

Techniques de Conservation des Eaux et des Sols au Maroc: Aperçu et perspectives

H. EL YADARI¹, M. CHIKHAOUI¹, M. NAIMI¹, M. SABIR², D. RACLOT^{1,3}

(Reçu le 13/12/2018; Accepté le 05/03/2019)

Résumé

La fragilité naturelle du milieu (relief accidenté, pluies agressives, substrats fragiles) associée à une fragilité humaine (pauvreté, précarité) conduisent à l'apparition et l'extension de phénomènes de dégradation des sols spectaculaires. L'érosion hydrique concerne affecte la productivité une grande partie des terres marocaines. Cette situation a incité les paysans à concevoir et à réaliser des aménagements pour réduire les pertes de terres, optimiser l'utilisation des eaux et valoriser les eaux pluviales. Des projets de Défense et Restauration des Sols (DRS) et de Conservation des Eaux et des Sols (CES) ont également été conduits par les institutions d'aménagement des terres dans ces zones pour les mêmes objectifs. Cette étude vise, à travers une recherche bibliographique, à inventorier les techniques de conservation des eaux et des sols au Maroc. Elle retrace un ensemble de techniques adoptées par les agriculteurs pour remédier au manque de terres agricoles, leur conservation et l'amélioration de leur productivité. De nombreux systèmes traditionnels de conservation de l'eau et des sols ont été décrits et classés en fonction du bilan hydrique local, de la topographie, de leur fonctionnement et de leurs objectifs : la capture du ruissellement sous impluvium, l'infiltration totale de l'eau, la diversion des excédents d'eau et la dissipation de l'énergie du ruissellement. Il existe peut-être encore d'autres aménagements non cités ici. Leur efficacité dépend de multiples facteurs qui varient dans le temps et dans l'espace comme les conditions climatiques (sécheresse) et socio-économiques (émigration des jeunes).

Mots clés: Érosion hydrique, Conservation des eaux et sols, Techniques traditionnelles de gestion de l'eau et du sol, Aménagement et gestion des terres, Collecte des eaux pluviales, Maroc.

Techniques of water and soil conservation in Morocco: Overview and perspectives

Abstract

The natural fragility of the environment (relief with steep slopes, aggressive rain, fragile substrates) associated with human fragility (poverty, insecurity) lead to the development and the extension of soil degradation. Water erosion concerns all Moroccan mountains and affects land productivity. This has prompted farmers to design and implement land management techniques, which optimize water use and promote rainwater harvesting. Land management institutions in these areas have also carried out soil protection and restoration (DRS) and soil and water conservation (SWC) projects for the same purposes. This study aims to inventory most of soil and water conservation techniques in Morocco through a literature review. It tracks a set of techniques adopted by farmers to remedy the lack of agricultural land, to enhance land conservation and improve its productivity. Many traditional soil and water conservation systems have been described and classified according to local water balance, topography, operation and objectives: impluvium runoff management, water infiltration increase, diversion of excess-runoff and runoff energy dissipation. Perhaps there exist still other installations not quoted here. Their effectiveness depends on multiple factors, which vary in time and space such as the climatic conditions (dryness) and socio-economic (emigration of youth).

Keywords: Water erosion, Soil and water conservation, Traditional water and soil management techniques, Land management, Water harvesting, Morocco.

INTRODUCTION

Géographiquement, le Maroc est situé dans la zone méditerranéenne réputée par des événements érosifs spectaculaires (Roose et Sabir, 2002). Le milieu naturel, pour des raisons écologiques, est très fragile : les pluies sont orageuses, les sols sont vulnérables et mal protégés durant la saison des pluies, le relief est très accidenté, les roches sont tendres et les versants sont pentus avec souvent des vallées étroites ou de longs glacis.

Durant les étés très chauds, les sols sont asséchés et encroûtés. Les orages de l'automne tombant sur des sols nus provoquent beaucoup de ruissellement. A la fin de l'hiver froid, les pluies tombant sur des sols saturés et encroûtés provoquent aussi de forts ruissellements. Des rigoles évoluent rapidement en ravines. Les crues qui

dévastent les berges des oueds entraînent des inondations, des glissements de terrain, l'envasement rapide des barrages (entre 30 et 60 ans en moyenne), la destruction des routes et autres ouvrages d'art. L'érosion associée dégrade les sols, et leur productivité se trouve à terme anéantie (Al Karkori *et al.*, 2000; Laouina *et al.*, 2000). Tant que la végétation naturelle ou cultivée couvre les versants, les phénomènes de ruissellement et d'érosion restent modérés et les sols sont protégés.

L'anthropisation de ces milieux a fait que depuis des milliers d'années, les forêts ont été défrichées (i) pour produire du bois de feu et du bois d'œuvre pour les constructions et (ii) pour la mise en culture de ces terres fertiles. Il s'en est suivi la dégradation des couvertures végétales et des sols, l'encroûtement ou le décapage des horizons humifères, le creusement des rigoles en ravines,

¹ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

² École Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc

³ Institut pour la recherche et le Développement, UMR LISAH, Montpellier, France

particulièrement le long des pistes et des drailles empruntées régulièrement par le bétail pour rejoindre les points d'eau et les pâturages.

C'est pourquoi les paysans ont développé des 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 Maroc est une zone intéressante pour observer ces processus d'érosion et les méthodes et pratiques de gestion de l'eau et de la fertilité des sols conçues et mises en œuvre par les paysans. Dans ce document, les auteurs présentent une synthèse des stratégies traditionnelles observées au Maroc. Il semble que beaucoup d'entre elles ont été introduites par les Arabes revenant de Chine par la route de la soie, puis étendues et renouvelées par les Romains (Aqueducs, terrasses en gradins irrigués). Après une description des divers problèmes posés par l'eau en montagne, les systèmes antiérosifs traditionnels ont été classés tenant compte des risques de ruissellement à l'échelle de la parcelle.

FRAGILITÉ DES MILIEUX NATURELS AU MAROC

Des pentes très fortes et des versants ravinés

Les montagnes marocaines sont caractérisées par des versants pentus, des substrats fragiles (marnes, schistes, colluvions caillouteuses) et un réseau d'oueds à régime torrentiel. Les ruissellements sont intenses et les versants sont ravinés. Les retenues de barrages se trouvent rapidement envasées. Ce constat indique la puissance du ruissellement dans ces zones à climat semi-aride à aride. Cependant, il a été montré que la couverture végétale contrôle extrêmement ces phénomènes. En effet, même si ces montagnes sont jeunes, tant qu'elles sont couvertes de végétations (forestières ou pastorales) non dégradées, le ruissellement annuel ne dépasse pas 20 % du cumul de pluie et les pertes en terre $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (Heusch, 1970; Laouina 1998, Cheggour *et al.*, 2008). Sous couverture végétale dense, les ravines héritées ne sont plus fonctionnelles sauf durant les averses exceptionnelles (Belaïch, 2014). Comme les sols sont généralement mal couverts, notamment durant la saison automnale, les averses intenses ont un impact très fort se traduisant par un ruissellement et des manifestations de l'érosion spectaculaires (ravines, glissements de terrain et inondations) (Roose, 1972). La position topographique sur un versant peut être plus importante que la pente (Heusch, 1970; Roose *et al.*, 1993). Les colonisations successives, les pressions démographiques et économiques de ces 50 dernières années (déforestation, surpâturage, extension rapide des céréales et localement du Cannabis) ont rompu l'équilibre de ces paysages instables.

Des sols peu développés et peu résistants au ruissellement

Les couvertures pédologiques résistantes à l'érosion hydrique (battance) sont peu étendues (moins de 12 %) (Laouina, 2007). Il s'agit de sols rouges fersiallitiques, de sols bruns calcaires, rendzines noires et de vertisols gris qui sont généralement bien structurés, bien agrégés, riches

en argiles (surtout de type 2/1), en calcaire, en fer libre ou en cailloux. Ils sont assez perméables s'ils ne sont pas tassés par le bétail et résistants à la battance des pluies. Plus de 80 % des sols sont des lithosols, peu évolués et squelettiques (<50 cm), de textures limono-sableuses et très battants (Badraoui et Stitou, 2002). Ils sont très sensibles au ravinement et au glissement de terrain. La présence de gypse et de sel dans les marnes augmente beaucoup leur fragilité (tunnelling, glissements en masse et ravinements).

La résistance des sols à la battance est aussi limitée du fait du surpâturage, du défrichement, et de la mise en culture sans recyclage des matières organiques (Bara, 2012). Dans ce contexte la charge en matière en suspension (MES) des eaux de ruissellement reste souvent modérée (MES = 1 à 3 g l^{-1}), mais dès qu'apparaissent les rigoles, la charge augmente de 5 à 20 g l^{-1} et de 20 à 200 g l^{-1} dans les ravins et les oueds (Cheggour *et al.*, 2008).

Des pluies intenses produisant des crues éclairées

Par le passé le Maroc a connu diverses crues éclairées résultant bien souvent de précipitations très intenses. Le facteur R_{USLE} peut atteindre des valeurs de plus de $200 \text{ Mj mm ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ dans le Rif à certains moments de l'année, où les sols sont peu couverts par la végétation naturelle ou cultivée. Par exemple, le 25 septembre 1950, une crue de 6 mètres de hauteur a inondé la ville de Sefrou faisant une centaine de victimes. Le 23 mai 1963 une violente crue de $7 \text{ 200 m}^3 \text{ s}^{-1}$ de débit de pointe a dévasté la vallée de la Moulouya. Le 5 novembre 1965, une crue a ravagé la vallée du Ziz en laissant 25 000 habitants sans abri et accélérant la décision de construire le Barrage Hassan Addakhil. Le 17 août 1995, une crue éclair à l'Ourika a causé la mort de 150 personnes et 88 disparus. Le débit de pointe de l'Ourika a atteint $1 \text{ 000 m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Saidi *et al.*, 2010).

Contrairement à ce qu'on pense, les pluies ordinaires ont moins d'énergie. Il est important de noter que la source d'énergie dont dépend l'érosion est au moins autant liée au ruissellement concentré dans les ravines et les oueds qu'à l'impact direct des gouttes de pluie (Heusch, 1970). Par conséquent, la lutte antiérosive doit s'organiser autour de la gestion des eaux sur les versants et s'attacher, en plus de la protection du sol contre l'impact direct de la pluie, à la maîtrise de la genèse du ruissellement.

Des usages inappropriés et des couverts inadéquats: défrichement et surpâturage des forêts, céréaliculture extensive

Les forêts et les parcours sont généralement surexploités et surpâturés. Les cultures céréalières dominent au niveau de la Superficie Agricole Utile (SAU) du pays, et couvrent mal les sols en automne. De ce fait, les pluies de fin d'été et d'automne sont très néfastes pour les sols: battance, ruissellement forts et crues éclairées (Roose *et al.*, 1993). Les reboisements d'espèces exotiques à croissance rapide (pins, eucalyptus) épuisent les sols et leur exploitation intensive à blanc-étoc laisse des sols nus dégradés. Au Maroc, on assiste depuis plusieurs décennies au recul de la forêt par le surpâturage, les feux et finalement l'extension des cultures de céréales (ou cannabis) en vue de s'approprier les terrains communaux (Roose, 1999).

Il s'ensuit des glissements de terrain sur pentes fortes, des rigoles et ravines à mi-pente, des inondations dans les vallées ou la destruction des meilleurs sols sur les terrasses récentes et finalement l'aridification de tout le paysage. L'érosion des sols dégrade également les sols par appauvrissement des stocks de nutriments, ceux-ci étant exportés avec les sédiments.

Les pratiques culturales masquent les rigoles et autres indicateurs de ruissellement, mais l'épaisseur des sols diminue, la roche affleure et la production décroît (Naimi et al., 2001). Le cercle de la pauvreté est bien connu : parce que les sols sont pauvres, les petits paysans étendent les cultures et accélèrent encore la dégradation de leurs terres. La jachère diminue et la pression sur la terre augmente. La dégradation des sols s'accroît. Les rendements deviennent plus faibles et les revenus diminuent. La pauvreté s'ancre davantage.

Grands traits de la conservation des sols paysanne

Les averses rares de période de retour 10 ans ou plus sont capables de changer profondément l'allure des versants par les ravinements et les glissements de terrain qu'elles engendrent. Les stratégies de conservation de l'eau et des sols doivent augmenter l'infiltration et retarder le début du ruissellement, prévoir la dissipation de l'énergie du ruissellement sur des surfaces stables (couvertes d'herbes, litière, mulch de cailloux) et dompter les écoulements dans des drains stabilisés (aménagés). Le versant doit être organisé pour évacuer le ruissellement des canaux pendant les périodes de fortes pluies, et stocker une partie de ces excès d'eau en prévision des périodes de rareté des précipitations.

Vu la diversité des situations écologiques et humaines, les paysans doivent faire face à des problèmes très divers pour tirer le meilleur parti des ressources naturelles. La gestion des terres, du bilan hydrique et de la biomasse, cadre leur comportement vis-à-vis de l'érosion en nappe et du ravinement qui abrasent la surface des sols et creuse dans le substrat.

La forêt et le matorral apportent au sol 3 à 10 t ha⁻¹ an⁻¹ de litière et de racines qui permettent une reconstitution, voire une augmentation, des teneurs en carbone organique dans le sol. Mais dès que la forêt est pâturée ou défrichée, l'équilibre est rompu et le taux de MO du sol diminue jusqu'à atteindre un nouvel équilibre fonction du système de production. Sous des seuils de 1,5 à 0,8 % de MO, l'activité de la pédo-faune et la macroporosité s'effondrent, la capacité d'infiltration diminue, de même que l'agrégation et la résistance à l'érosion. Il est donc essentiel de gérer astucieusement la biomasse et la fertilité des sols pour conserver sa productivité (Roose et Barthes, 2000).

Une analyse rapide des données à l'aide du modèle USLE (Wischmeier and Smith, 1960) montre que l'amélioration de la couverture du sol par la végétation ou par les cailloux (C varie de 1 à 0,001) ou de la pente (SL varie de 0,1 à 20) est bien plus efficace que l'implantation d'aménagements antiérosifs plus complexes (P = 1 à 0,1). La lutte antiérosive (LAE) paysanne se focalise sur la modification des systèmes de cultures et la topographie (rupture de la pente). Sur fortes pentes (> 25 %), la rugosité du sol perd de son efficacité face à l'érosion.

Pour les paysans, l'érosion en nappe n'est pas apparente. La dégradation des sols commence avec l'apparition des rigoles et des ravines. La majorité des systèmes traditionnels de LAE s'appliquent à réduire le ruissellement concentré et l'érosion linéaire. Si on n'intervient pas sur les champs après les orages pour effacer les traces du ruissellement concentré, les rigoles vont nécessairement évoluer en ravines et ruiner la terre.

En montagne il va donc falloir développer un système de gestion des eaux de surface bien adapté aux pentes fortes, rocailleuses et peu couvertes.

Les glissements rotationnels, les solifluxions et les laves torrentielles ou coulées boueuses sont peu fréquents, mais peuvent avoir lieu lors des pluies abondantes. Les paysans des montagnes en ont peur et n'ont aucune solution, sauf de situer leurs habitats et infrastructures sur les segments convexes des versants ou de planter des eucalyptus qui dessèchent le sol (Azaaj, 2015).

En conclusion, les stratégies traditionnelles de LAE s'intéressent particulièrement à la gestion du ruissellement sur les versants pour améliorer la productivité du sol. Il s'agit non seulement de capter le ruissellement dans des citernes ou les sols cultivés, d'améliorer l'infiltration des pluies, d'évacuer rapidement les excès d'eau vers des exutoires, de dissiper l'énergie du ruissellement au travers des bandes enherbées, des haies ou des cordons de pierres, mais aussi de dégager plus de surface à cultiver comme c'est le cas des terrasses aménagées en gradins ou des terrasses-banquettes que l'on peut retrouver dans le Rif. Ce sont des systèmes résistants et efficaces pour le contrôle de l'érosion surtout au niveau des pentes abruptes entre 15 et 55 % (Roose et al., 2010).

LES PRATIQUES DE GESTION DES EAUX ET SOLS

Cette synthèse a essayé de classer les différents systèmes de gestion des eaux et sols en quatre catégories ou modes de gestion de l'eau et de la terre en se basant sur leur fonctionnement.

Capture du ruissellement

Stockage de l'eau dans le sol

Agriculture de ruissellement (sous impluvium)

Le ruissellement provenant des versants est infiltré dans les colluvions du glacis en bas de pente cultivés en céréales (Roose et al., 2010). Les paysans travaillent le bas des collines constitué de dépôts (colluvions) ou de substrat facilement labourables (marnes), en espérant collecter assez d'eau tous les 2 ou 3 ans pour produire un peu plus de 5 q ha⁻¹ an⁻¹ de grain et autant de paille.

Tabia

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: ce ruissellement est intercepté par une série de levées de terre et forcé de s'infiltrer dans le sol. Traditionnellement, ces diguettes ne dépassent pas 50 cm de haut et de large et sont couvertes de mottes d'herbes, de cactus ou d'euphorbes. Elles servent aussi de limites des parcelles. Ces diguettes aménagées suivant les courbes 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 suite aux eaux de débordement. Les parcelles entre les diguettes sont cultivées en rotation (céréales, légumineuses, jachères).

Meskat

Les Meskats sont utilisés dans les zones arides à déficit hydrique pour planter des arbres (oliviers, amandiers, figuiers). Les sommets des collines des zones arides maintenus dénudés constituent un impluvium naturel. Celui-ci produit un ruissellement, lequel est redistribué dans une zone cultivée (maska), 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. En intercalaire poussent parfois des céréales d'hiver (orge). La surface de l'impluvium atteint deux fois la surface cultivée au début de l'aménagement.

Demi-lune

L'objectif de la demi-lune est de concentrer les eaux de ruissellement et leurs charges solides au pied des plants. Cette technique de piégeage des eaux de surface consiste à creuser des cuvettes de plantation d'arbres (fruitiers, fourragers) et de les entourer de bourrelets en demi-lune faits de terre tassée (voir figure 1), souvent recouverte de pierres. Leurs diamètres varient de 0,5 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, utilisés pour le parcours extensif. Les espacements entre les lignes sont variables (7 à 15 m) selon le type d'arbre, la pente du terrain et l'aridité. Les eaux de ruissellement captées en été et en automne par les cuvettes 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 d'éviter que le fumier épandu soit 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 sapement des berges) et les risques de crues.

Impluvium

L'impluvium est une cuvette trapézoïdale confectionnée parallèlement aux courbes de niveau. Elle est constituée

d'un creux qui ne reçoit pas de plant et d'un bourrelet à son aval. La section trapézoïdale de la cuvette est de 3 m de longueur à l'amont et 2 m à l'aval avec une largeur de 1 m. La profondeur au talus est de 50 cm. Le bourrelet est d'une hauteur de 30 cm. A l'aval de cette cuvette, le plant d'olivier est planté dans un potêt de 50x50x50 cm. Les eaux emmagasinées dans l'impluvium sont censées s'infiltrer et améliorer le bilan hydrique de la zone racinaire du plant située à l'aval. Cette technique est pratiquée sur des sols profonds. Sur marnes, les paysans font attention à l'asphyxie des arbres par l'excès d'eau. Sur les pentes fortes (> 50 %), le bourrelet doit être renforcé (pierres).

Canaux de collecte du ruissellement

Le long des collines imperméables, des pistes ou chemins, des chenaux sont érigés pour collecter et conduire les eaux de ruissellement aux pieds d'arbres plantés dans des cuvettes ou des champs de céréales. Sabir et al. (1999) ont observé dans le Rif occidental, des chemins pavés recueillant le ruissellement issu des sommets des collines surpâturées et le redistribuant dans les terrasses en gradins cultivées en aval (voir figure 1).

Cordons et murettes en pierres sèches

Dans les zones caillouteuses du Rif, les paysans déplacent les grosses pierres (> 20 cm) et les empilent sur des gros blocs inamovibles pour faciliter le labour et augmenter la surface cultivable. Ces empilements vont croître avec le temps pour former des cordons de pierres d'abord discontinus et enfin des cordons continus qui dissipent l'énergie du ruissellement. Si la forme et la fréquence des pierres le permettent, des murettes de pierres sont construites en priorité pour isoler les champs cultivés du bétail.

Terrasses en gradins discontinus ou terrasses progressives sur versant sec

Les terrasses en gradins discontinus (figure 1) sont taillées dans la couverture pédologique des versants à pente forte, 30 à 60 %, 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). Dans le Rif et le Haut Atlas, des gradins de petite taille sont aménagés dans le versant avec une sole à déversement faible vers le talus (pente < 1 %) (Laouina, 1998). 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. 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 préserver du ravinement que des banquettes continues qui risquent de déborder. Leur construction est progressive, car elle demande 800 à 1500 jours de travail par hectare. Comme leur entretien exige aussi beaucoup de main d'œuvre, elles sont abandonnées dès que leur production n'est plus assez rentable.

Le stockage du ruissellement dans la vallée

Terrasses étroites dans l'oued

Dans les zones semi-arides où il est difficile de cultiver les versants, des haies vives sont implantées en bordure de l'oued pour ralentir la vitesse du courant, capter les eaux et leur charge en sédiments pour construire progressivement un jardin de saison sèche ou alimenter une séguia (canal courant le long de la colline pour irriguer une terrasse en aval). Ces haies sont constituées de cannes de Provence, divers peupliers, saules, frênes, tamarix, eucalyptus et lauriers-roses, carex et joncs.

Jessours

Dans les zones arides du Sud marocain (versants sud de l'Anti Atlas), des digues en terre et en pierres sont construites en série dans les vallées pour capter le ruissellement et sa charge solide en vue de construire une suite

de terrasses plantées progressivement en arbres fruitiers (palmiers, figuiers et oliviers), en céréales et légumineuses (Sabir *et al.*, 2017). Ils ont moins d'envergure que ceux construits au Sud tunisien.

Limans

Il s'agit d'une digue barrant une tête de vallée pour intercepter les rares crues. La culture est organisée en amont dès que l'infiltration du ruissellement est complète (Sabir *et al.*, 2017).

Barrages ou retenues collinaires

Des digues en terre, en pisés ou en ciment sont construites pour former des retenues ayant des capacités de l'ordre de quelques milliers de m³ permettant de récolter le ruissellement d'un petit bassin versant (centaine d'hectares). L'eau sera redistribuée pour l'irrigation de petites terrasses



Agriculture de ruissellement : Épandage des eaux de crue (Fayd), Commune Al Fayd, Aoulouz.

Agriculture de ruissellement issu du versant, Aoulouz, Anti Atlas



Terrasses discontinues, Haut Atlas

Collecte des eaux de pistes



Impluvium pour la plantation d'olivier

Demi-lune avec plant d'arganiers

Figure 1. Collecte des eaux pluviales ou de ruissellement (Photos Sabir)

en aval, ou pompée sur les bords. Souvent les nappes phréatiques perchées dans les dépôts quaternaires aval se trouvent alimentées et les puits rechargés.

Le stockage du ruissellement dans des citernes

Matfias: citernes couvertes

Ce sont des bassins couverts pour stocker les eaux pluviales ou de ruissellement. On en distingue deux types : la matfia collective au douar et celle individuelle, familiale. La matfia collective est souvent composée de:

- Un impluvium naturel plus ou moins aménagé constitué du versant qui surplombe la matfia. Dans le Rif, le toit de la matfia (70 à 150 m²) 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 percant 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 m³ 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 ou la piste jouent 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.

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. De façon indirecte, la matfia réduit les risques de ravinement en aval. L'installation d'une matfia demande un investissement important, selon sa taille et les matériaux utilisés. Les travaux sont généralement réalisés dans le cadre d'une entraide sociale (Twiza). Le coût de construction d'une matfia collective d'une capacité de l'ordre de 300 m³ varie de 30 000 dh (en terre battue + chaux + toit en bois) à 300 000 dh dans le cas de l'utilisation de matériaux modernes (ciment, sable, barres en fer à béton). Les citernes familiales traditionnelles (50 à 100 m³ de volume) coûtent nettement moins cher, de 10 000 à 30 000 dh.

Iferd ou Sahrij: mare à ciel ouvert

L'Iferd est une mare constituée d'un bassin ouvert vers l'amont pour recueillir les eaux issues d'un canal captant le ruissellement produit par un impluvium de taille variable sur les replats des versants situés en amont. Ses dimensions sont variables: de quelques dizaines de m³

(5 m de diamètre et 2 à 3 m de profondeur) à des centaines de m³ (10 à 30 m de diamètre et 5 à 10 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.

L'Iferd est 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 le trouve soit à côté des maisons, soit au voisinage des pistes ou des terrains encroûtés. Ils servent principalement à abreuver le troupeau, mais aussi pour des utilisations domestiques. L'aménagement d'un Iferd ne requiert ni compétence particulière, ni investissement important. Une mare de 5 m de diamètre et de 1,5 m de profondeur nécessite 5 à 10 jours de travail manuel, soit l'équivalent d'un total compris entre 1 000 et 2 000 dh. Les travaux d'Iferd collectifs se font généralement dans le cadre d'entraide communautaire Twiza.

Tamda ou bassins d'accumulation des eaux des sources

Il s'agit de petits bassins en béton, en terre ou en pierres cimentées, stockant 10 à 30 m³ d'eau captée dans un sourcin à débit trop faible pour irriguer directement de petites terrasses (voir figure 2). La liaison entre le sourcin et le bassin se fait par une seguia ou par un tuyau en plastique.

L'irrigation se pratique généralement suivant un tour d'eau (temps qui s'écoule entre deux irrigations), lequel est hérité en même temps que la terre irrigable. 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 en eau.

Techniques favorisant l'infiltration totale de l'eau

Terrasse méditerranéenne

Dans les zones à 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 (sole) 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 (figure 3). 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. 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). Cet aménagement permet aussi de marquer clairement la propriété du terrain, de valoriser et de protéger des versants raides en montagne. Les versants sont généralement occupés par les parcours. Les eaux sont dirigées vers ces terrasses en gradins par des canaux en terre battue. La terrasse est structurée en planches. On y cultive en rotation des céréales (maïs, blé, orge), des légumes (oignon) et des cultures fourragères et autres légumineuses (pois). On y concentre la fumure organique disponible.

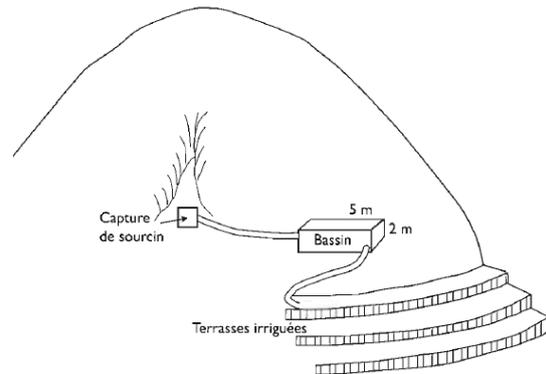
Avec l'apparition des tuyaux en plastique qui peuvent conduire l'eau n'importe où sur les versants dominés par les sources, ces terrasses sont en train de coloniser d'autres espaces inhabituels pour la plantation d'arbres fruitiers rentables (cerisier, pommiers, noyers) dans les vallées d'altitudes riches en eau dans le Haut Atlas (Ourika, Azzaden, Nfis, Rerhaya). Les paysans s'orientent actuellement vers des techniques comme le sous-solage manuel profond (les pierres sont utilisées pour la construction des murs), le billonnage cloisonné et le paillage pour améliorer l'infiltration, le stockage de l'eau et la productivité des sols.

Les banquettes et éléments de banquettes

Les banquettes sont des cuvettes longues confectionnées parallèlement aux courbes de niveau. Elles sont constituées d'un talus, d'un fond et d'un bourrelet. Selon l'importance de chacun de ces trois éléments, la banquette prend soit un profil à fond plat permettant une meilleure mise en valeur du replat avec un bourrelet saillant et profilé. Ce profil favorise l'infiltration et améliore les réserves d'eau dans le sol. Une faible contre-pente du replat vers le talus améliore le régime hydrique dans la banquette. Soit elle prend un profil amorti dont le bourrelet moins profilé très peu turgescent, ce type de profil rappelle la terrasse et est recommandé sur les pentes faibles. Généralement, les banquettes sont confectionnées pour recevoir des plantations au milieu des replats qui favorisent leur stabilité et profitent des eaux de ruissellement retenues. Les banquettes sont des structures qui permettent d'améliorer l'infiltration de l'eau. De ce fait, elles ne doivent en aucun cas être réalisées sur des matériaux de mauvaise perméabilité, gonflants ou sensible au mouvement de masse (solifluxion). De même, pour avoir une banquette avec un dimensionnement optimal, il est souhaitable que le sol soit relativement profond (> 50cm). Les banquettes peuvent être confectionnées sur des pentes variables atteignant même 30 %. Mais, les meilleurs résultats sont obtenus sur des pentes faibles (15 %) car elles permettent d'avoir des replats plus larges.



Tamda, bassin de stockage d'eau de la source à Tazlyida, Haut Atlas de Marrakech.



Schémas de capture et stockage des eaux de sourcins.



Matfia à usages communautaires (eau domestique) à Takoucht, Haut Atlas occidental



Iferd à usage communautaire (eau domestique) à Takoucht, Haut Atlas occidental.

Figure 2. Bassins de stockage des eaux (Photos Sabir).

Les techniques basées sur la diversion des excédents d'eau

Les sillons de diversion (dérayures)

Ils servent à évacuer rapidement les excès d'eau à la surface des champs de céréales. C'est le cas sur les sols argileux dans le Rif. La pente de ces sillons ne doit pas dépasser 5 % sous peine d'être à l'origine d'une ravine. Dans les champs du Haut Atlas, des murettes en pierres retiennent la terre sur les versants raides schisteux. Mais pour éviter les glissements de terrain, il a fallu ouvrir des fossés obliques qui drainent les eaux excédentaires vers des collecteurs principaux empierrés : ces drains fonctionnent comme le billonnage oblique, pratique culturale qui permet un lent drainage des eaux vers des exutoires aménagés en bordure des parcelles. Ces systèmes de diversion réduisent les risques de ravinement dans les parcelles cultivées, mais accélèrent le drainage du versant et tendent à augmenter les débits de pointe dans les vallées situées en aval, et peut donc amplifier l'érosion des berges et les inondations.

Fossés de diversion ou R'foussi (en berbère)

Ils peuvent aussi capter les eaux des impluviums (route ou glaci) pour les étaler sur les champs de culture où les orienter vers les cuvettes des oliviers (plaine de Midar dans le Rif oriental) (El Abbassi, 1999).

Les techniques de dissipation de l'énergie du ruissellement

Les terrasses progressives en amont de microbarrages perméables

Au lieu de concentrer les eaux de ruissellement en nappe dans des fossés de diversion, ce système tente de ralentir le ruissellement et de dissiper son énergie en dispersant les eaux sur la rugosité de la surface du sol (mottes, cailloux, paillage, litière de résidus de culture, adventices) et sur des structures perméables (bandes enherbées, haies, talus enherbés, cordons de pierres) (Roose, 1994). En montagne ce système de gestion de l'eau est très fréquent avec des talus couverts d'herbes diverses (Diss, Sulla, etc.), de buissons (oléastres, amandiers, palmiers doum, *Acacia horrida*), de cactus ou d'agaves. Sur les lithosols, les pierres sont accumulées en tas, en cordons ou en murettes de pierres, selon la qualité et la fréquence des pierres. Les talus s'élèvent progressivement grâce aux labours, à la sédimentation des terres érodées entre les talus et aux soins des paysans (5 à 20 cm an⁻¹). La pente diminue jusqu'à atteindre une forme concave en équilibre, mais le ruissellement continue de descendre la colline, en écoulements diffus, avec une vitesse et une énergie réduites. Lors des pluies importantes, les versants aménagés en talus ne ravinent pas comme leurs voisins non aménagés (El Abbassi, 1999).

Les terrasses en gradins avec des murettes en pierres

Dans les vallées du Haut Atlas, on peut admirer des terrasses en gradins construites depuis plusieurs siècles par les Berbères. Sur les pentes modérées et les meilleurs, sols des piedmonts ou bas versants poussent des cultures

associées à des arbres fruitiers et/ou fourragers (frênes, peupliers). Sur les sommets concaves des versants, les terrasses sur lithosols superficiels ne supportent que des amandiers rustiques ou noyers. Certaines pratiques culturales augmentent l'efficacité de ces terrasses comme le labour grossier profond, le paillage ou le semis direct dans la litière des résidus de culture.

La gestion des terres (gestion de la biomasse)

Sous culture

La biomasse disponible dans les champs cultivés n'est pas négligeable. Les céréales peuvent laisser 1 à 4 t ha⁻¹ de paille, mais elle 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⁻¹ de racines et tiges), mais elles sont riches en azote, phosphore et calcium. Les jachères courtes (quelques mois entre les cycles culturaux) et les adventices (jachère améliorée) fournissent 0,5 à 2 t ha⁻¹ de matière verte qui servent généralement au bétail avec grande partie restituée au sol. Les cultures fourragères (bersim, luzerne) peuvent fournir de 15 à 30 t ha⁻¹ an⁻¹ de matière verte et laisser dans le sol 0,5 à 2 t ha⁻¹ de racines et tiges.

Agroforesterie

L'association des arbres, arbustes aux cultures augmente très nettement la production de biomasse des champs cultivés. Traditionnellement, lors du défrichage des terres, certains arbres utiles sont préservés sur les bords des parcelles pour produire du fourrage, du bois de service et de feu : frênes fourragers, oléastres, thuya, genévrier, chêne vert fourrager. Ces arbres sont traités en têtards pour produire plus de feuillage fourrager. Les terrasses des bords des oueds sont consolidées par des rangées puissantes de peupliers, saules et tamarix.

Avec la colonisation française, depuis le début du siècle dernier, plusieurs arbres fruitiers ont colonisé les terrasses du Haut et Moyen Atlas et moins le Rif. Les paysans associent favorablement les rosacées (pommier, cerisier, prunier, cognassier, poirier) avec les cultures (fourragères). Les vallées sont transformées; les systèmes d'exploitation ont beaucoup évolué : d'un sylvopastoralisme extensif où la céréaliculture (orge) dominait les terrasses irriguées et les versants en bour (pluvial) et les parcours les sommets des montagnes vers des agrosystèmes avec dominance d'arbres fruitiers associés aux fourrages et maraîchages sur les terrasses irriguées. Ces dernières sont en pleine extension à cause de l'introduction des tuyaux en plastique. Le cheptel est passé d'un élevage extensif (caprins) basé sur les parcours forestiers à un cheptel en stabulation (vaches laitières, ovins) alimenté essentiellement par la production de la vallée. La pression pastorale sur le matorral a nettement régressé, les chênes repoussent et le thuya se régénère à partir des souches.

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 al., 2004). Les

haies vives de *Leucaena*, *Cassuarina*, *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 arbres plantés en haies vives 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. Au Maroc, 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).

Fumure organique des sols: élevage et fumure organique

Le troupeau est maintenu dans l'exploitation agricole parce qu'il sert de caisse d'épargne (lait, viande) et il produit du fumier. Cependant, on constate que les agro-éleveurs accordent peu de soin à la production d'un fumier de qualité: la litière et les déchets de l'exploitation sont généralement entassés au bord d'une piste ou d'un ravin ensoleillé. Les fèces ne fermentent pas suffisamment. Le fumier perd son humidité (70%) et devient plus légers à transporter vers les champs, 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 et des germes contaminant le sol. Les fumiers de bonne qualité sont rares, mais leur influence favorable sur les rendements, leur restitution progressive des nutriments,



Terrasses et extension du cactus dans le versant occidental de l'Anti Atlas.



Terrasses et agroforesterie dans le Haut Atlas Occidental, Commune de Tamri.



Figure 3. Divers aménagements de versants en milieux semi-arides à arides (Photos Sabir)

leur effet positif sur le pH et les autres caractéristiques physiques du sol sont bien connus des paysans.

Le transport du fumier du lieu de stockage aux champs pose beaucoup de difficultés, car il s'agit de quantités importantes (1 à 20 t ha⁻¹) à déplacer sur des terrains accidentés. 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 et exploitées le plus intensément. Comme le système d'élevage est extensif, avec une complémentation, 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 réduit la qualité du fumier produit. Presque tous les paysans ajoutent les résidus de la maison (balayures, épiluchures) sur le tas de fumier.

Le fumier transporté à dos d'animal (mulets, ânes) est déposé sous forme de petits tas sur les parcelles et terrasses (figure 4) souvent au début de la période des labours (novembre – janvier). Avant le travail du sol, il est étalé sur la surface puis mélangé au sol par le labour. Souvent il n'est pas bien enfoui. Il reste en contact avec le soleil et l'air et perd beaucoup de sa qualité fertilisante et structurante du sol.

Jachère

La jachère longue traditionnelle est très efficace pour restaurer les propriétés chimiques, physiques et biologiques de la couche humifère du sol (Floret et Serpantié, 1991), mais généralement la pression démographique empêche d'atteindre de longs cycles (10 ans). Au Maroc, les jachères sont souvent courtes, un à deux ans et elles sont broutées par les troupeaux. Bien que leurs effets soient positifs sur les états de surface des sols, la structure (aération) et le taux de matière organique, la durée est très courte pour restaurer complètement les propriétés physiques des sols dégradés. Les jachères de légumineuses sont rares et remplacées par des cultures fourragères mixtes (trèfle ou luzerne plus orge ou avoine). Dans le Rif occidental, les jachères sont amendées par du fumier pour produire des herbes pour le bétail qui y pâture. Les assolements dans les territoires des douars sont collectifs : les paysans s'organisent pour mettre en jachères des parcelles voisines les unes aux autres pour créer un pâturage commun et éviter d'endommager les cultures (céréales, légumineuses).

DISCUSSIONS

Efficacité des systèmes traditionnels

Les principaux systèmes traditionnels de conservation de l'eau et des sols ont été décrits et classés en fonction du bilan hydrique local, de la gestion des terres, de la topographie, de leur fonctionnement et de leurs objectifs. L'extrême diversité de ces techniques met en évidence toute l'ingéniosité déployée par les paysans pour s'adapter aux conditions locales.

Malgré cela, l'efficacité de ces techniques reste limitée par des contraintes d'ordre climatique (rareté et irrégularité des précipitations) et socio-économiques (pauvreté, émigration) auxquelles il est très difficile de s'adapter du fait de leur forte variabilité dans le temps et dans l'espace. À

l'échelle du versant ou de la vallée, ces différentes techniques sont très souvent déployées en association (Figure 5); il est alors plus pertinent d'analyser leur efficacité en bloc plutôt qu'individuellement.

Enfin il faut garder à l'esprit que la stabilisation des versants 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 et/ou de l'occurrence d'événements extrêmes (crues, sécheresses),
- Puis re-stabilisation (investissements) par de nouveaux arrivants (Rif occidental) et des émigrés de retour des villes ou de l'étranger (Rif oriental, Haut Atlas).

Pérennité des techniques traditionnelles

Actuellement, certains systèmes d'exploitations 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. Depuis le début du siècle dernier, la population de montagne a quadruplé et ses besoins ont augmenté et se sont diversifiés. Ces systèmes traditionnels exigent souvent beaucoup de travaux d'entretien. Or les jeunes émigrent en ville ou en Europe pour gagner mieux leur vie (et celle des familles restées au pays). Par conséquent, on manque localement de main-d'œuvre (qualifiée) ou de financement pour l'entretien des aménagements. Dans beaucoup de douars du Haut et Moyen Atlas, on ne retrouve plus de berger jeune pour s'occuper des troupeaux familiaux. Les vieux paysans restés aux douars transforment les caprins en bovins et ovins plus faciles à conduire (Sabir et al., 2013).

Gestion de l'eau et de la fertilité des sols en montagne

La majorité des techniques de gestion des terres en montagne semi-aride vise d'abord la gestion de l'eau, sa capture, son stockage et sa valorisation. Le ruissellement apporte aussi bien des appoints d'irrigation que des sédiments qui améliorent la fertilité du sol.



Figure 5. Intégration d'aménagements traditionnels et modernes de la vallée jusqu'au versant (Oued Aoulouz) pour une meilleure production en céréales (grains, paille), en légumes et en fruits (olives, amandes)

Dans ces zones, la production végétale n'est pas seulement limitée par la disponibilité en eau mais aussi par les carences du sol en nutriments, principalement en phosphore et en azote, continuellement exportés par les récoltes de céréales. Pour restaurer la capacité de production des terres, les paysans pratiquent toute une série de techniques traditionnelles : la rotation ou l'association des céréales et des légumineuses, l'apport de fumier (généralement pauvre qualitativement et en trop faible quantité), la jachère pâturée, des systèmes agroforestiers (rotation céréales/fèves sous oliviers, amandiers ou figuiers) et sylvopastoraux (parcours sous divers chênes). Ces systèmes complexes aident à maintenir un niveau minimal de production (4 à 15 q ha⁻¹ an⁻¹), mais un apport complémentaire d'engrais minéral (N, P) est indispensable pour valoriser les apports d'eau si on veut intensifier la production.

CONCLUSION

Un intérêt clair des études sur les techniques traditionnelles pour le développement rural

L'étude des performances des stratégies traditionnelles s'avère particulièrement utile pour définir avec les paysans un nouveau point de départ pour tenter de résoudre au niveau local les problèmes d'érosion qui ne peuvent trouver de solution purement et uniquement technique.

Les paysans connaissent mieux les difficultés du milieu qu'ils exploitent. L'approche participative dès le stade du diagnostic améliore les connaissances du milieu écolo-

gique et humain. Les chercheurs, en relation étroite avec les techniciens de l'État 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 (Moyen Atlas, Rif) profite aux occupants des vallées et des villes en aval. Il ne reste pas moins des problèmes graves (glissements de terrain, inondations, ravinement torrentiel, érosion par les oueds) qui restent du ressort d'équipes techniques spécialisées plus compétentes au service de l'État. Une solidarité tridimensionnelle dans le transfert et le partage des richesses est nécessaire pour continuer à produire encore plus, qualitativement, et préserver les ressources : solidarité amont-aval, solidarité entre régions agro-écologiquement différentes et entre ville-campagne. La notion de paiement pour services environnementaux (PSE) trouve ses origines et ses bases dans cette solidarité.

Remerciements

Les auteurs remercient le programme JEAI Vecteur financé par l'IRD et le projet MASCC financé par l'EU-FP7 (ERA-NET 618127) pour leur support financier et technique.



Figure 4. Fabrication et épandage du fumier sur les parcelles cultivées, Commune Amskroud, Haut Atlas Occidental (Photos Sabir)

BIBLIOGRAPHIE

- 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 (1-2): 5-30.
- Azaaj S. (2015). Diagnostic et évaluation des techniques traditionnelles de gestion de l'eau et de la terre dans le bassin versant Tleta. Mémoire de fin d'étude. École Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, 125 p.
- Badraoui M. et Stitou M. (2002). Status of soil survey and soil information system in Morocco. In Badraoui, Bouabid & Pavlovic Eds. Proceedings de l'atelier sur les bases de données SOTER pour les pays de l'Union du Maghreb Arabe. p. 21-28, 12-16 novembre 2001, Rabat, Maroc, FAP/SNEA, Tunis
- Bara F. (2012). Élaboration d'une base de données géographique pour l'étude de la vulnérabilité des sols marocains à l'érosion hydrique au Maroc. Mémoire de fin d'étude. École Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc. 95 p.
- Belaich M. (2014). Cartographie diachronique et modélisation du ravinement au niveau du bassin versant Tleta (Rif occidental). Mémoire de 3^{ème} cycle. École Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé. 73 p.
- Cheggour A., Simonneaux V., Samia A., Yaro Y., Errouane S., Sabir M., Roose É. (2008). 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: 311-322.
- 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.
- Heusch B. (1970). L'érosion du Pré Rif. Étude quantitative dans les collines marneuses. *Annales Recherches Forestières du Maroc* 12: 9-176.
- Laouina A. (1998). Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb. *Bull. Réseau Erosion*, 18: 33-53.
- Laouina 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 Erosion*, 20: 256-274.
- Laouina A. (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.
- Lowdermilk W.C. (1975). Conquest of the land through 7000 years. *Agric. Information Bull.* 99, USDA-SCS, Washington DC, USA.
- Mollard É., Walter A. (éd.), (2008). *Agricultures singulières*. Paris, IRD Éditions.
- Naimi M., Tayaa M., Ouzizi S., Choukr-Llah R. et Kerby M. (2001). Estimation du ravinement dans le bassin versant du Nakhla, Rif occidental, Maroc. *Bull. Réseau Erosion*, 21: 232-243
- Naimi M., Bagdad B. (2002). Aménagements traditionnels dans une vallée du Haut Atlas occidental. *Bull. Réseau Erosion*, 21: 82-93.
- Roose E. (1972). Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en régions tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne. *Comm. Journées Etude du Génie Rural, Florence*: 417-441.
- Roose E. (1991). Conservation des sols en zones méditerranéennes. Synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de LAE, la GCES. *Cah. ORSTOM Pédol.* 26: 145-181.
- Roose E., 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: 289-308.
- Roose E. (1994). Introduction à la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (GCES). *Bull. Sols FAO*, Rome, 70: 420 p.
- 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 E. & Barthès B. (2001) Organic matter management for soil conservation in Africa. *Nutrients Cycling in Ecosystems*, 61: 159-170.
- Roose E. & Sabir M. (2001). Stratégies traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en zones méditerranéennes. Séminaire International de Montpellier 2000 «Hydrologie des régions méditerranéennes» PHI-V. Doc. *Technique en Hydrologie* n°51: 101-109.
- Roose E., Sabir M. et Laouina A. (2010). Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc. Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes. IRD Éditions, Institut de Recherche pour le Développement, Marseille, 2010. 343p.
- Sabir M., Roose E., 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 Erosion*, Montpellier, 19: 456-471.
- Sabir M. (2002). Quelques techniques traditionnelles de GCES dans le bassin versant de Sidi Driss, Haut Atlas central, Maroc. *Bull. Réseau Erosion*, 21: 224-231.
- Sabir M., Merzouk A., Roose E., Laouina A. (éd.), (2000). Les stratégies et méthodes traditionnelles et modernes de lutte antiérosive. Salé, ENFI, 502 p., ronéo.
- 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: 105-110.

Sabir M., Qarro M., Ponette Q., Lahlal A. et Benomar I. (2013). Gestion traditionnelle des systèmes agroforestiers a arganiers. Actes du 2^{ème} Congrès International de l'Arganier, Agadir, 9 - 11 décembre 2013. p. 100-103.

Sabir M., Qarro M., Chettou Z. et Rouchdi M. (2017). Évaluations de la dégradation et des bonnes pratiques de gestion durable des terres au sein et à travers leurs systèmes d'utilisation «Région Souss-Massa/observatoires permanents de suivi et de surveillance écologique», Rabat, FAO/HCEFLCD. 235 p.

Saidi M., Daoudi L., Aresmouk E., Fniguire F. et Boukrim S. (2010). Les crues de l'oued Ourika (Haut Atlas, Maroc): Événements extrêmes en contexte montagnard semi-aride. *Comunicações Geológicas*, 97: 113-128.

Wischmeier W.H. & Smith D.D. (1960). A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. *Proc. 7th Congress Int. Soil Sci. Soc.*, 1: 418-425.

Ziyadi M. (2011). Vivre dans les montagnes arides ou subarides l'aménagement des pentes dans l'Anti-Atlas Central et Occidental (Maroc). Thèse de doctorat nouveau régime en géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines. Université Nancy 2, France. 428 p.