie et dégradation de l'environnement, le cas de la montagne rifaine*. Rabat, publ. GERM. : 19-46.
- LAOUINA A., 1998** – Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb. *Bull. Réseau Érosion*, 18 : 33-53.
- LAOUINA A., 2000** – « Dynamiques agraires et dégradation des terres dans les régions de montagne au Maroc, la perspective d'un développement durable. » In : *La montagne marocaine*, publ. chaire Unesco-GN, vol. 1 : 5-34.
- LAOUINA A., 2007** – « La gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc, essai de distribution spatiale ». In Laouina A. (sous la dir. de) : *Gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc, la diversité des réponses paysannes à la dégradation des terres*, publ. du groupe Relor et de la chaire Unesco-GN, FLSH, Univ. Mohammed V Agdal, Rabat : 7-48
- LAOUINA A., CHAKER M., 1977** – La montagne du Bou Khouali, le milieu et l'homme. *Rev. de Géogr. du Maroc*, n° 1, Nouv. sér. : 53-74
- LAOUINA A., CHAKER M., 1998 a** – *Les travertins de la chaîne du Bou Khouali et du piémont septentrional, étude géomorphologique et aménagement hydro-agricole*. Études de Géographie physique, URA 903 du CNRS, Univ. de Provence: 27-34.
- LAOUINA A., CHAKER M., 1998 b** – Processus de dégradation des terres et désertification des pays Ayat-El Aïoun, Maroc oriental. *Bull. Egyptian Geogr. Society*, vol. 71 : 165-191.
- LAOUINA A., NAFÁÁ R., COELHO C., CHAKER M., CAVALHO C., BOULET A.-K., FERREIRA A., 2000** – Gestion des eaux et des terres et phénomènes de dégradation dans les collines de Ksar El Kébir, Maroc. *Bull. Réseau Érosion*, 20 : 256-274.
- LOWDERMILK W.C., 1975** – Conquest of the land through 7 000 years. *Agric. Information Bull.* 99, USDA-SCS, Washington DC, USA.
- MADRPM, 2000** – *Atlas de l'Agriculture*. Publ. du colloque de l'Agriculture et du développement rural.
- MAMVA – Agroconcept 1995** - *Plan national d'aménagement des bassins versants*.
- MERZOUK A. 1996** – *Espace et société dans les oasis marocaines. Cas du Ksar Zénaga, à Figuig*. Mém. DES, Fac. des Lettres et des Sciences humaines, Rabat, 182 p. + annexes (en arabe).
- MOLLARD É., WALTER A. (éd.), 2008** – *Agricultures singulières*. Paris, IRD Éditions.
- NRHIRA A., 1994** – La matfia ou la citerne à eaux pluviales. *Eau et Développement*, 17 : 38-43.
- OLIVRY C., HOORELBECK J., 1989** – Érodibilité des terres noires de la vallée du Büech (France). *Cah. Orstom Pédol.*, 25 (1) : 95-110.
- PASCON P., VAN DER WUSTEN H., 1983** – *Les Béni Boufrah, essai d'écologie sociale d'une vallée rifaine (Maroc)*. Rabat, IURS, 298 p.
- REIJ C., SCOONES I., TOULMIN C., 1996** – *Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique*. CTA-CDSC-Karthala, 356 p.
- ROOSE É., 1972** – « Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en régions tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne ». In Comm. Journées d'étude du Génie rural, Florence : 417-441.
- ROOSE É., 1991** – Conservation des sols en zones méditerranéennes. Synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de LAE, la GCES. *Cah. Orstom Pédol.*, 26 (2) : 145-181.

- ROOSE É., 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 É., 2000 – « Traditional strategies for soil et water conservation in Mediterranean area ». In Rubio J.-L. et al. (eds.) : *Man et soils at the third millennium*, Geoforma Ediciones, CIDE, Logrono, Valencia : 109-130.
- ROOSE É., 2004 – Érosion du carbone et indice de sélectivité dans les régions méditerranéennes et tropicales. *Bull. Réseau Érosion*, 22 : 74-94.
- ROOSE É., ARABI M., BRAHAMIA K., CHEBBANI R., MAZOUR M., MORSLI B., 1993 – Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne d'Algérie : synthèse de 50 parcelles. *Cah. Orstom Pédol.*, 28 (2) : 289-308.
- ROOSE É., BARTHÈS B. 2001 – Organic matter management for soil conservation and productivity restoration in francophone Africa. *Nutrients Cycling in Ecosystems*, 61 : 159-170.
- ROOSE É., SABIR M., DE NONI G. (éd.), 2002 – Techniques traditionnelles de GCES en milieu méditerranéen. *Bull. Réseau Érosion*, 21, 524 p.
- RUBIO J.-L., ASINS S., 2000 – *Typology of traditional bench terracing at the comunidad Valenciana (Spain)*. Poster at the 3rd Int. Congress : *Man and soils at the third millennium*, Valencia, 28-3/1-4.
- SABIR M., 2002 – Quelques techniques traditionnelles de GCES dans le bassin versant de Sidi Driss, Haut Atlas central, Maroc. *Bull. Réseau Érosion*, 21 : 224-231.
- SABIR M., MERZOUK A., ROOSE É., LAOUNA A. (éd.), 2000 – *Les stratégies et méthodes traditionnelles et modernes de lutte antiérosive*. Salé, ENFI, 502 p., ronéo.
- SABIR M., ROOSE É., MACHOURI N., NOURI A., 2002 – Gestion paysanne des ressources naturelles dans deux terroirs de montagne méditerranéennes du Rif occidental (Maroc). *Bull. Réseau Érosion*, 21 : 414-428.
- SABIR M., ROOSE É., MACHOURI N., NOURI A., 2003 – « Organisation spatiale et gestion paysanne des ressources naturelles dans deux terroirs des montagnes méditerranéennes du Rif occidental (Maroc) ». In colloque organisé par l'UMR Sagert, Montpellier, France, 25-27 février.
- SABIR M., ROOSE É., MERZOUK A., 1999 – « Les stratégies et méthodes de lutte antiérosive traditionnelles et modernes au Maroc ». In actes d'atelier organisé par ENFI, IAVHII, IRD, 15 octobre, Édit. École nationale forestière d'ingénieurs, Salé, Maroc, 186 p.
- SABIR M., ROOSE É., MERZOUK A., NOURI A., 1999 – Techniques traditionnelles de gestion de l'eau et de lutte antiérosive dans deux terroirs du Rif occidental (Maroc). *Bull. Réseau Érosion*, 19 : 456-471.
- VAN WESEMAEL B., POESEN J., SOLÉ BENET A., CARABARRIONUEVO L., PUIGDEFABREGAS J., 1998 – Collection and storage of runoff from hillslopes in a semi-arid environment: geomorphic and hydrologic aspects of the aljibe system in Almeria Province, Spain. *J. of Arid Environment*, Academic Press, 40 : 1-14.
- WATFEH A., NAFAA R., ADERGHAL M., AL KARKOURI J., TAILASSAN M., 2007 – La durabilité des ressources en terre et en eau, dans le contexte des transformations agraires dans les plateaux du Sahel atlantique de la Mamora et du Gharb. In Laouina A. (sous la dir. de) : *Gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc, la diversité des réponses paysannes à la dégradation des terres*, publ. du groupe Relor et de la chaire Unesco-GN, FLSH, Univ. Mohammed V Agdal, Rabat : 17-30 (en arabe).
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., 1960 – « An universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning ». In : Proc. 7<sup>th</sup> Int. Congress of Soil Science Soc., vol. 1 : 418-425.
- ZAID O., 1992 – *Figuig (Maroc oriental) : l'aménagement traditionnel et les mutations de l'espace oasien*. Thèse doct. NR, Univ. Paris-I.
- ZARGUEF A., 2001 – *Un espace montagnard et une société en crise au cœur de l'Anti-Atlas : la contrée d'Ighrem*. Thèse doct., Univ. Nancy-2, 688 p.

## Partie 3

- AZONTONDÉ A., 1993** – Dégénération et restauration des terres de barre (sol ferrallitique argilo-sableux) au Bénin. *Cah. Orstom Pédol.*, 28 (2) : 217-226.
- BELLEFONTAINE R., PETIT S., PAIN-ORCET M., DELEPORTE P., BERTAULT J., 2001** – Les arbres hors forêt : vers une meilleure prise en compte. Cahier FAO, *Conservation*, 35.
- BOLI B., ROOSE É., BEP AZIEM B., SANON K., WAECHTER F., 1993** – Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs sur un sol ferrugineux sableux. Recherche de systèmes de culture intensifs et durables en région soudanienne du Nord-Cameroun (Mbissiri, 1991-92). *Cah. Orstom Pédol.*, 28 (2) : 309-326.
- BOUDERBALA N., CHICHE J., EL AICH A., 1992** – « La terre collective au Maroc ». In Bourbouze A., Rubino R. (éd.) : *Terres collectives en Méditerranée*, réseau FAO Ovins et Caprins et réseau Parcours euro-africain, 279 p.
- BOUGHERARA A., 2000** – Formes d'érosion en milieu urbain, ville El-Kala, Algérie. *Bull. Réseau Érosion*, 20 : 323.
- BOUTRAIS J., 2000** – Élevage et érosion en Adamaoua, Cameroun. *Bull. Réseau Érosion*, 20 : 204-217.
- CHAMINADE R. 1972** – Recherches sur la fertilité et la fertilisation des sols en régions tropicales. *Agron. Trop.*, 27 (9) : 891-904.
- CHARREAU C., NICOU R., 1971** – L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques. *Agron. Trop.*, 26 (9) : 903-978. et (11) : 1183-1247.
- COSANDEY C., 1994** – Forêt, pâturage et crues en moyenne montagne méditerranéenne. *Bull. Réseau Érosion*, 14 : 490-501.
- CTA, 1995** – *L'agroforesterie pour la conservation des sols*. CTA, Wageningen, 187 p.
- DIALLO D., BOLI Z., ROOSE É., 2008** – « Influence of no-tillage on soil conservation, carbon sequestration and yield of intensive rotation maize-cotton. Research on sandy Alfisols of Cameroon & Mali. » In Goddard T., Zoebisch M. *et al.* (eds.) : *No-till farming systems*, Special publication n° 3 by WASWC, Bangkok : 383-392.
- DUCHEMIN M., BENMANSOUR M., NOUIRA A., GALLICHAND J., 2008** – « Mesure et modélisation de l'érosion hydrique de sols agricoles au Maroc et au Québec par Césium 137 ». In Roose É., Albergel J., De Noni G., Laouina A., Sabir M. : *Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides*, Paris, AUF-ENFI-EAC-IRD : 386-390.
- EL FELLAH B., 1994** – « Éboulement rocheux dans le Paléozoïque du Rif. Cas sur la route Oued Lao-Jebha ». In 7<sup>e</sup> congrès int. de l'AIGI, Lisbonne, Portugal : 3927-3931.
- EL FELLAH B., AZZOUZ O., ASEBRIY L., 1996** – Simha Asfalou, exemple de glissement sur la côte méditerranéenne des Bokoya entre Torrès et Badis, Rif septentrional, Maroc. *Bull. Réseau Érosion*, 16 : 222-230.
- EL JIHAD M. D., 2005** – Croissance urbaine et problèmes d'assainissement liquide et pluvial dans le bassin du Srou (Maroc central). *Sécheresse*, 16 (1) : 41-52.
- FAO, 1975** – Organic material as fertilizers. *FAO Soil Bulletin*, 27.
- FAO, 1980** – Organic recycling in Africa. *FAO Soil Bulletin*, 43.
- FAO, 1988** – Aménagement du sol : production de compost en milieu tropical et subtropical. *Bull. Pédologique FAO*, 56, 165 p.
- Floret C., Serpantié G. (éd.), 1993** – *La jachère en Afrique de l'Ouest*. Paris, Orstom.
- GANRY F., BADIANE A., 1998** – La valorisation agricole des fumiers et des composts en Afrique soudano-sahélienne. Diagnostic et perspectives. *Agriculture et développement*, 18 : 73-80.

- GILLER K.E., WILSON K.F., 1991 – Nitrogen fixation in tropical cropping systems. Royaume-Uni, Wallingford, CABI.
- GODDARD T., ZOEIBISCH M., GAN Y., ELLIS W., WATSON A., SOMBATPANIT S. (eds.), 2008 – No-tillage farming systems. Bangkok, Special publication WASWC, 544 p.
- GREENLAND D.J., NYE P., 1959 – Increase in the carbon and nitrogen contents of tropical soils under natural fallows. *J. of Soil Science*, 10 : 284-299.
- HAMON R., 1972 – L'habitat des animaux et la production d'un fumier de qualité en zone tropicale sèche. *L'Agronomie Tropicale*, 27 : 592-607.
- ILACO, 1981 – *Agricultural compendium for rural development in the tropics et sub-tropics*. Elsevier, 738 : 534-536.
- JURION F., HENRY J., 1967 – *De l'agriculture itinérante à l'agriculture intensifiée au Congo Belge*. Bruxelles, INEAC.
- LAL R., 1974 – Role of mulching techniques in tropical soils and water management. IITA, Ibadan, *Technical Bulletin*, 1, 38 p.
- LAOUIA A., NAFAA R., COELHO C., CHAKER M., CARVALHO T., BOULET A., FERREIRA A., 2000 – Gestion des eaux et des terres, dégradations dans les collines de Ksar el Kebir, Maroc. *Bull. Réseau Érosion*, 20 : 256-274.
- LEVANG P., 1984 – Shifting cultivation for Transmigration projects? How primitive techniques could help to solve development problems in Central-Kalimantan Transmigration areas. *Agric. Science J.*, 3 (6) : 275-283.
- LHOSTE P., RICHARD D., 1994 – Contribution de l'élevage à la gestion de la fertilité à l'échelle du terroir. *Bull. Réseau Érosion*, 14 : 463-489.
- Memento de l'Agronome*, 1961 – Min. Coopération et du Développement, Paris, 1 635 p.
- MINAE S., BUNDERSON W., KANYAMAPHIRI G., IZAC A.M., 1998 – Integrating agroforestry technologies as a natural resource management tool for smallholder farmers in Malawi. *Adv. Geoecology*, 31 : 1073-1082.
- MOLLET J.-M., LHOSTE P., DULIEU D., HERRMANN P., 1990 – *La fertilisation organique des sols de la zone des savanes (Afrique)*. Rapport IEMVT/Ensam, Montpellier, 40 p.
- MOREAU R., 1993 – « Influence de la mise en culture et de la jachère forestière sur l'évolution des sols forestiers tropicaux ». In Floret C., Serpantié G. (éd.) : 245-256.
- MRABET R., ESSAHAT A., MOUSSADEK R., 2008 – « Influence des systèmes de travail du sol sur les propriétés des sols en zones semi-arides du Maroc. » In Roose É., Albergel J., De Noni G., Laouina A., Sabir M. : *Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides*. Paris, AUF-ENFI-EAC-IRD : 273-288.
- MRABET R., LAHLOU S., LE BISSONNAIS Y., DUVAL O., 2004 – Estimation de la stabilité structurale des sols semi-arides marocains. Influence des techniques culturales simplifiées. *Bull. Réseau Érosion*, 23 : 405-415.
- NOUIRA A., DUCHEMIN M., BENMANSOUR M., GALLICHAND J. BOUKSIRATE H., 2007 – « Efficacité du semis direct à contrer l'érosion hydrique en milieu agricole : mise en évidence à l'aide des techniques de radioéléments, de modélisation et de mesures aux champs (Maroc et Canada) ». In Orange D., Roose É., Vermande P., Gastellu J.-P., Pham Quang Ha (éd.) : *Gestion intégrée des eaux et des sols : ressources, aménagements et risques en milieux ruraux et urbains*, CD-Rom, AUF-IRD, Hanoi, 6-9 nov.
- PIERI C., 1989 – *Fertilité des terres de savane*. France, Min. Coopération et Cirad, 444 p.
- PONTANIER R., M'HIRI A., ARONSON J., AKRIMI N., LE FLOC'H É., 1995 – *L'Homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?* Orstom, AUF, min. Agriculture, Recherche et Environnement, Paris, 455 p.
- RICHARD L., DJOULET D., 1985 – La fertilité des sols et son évolution en zone cotonnière du Tchad. *Coton et Fibres Tropicales*, 6, 21 p.

- ROOSE É., 1978** – Pédogénèse actuelle d'un sol ferrugineux tropical sous une savane arborescente du plateau Mossi (Gonsé, Burkina Faso). *Cahier Orstom Pédol.* 16 (2) : 193-223.
- ROOSE É., 1996** – Land husbandry : components and strategy. *FAO Soil Bulletin*, 70, 380 p.
- ROOSE É., 2002** – Banquettes mécaniques et techniques traditionnelles de GCES en zone semi-aride de Tunisie. *Bull. Réseau Érosion*, 21, 130-154.
- ROOSE É. 2008** – « Soil erosion, conservation and restoration : a few lessons from 50 years of research in Africa ». In Dazzi A. et al. (eds.) : *The soils of tomorrow: changing soil in a changing world*, *Adv. Geoecology*, 41, 22 p.
- ROOSE É., BARTHÈS B., 2001** – Organic matter management for soil conservation and productivity restoration in Africa: a contribution from Francophone research. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61 : 159-170.
- ROOSE É., GODEFROY J., 1968** – Lessivage des éléments fertilisants en bananeraie. *Fruits*, 23 (11) : 580-584.
- ROOSE É., KABORÉ V., GUÉNAT C., 1993** – Le zaï ; fonctionnement, limites et amélioration d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso). *Cah. Orstom Pédol.*, 28 (2) : 159-174.
- SABIR M., 1994** – *Impact du pâturage sur l'état de surface et les propriétés hydrologiques d'un sol brun sub-aride dans un milieu steppique marocain (Aarid, Haute Moulouya)*, Thèse de doct. es-Sciences agronomiques, Institut agronomique et vétérinaire Hassan-II, Rabat, 194 p.
- SABIR M., MERZOUK A., BERKAT O., ROOSE É., 1996** – Effet de la maximisation du pâturage sur certaines caractéristiques de la surface et la perméabilité d'un sol brun sub-aride dans un milieu steppique marocain (Aarid, Haute Moulouya). *Bull. Réseau Érosion*, 16 : 47-57.
- SABIR M., 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. *Bull. Réseau Érosion*, 23 : 144 -154.
- SANCHEZ P., PALM C., 1996** – Recyclage des éléments nutritifs et agroforesterie en Afrique. *Unasylva*, 185 (47) : 12-16
- SEIGUE A., 1985** – *La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes*. Paris, Maisonneuve et Larose, 502 p.
- SHAXSON F., 1999** – New concepts et approaches to land management in the tropics with emphasis on steep lands. *FAO Soil Bulletin*, 75.
- TCHOTSOUA M., BONVALLOT J., 2000** – Érosion urbaine au Cameroun : processus, cause et lutte. *Bull. Réseau Érosion*, 20 : 324-331.
- VAN DER POL F., 1988** – *La production et la conservation du fumier organique*. Rapport IER/IRT, 31 p.
- YONGUÉ-FOUATEU R., BOLI Z., TEMGOUA É., BITOM D., 2000** – Érosion en milieu urbain, Yaoundé, Cameroun. *Bull. Réseau Érosion*, 20 : 332-341.
- YOUNG A., 1989** – *Agroforestry for soil conservation*. ICRAF, CAB International, 276 p.

## Pour en savoir plus sur la culture des arbres fruitiers

Ouvrages généraux par espèce : matériel végétal, économie, conduite, maladies et ravageurs, éclaircissage, etc.

*Le pommier, 2002* – TRILLOT *et al.*, Ctifl, Paris, France.

*Cerise, 1997* – EDIN *et al.*, Ctifl, Paris, France.

*Le noyer, 1999* – GERMAIN *et al.*, Ctifl, Paris, France.

*L'olivier, 1999* – ARGENSON *et al.*, Ctifl, Paris, France.

*Identification et caractérisation des variétés d'Olivier cultivées en France, 2004* – MOUTIER *et al.*, Naturalia Publications, Turriers, France.

La conduite de l'arbre basée sur sa physiologie

*De la taille à la conduite, 2005* – J.-M. LESPINASSE et E. LETERME (éd.), Éditions du Rouergue, Paris, France.

La protection intégrée du verger

*Protection intégrée pommier-poirier, 2006* – 2<sup>e</sup> édition, Ctifl, Paris, France.

Les ravageurs des plantes (dont arbres fruitiers)

<http://www.inra.fr/hyppz/pa.htm>

Les maladies des plantes (dont arbres fruitiers)

<http://www.inra.fr/internet/Produits/HYP3/index.html>

# Glossaire des termes techniques

## **Banquette d'infiltration**

Aménagement composé d'un talus, d'une bande cultivée perméable et d'un bourrelet de terre en courbe de niveau pour favoriser l'infiltration du ruissellement.

## **Banquette de diversion**

Comprend les mêmes dispositifs mais avec une pente légère (de 0,1 à 0,5 %) permettant aux eaux de ruissellement de quitter le versant pour rejoindre un chemin d'eau aménagé.

## **Culture en *bour***

Culture en sec, c'est-à-dire sans irrigation. Au Maroc, on dit qu'un *bour* est favorable quand le sol est suffisamment profond pour assurer une récolte satisfaisante : il est potentiellement candidat à l'irrigation dès que l'eau est disponible.

## **Douar**

Hameau, groupe d'habitations traditionnelles généralement en terre ou en pierres

## ***Daya***

Dépression de la surface d'un plateau causée par la dissolution (fonte) de la masse de la roche (un peu comme les dolines sur calcaire).

## **Évapo-transpiration (ET)**

Se traduit par la somme (en mm/ha/jour) de l'évaporation de l'eau à la surface du sol et de la transpiration des plantes pendant un intervalle de temps.

**Évapo-transpiration potentielle (ETP)**

Lame d'eau évapotranspirée par un couvert végétal complet, suite à l'énergie du soleil et du vent, sans restriction de disponibilité en eau.

**Évapo-transpiration réelle (ETR)**

Évapo-transpiration réellement mesurée dans les conditions naturelles avec ou sans restriction de disponibilité en eau.

**Fruit**

Le fruit d'un mur ou d'un talus est le pourcentage de distance entre la verticale du lieu et le mur incliné vers l'amont.

***Khettara***

Tunnel drainant la nappe phréatique de certains versants sur piémonts.

**Lessivage**

Le lessivage des sols est l'entraînement des colloïdes des sols (argiles, MO, R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) par les eaux de drainage et leur dépôt dans un horizon plus profond ou plus bas dans la toposéquence.

**Litière**

Lit de feuilles mortes sous les arbres des forêts, ou lit de paille, genets, fougères sèches posé sous les animaux dans les étables.

**Lixiviation**

L'entraînement des éléments solubles par les eaux de drainage.

**Mulch**

Terme anglo-saxon : couverture de terre pulvérisée, de paille (mulching = paillage) ou de pierres (reg) qui réduit l'évaporation de la surface du sol.

**Paillis ou paillage**

Recouvrement de la surface du sol par une couche de résidus de culture.

**Palatable**

Les herbes palatables sont des herbes dont le goût, l'odeur et diverses qualités (tendreté, richesse en eau et nutriments, etc.) attirent les animaux qui broutent au milieu de l'ensemble de la végétation d'un parcours. Ainsi les chèvres choisissent et cueillent délicatement certaines parties de certains végétaux dispersés dans la brousse.

**Pays naisseur**

Région favorable à la naissance des jeunes animaux qui quittent ensuite la région lorsque celle-ci n'a plus assez de réserve de fourrage pour nourrir l'ensemble du troupeau.

**Poudrette**

Fèces ou déjections animales séchées à l'air, non fermentées mais piétinées par le troupeau au repos dans les parcs de rassemblement.

### **Remontées biologiques**

C'est la capture par les racines des nutriments entraînés par les eaux de drainage et des cations libérés par l'altération des roches. Ces nutriments transportés par la sève ascendante dans le feuillage seront restitués à la surface du sol lorsque les feuilles, fruits et branchettes tombés au niveau de la litière seront minéralisés par la microflore.

### **SAU**

La SAU est la surface agricole utile d'un terroir: elle comprend les champs cultivés et les surfaces en friche, à l'exclusion des surfaces forestières, des zones rocheuses, nues ou bâties.

### **Séguia**

Canaux en terre, pierre ou béton, acheminant les eaux de leur source (neige, source ou oued) vers les champs à irriguer.

### **Semis direct**

Plantation des graines directement sous la litière, sans labourer le sol.

### **Terrasse en gradins ou terrasse méditerranéenne**

Aménagement des sols en pente comportant un talus en terre, protégé par des herbes, des pierres ou par une murette et une bande cultivée horizontale, aménagée pour être irriguée (plates-bandes, cuvettes ou billons, reliés à une séguia) et éventuellement drainée latéralement.

### **Terrasse progressive**

transformation progressive d'un versant en une série de segments concaves moins inclinés, s'appuyant sur un microbarrage perméable (haie vive, cordon de pierres ou bande enherbée). L'évolution de la pente se fait par les techniques culturales et l'érosion en nappe.



# Table des matières

<b>Remerciements</b> .....	07
<b>Avant-propos</b> .....	11
<b>Introduction générale</b> .....	15
É. ROOSE	
<b>Partie 1</b>	
<b>ASPECTS GÉNÉRAUX DE LA LUTTE ANTIÉROSIVE</b> .....	19
Chapitre 1	
<b>La dégradation des terres et l'érosion des sols</b> .....	21
É. ROOSE	
Introduction : les sols et leurs propriétés .....	21
La dégradation sols .....	22
La portée de l'érosion selon les disciplines scientifiques .....	25
Conclusion .....	30
Chapitre 2	
<b>Évolution historique des stratégies de lutte antiérosive</b> .....	33
É. ROOSE	
Introduction .....	33
Les crises d'érosion .....	33
Évolution des stratégies antiérosives dans le monde .....	36
Rétrospective des techniques de LAE en Afrique .....	41
Conclusions : les perspectives développées au congrès de Marrakech (2006) .....	42
Chapitre 3	
<b>La lutte antiérosive conventionnelle en fonction des processus et des facteurs de l'érosion hydrique</b> .....	47
É. ROOSE	
L'érosion en nappe : cause, processus, indicateurs, conséquences, facteurs, lutte .....	47
L'érosion linéaire en rigoles et ravines : cause, processus, indicateurs, effets, facteurs, lutte ..	59
L'érosion en masse : érosion aratoire, glissements rapides en planches et coups de cuillères, coulées boueuses, techniques de lutte .....	67
Étude critique de l'approche mécanique conventionnelle .....	74

Le développement intégré : application des techniques de GCES ouvertes aux connaissances des savoir-faire traditionnels et à l'amélioration de la productivité des sols ..... 78

Chapitre 4

**Les aspects socio-économiques de la lutte antiérosive** ..... 79

F. BENCHACROUN, É. ROOSE

Introduction : l'érosion n'est pas seulement un problème technique ..... 79

Des aspects socioculturels influencent l'acceptabilité de la LAE ..... 80

Coût économique de l'érosion et des aménagements pour la restauration des sols ..... 87

Les nuisances en aval du ruissellement et de l'érosion ..... 96

Conséquences : la rationalité économique de la GCES ..... 98

**Partie 2**

**LE MAROC, TERRE DE TRADITION AGRICOLE** ..... 101

Chapitre 5

**Le contexte de la lutte antiérosive au Maroc** ..... 103

A. LAOUNA

Introduction ..... 103

Les facteurs écologiques, sociaux et culturels ..... 104

*Les contextes géographique et social* ..... 104

*Les méthodes d'étude* ..... 106

*Les objectifs des aménagements* ..... 106

Les critères principaux envisagés pour la distribution spatiale de la GCES ..... 107

*L'importance du relief dans la distribution des terres* ..... 107

*Le découpage climatique* ..... 109

*Le découpage pédologique* ..... 111

Les critères secondaires ..... 112

*Le critère démographique* ..... 112

*Le critère de la surface agricole utile (SAU)* ..... 113

*Le critère du statut des terres et des régimes agraires* ..... 113

*Le critère de l'élevage* ..... 114

Conclusion ..... 114

Chapitre 6

**Les techniques traditionnelles de gestion de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols** ..... 117

M. SABIR, É. ROOSE, J. AL KARKOURI

Introduction : la gestion des eaux sur les versants : les fiches descriptives ..... 117

La capture de l'eau en région semi-aride ..... 119

Fiche 1. *L'agriculture sous impluvium* ..... 119

Fiche 2. *Les diguettes ou tabia* ..... 121

Fiche 3. *Les meskat : capture du ruissellement d'un impluvium pâturé* ..... 123

Fiche 4. <i>Les micro-bassins : demi-lunes et cuvettes</i> .....	125
Fiche 5. <i>Les chemins creux pavés et canaux de collecte du ruissellement sur les versants</i> .....	127
Fiche 6. <i>Les fossés de collecte sur les pistes</i> .....	129
Fiche 7. <i>De l'empilement des cailloux à la formation des cordons de pierres</i> .....	131
Fiche 8. <i>Les terrasses en gradins discontinus sur versant sec</i> .....	133
Fiche 9. <i>Les bassins de collecte des eaux de sourcins</i> .....	135
Fiche 10. <i>Les mares (madgen, aguelmam ou ghdir)</i> .....	137
Fiche 11. <i>Les citernes couvertes (matfia, joub ou notfia)</i> .....	139
Fiche 12. <i>Les terrasses étroites le long des oueds</i> .....	142
L'infiltration totale .....	144
Fiche 13. <i>Les micro-terrasses individuelles sur terrains rocheux</i> .....	144
Fiche 14. <i>Les terrasses méditerranéennes avec murettes</i> .....	146
Fiche 15. <i>Fossés, éléments de banquettes et banquettes d'absorption totale</i> .....	149
La diversion des excès d'eau .....	151
Fiche 16. <i>Dérayures, fossés et banquettes de diversion</i> .....	151
La dissipation de l'énergie du ruissellement .....	154
Fiche 17. <i>Les haies vives</i> .....	154
Fiche 18. <i>Les terrasses progressives avec talus perméables végétalisés ou empierrés</i> ..	157
La restauration des ravines .....	160
Fiche 19. <i>Le comblement progressif des jeunes ravines dans les champs</i> .....	160
Fiche 20. <i>La végétalisation des jeunes ravines</i> .....	162
Fiche 21. <i>La restauration des ravines moyennes à l'aide de seuils</i> .....	165
Fiche 22. <i>Les seuils en terre enherbée avec exutoire renforcé</i> .....	168
Aménagements des vallées .....	170
Fiche 23. <i>Les jessour</i> .....	170
Fiche 24. <i>Les digues d'épandage de crue (faïd, amzaourou ou amazighe)</i> .....	173
Fiche 25. <i>Les liman : digues de stockage dans les hautes vallées</i> .....	175
Fiche 26. <i>Les petits barrages collinaires</i> .....	177
Fiche 27. <i>Les murs de canalisation des eaux des oueds</i> .....	180
Fiche 28. <i>Les épis de protection des berges et des terrasses</i> .....	182
Fiche 29. <i>Épis, cordons et murettes de pierres perpendiculaires au lit majeur des oueds</i> ..	184
Fiche 30. <i>La mise en défens (jachère, agdal, exclosure)</i> .....	187
Les techniques culturelles appropriées à la gestion de l'eau .....	190
Conclusions .....	192
<b>Chapitre 7</b>	
<b>Intégration des structures de GCES à l'échelle du versant, du terroir ou du bassin versant</b> .....	195
A. LAOUINA, M. SABIR, É. ROOSE	
Les usages de la GCES selon les ensembles agro-écologiques .....	196
<i>Les aménagements diversifiés des montagnes du Nord marocain</i> .....	196
Le Rif occidental .....	197
Le Rif central et oriental semi-aride (J. Al Karkouri) .....	203

<i>Les aménagements complexes du Haut Atlas occidental et central</i> .....	206
Le contexte et les dispositifs de GCES .....	208
Études de cas .....	209
<i>La GCES associée à l'aridoculture des montagnes et piémonts steppiques</i> .....	213
Les montagnes du Maroc oriental (M. Chaker et A. El Harradji) .....	214
L'Anti-Atlas occidental (B. El Fasskaoui) .....	216
<i>La GCES des oasis présahariennes</i> (B. Akdim <i>et al.</i> ) .....	219
<i>Les steppes et les régions pastorales</i> .....	221
La GCES des parcours du Maroc atlantique sub-humide et semi-aride (M. Aderghal <i>et al.</i> ) .....	221
La GCES des steppes du Maroc oriental et du Présahara .....	223
Espaces à faible recours à la gestion conservatoire .....	224
<i>Les basses montagnes et collines du Prérif occidental</i> .....	224
<i>Les milieux favorables des plaines nord-atlantiques</i> .....	226
Le cas particulier de l'arrière-pays de Rabat-Salé .....	227
<i>Les zones de plateaux atlantiques semi-arides</i> .....	229
<i>Plaines semi-arides et arides à grande hydraulique</i> .....	230
Le cas particulier du Sahel des Abda-Doukkala .....	230
Conclusion .....	231

### Partie 3

#### AMÉLIORATIONS DES TECHNIQUES TRADITIONNELLES .....

##### Chapitre 8

#### **Zones de culture :**

#### **amélioration des techniques culturelles traditionnelles** .....

É. ROOSE

Amélioration de la gestion des eaux .....

Amélioration de la gestion de la biomasse :

la fertilisation organique .....

Amélioration de la gestion des nutriments minéraux .....

Amélioration du choix des cultures .....

L'arboriculture fruitière en montagne (P.-E. Lauri) .....

Le travail du sol .....

Simplification et amélioration des aménagements .....

Restauration rapide de la productivité des sols .....

Conclusion .....

##### Chapitre 9

#### **Zones de parcours** .....

M. QARRO, É. ROOSE, M. SABIR

Les populations animales .....

Répartition des terrains de parcours .....

Systèmes pastoraux .....

Gestion de l'eau .....	263
Gestion de la biomasse .....	265
Les transferts de nutriments par le fumier et le parcage .....	267
Effets positifs liés au pâturage raisonné .....	270
Effets négatifs sur les écosystèmes .....	271
Possibilités d'amélioration de la gestion de l'eau, de la biomasse et des sols .....	273
Chapitre 10	
<b>Zones forestières : l'arbre et la GCES</b> .....	277
M. SABIR, É. ROOSE	
Introduction : la forêt des forestiers et les arbres de la GCES .....	277
Diversité des systèmes agroforestiers .....	278
Gestion des systèmes agroforestiers .....	280
Atouts de l'agroforesterie pour la GCES .....	280
L'agroforesterie et la fertilité des sols .....	281
Quelques espèces agroforestières du Maroc .....	284
Conclusion .....	289
Chapitre 11	
<b>Les milieux imperméables, urbains et routiers</b> .....	291
É. ROOSE	
La problématique .....	291
Quelques solutions pour prévenir les risques .....	293
Conclusion .....	294
Chapitre 12	
<b>Choix de techniques de GCES par zone agro-écologique au Maroc</b> .....	297
M. SABIR, É. ROOSE	
Zone désertique .....	299
Zone de plaines et plateaux arides steppiques .....	300
Zone aride de montagne .....	303
Zone semi-aride de montagne .....	303
Pré-riif et Rif central et oriental semi-aride .....	306
Pré-riif, Rif occidental et Moyen Atlas sub-humide à humide .....	307
Zone de grandes cultures des plaines et plateaux semi-arides .....	310
<b>Conclusion générale</b> .....	313
<b>Bibliographie de la partie 1</b> .....	317
<b>Bibliographie de la partie 2</b> .....	326
<b>Bibliographie de la partie 3</b> .....	331
<b>Glossaire des termes techniques</b> .....	335

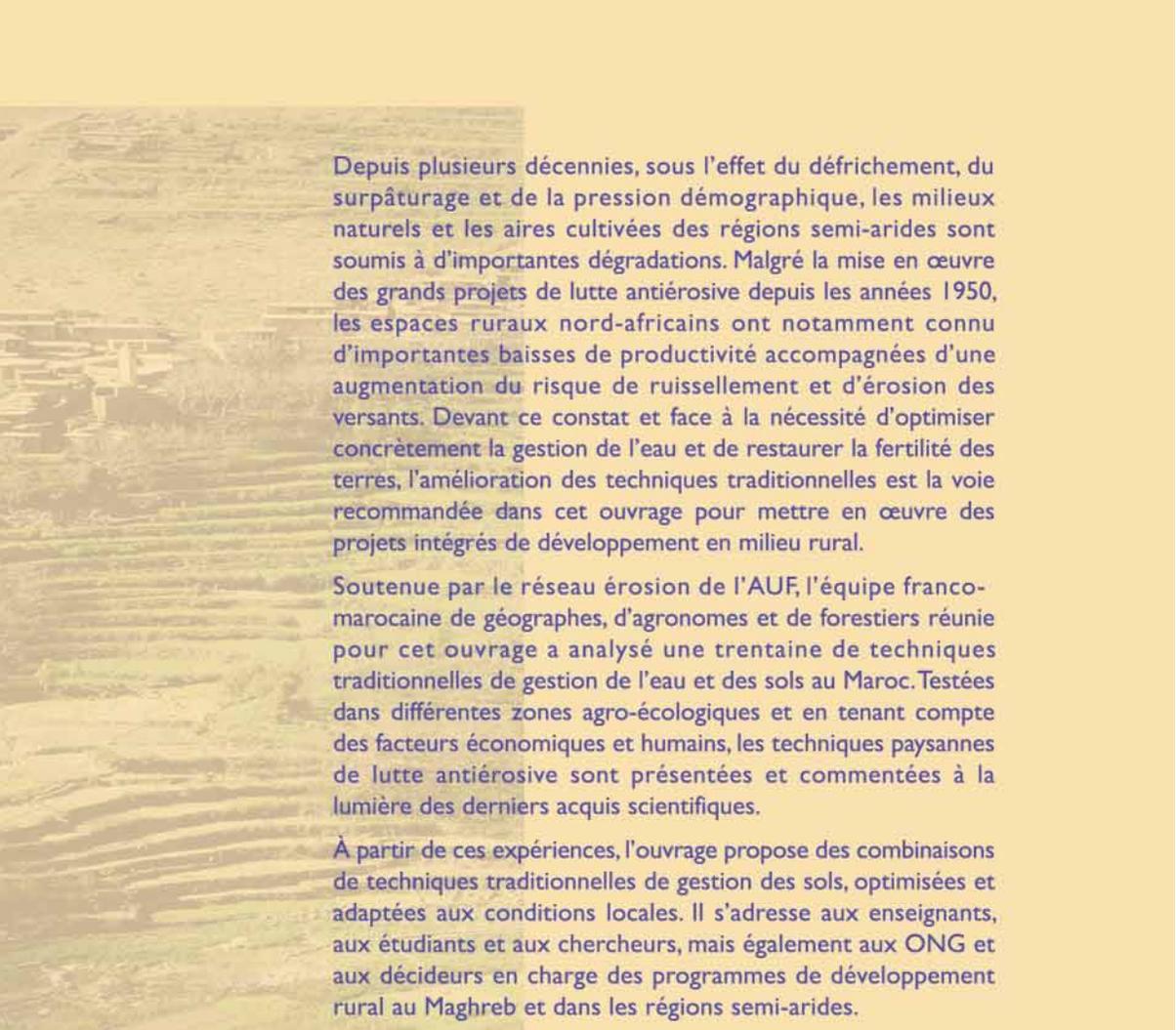


**Sources mixtes**

Groupe de produits issu de forêts  
bien gérées, de sources contrôlées  
et de bois ou fibres recyclés

---

Cert no. BV-COC-856319  
[www.fsc.org](http://www.fsc.org)  
© 1996 Forest Stewardship Council



Depuis plusieurs décennies, sous l'effet du défrichement, du surpâturage et de la pression démographique, les milieux naturels et les aires cultivées des régions semi-arides sont soumis à d'importantes dégradations. Malgré la mise en œuvre des grands projets de lutte antiérosive depuis les années 1950, les espaces ruraux nord-africains ont notamment connu d'importantes baisses de productivité accompagnées d'une augmentation du risque de ruissellement et d'érosion des versants. Devant ce constat et face à la nécessité d'optimiser concrètement la gestion de l'eau et de restaurer la fertilité des terres, l'amélioration des techniques traditionnelles est la voie recommandée dans cet ouvrage pour mettre en œuvre des projets intégrés de développement en milieu rural.

Soutenue par le réseau érosion de l'AUF, l'équipe franco-marocaine de géographes, d'agronomes et de forestiers réunie pour cet ouvrage a analysé une trentaine de techniques traditionnelles de gestion de l'eau et des sols au Maroc. Testées dans différentes zones agro-écologiques et en tenant compte des facteurs économiques et humains, les techniques paysannes de lutte antiérosive sont présentées et commentées à la lumière des derniers acquis scientifiques.

À partir de ces expériences, l'ouvrage propose des combinaisons de techniques traditionnelles de gestion des sols, optimisées et adaptées aux conditions locales. Il s'adresse aux enseignants, aux étudiants et aux chercheurs, mais également aux ONG et aux décideurs en charge des programmes de développement rural au Maghreb et dans les régions semi-arides.

**Éric ROOSE**, agronome-pédologue, est directeur de recherche à l'IRD. Ses travaux portent sur la pédogenèse des sols tropicaux et la lutte antiérosive dans les pays du Sud. Il est coordonnateur du réseau Érosion-GCES de l'AUF.

**Mohamed SABIR**, professeur d'agroforesterie, est directeur de l'ENFI (Ecole nationale des forestiers ingénieurs) au Maroc. Il a été président de l'ISCO (International Soil Conservation Organisation) et du réseau national Érosion-GCES pour le Maroc.

**Abdellah LAOUINA**, professeur de géographie physique, est titulaire de la chaire Unesco-GN de l'université de Rabat. Il est correspondant régional pour l'Afrique du Nord du réseau Érosion-GCES de l'AUF.

**IRD**  
44, bd de Dunkerque  
13572 Marseille cedex 02  
editions@ird.fr  
www.editions.ird.fr

**Diffusion**  
IRD  
32, av. Henri-Varagnat  
93143 Bondy cedex  
diffusion@ird.fr



ENFI

**AGENCE**  
**UNIVERSITAIRE**  
**DE LA FRANCOPHONIE**



9 782709 916837

ISBN 978-2-7099-1683-7

46 €

