

LES TERRASSES ANTIÉROSIVES EN AFRIQUE. TYPOLOGIE, EFFICACITÉ, LIMITES ET AMÉLIORATIONS

E. Roose

Dir. Rech. IRD, UR SeqBio. BP 64501, F 34394 - Montpellier France
roose@mpl.ird.fr

RÉSUMÉ

Différentes formes de terrasses antiérosives sont connues depuis longtemps et combinées dans les paysages montagneux de l'Afrique, en particulier au Maghreb, en Afrique occidentale, en Afrique orientale et à Madagascar. Leurs formes et objectifs sont souvent diversifiés sur un même versant : des terrasses progressives pour ralentir le ruissellement et retenir la terre sur le haut des versants, des terrasses en gradins pour stocker de la terre et de l'eau en milieu semi-aride ou pour faciliter l'irrigation à proximité des sources et des rivières.

Leur efficacité pour retenir l'eau et les sols, assez mal connue, a été démontrée par de rares expérimentations à l'échelle de parcelles de quelques centaines de m² et sur quelques petits bassins versants. Cependant, dans certains cas de pentes trop fortes (>60%), de zones à tremblement de terre, de roches sujettes à glissements (marnes à gypse, schistes, gneiss), de sols gonflants à fissuration ou trous d'animaux fouisseurs, les terrasses se sont avérées inadaptées. Ces techniques traditionnelles ou importées de force ont souvent été abandonnées car elles exigent trop de travail (mieux valorisé en ville) et de fertilisation pour être rentables économiquement.

Ces techniques peuvent être améliorées en sélectionnant des systèmes de culture intensifs propres aux montagnes, en réduisant les temps de travaux, en utilisant des techniques plus faciles pour stabiliser les talus (agroforesterie/haies vives et légumineuses), en protégeant la surface du sol, en adaptant la fertilisation et l'irrigation raisonnées.

Mots-clés : Afrique, terrasses, typologie, conservation eau et sols, limites, améliorations.

RESUMEN

Hace tiempo que se conocen diferentes formas antierosivas que se complementan en los paisajes montañosos de África, en particular en el Magreb, en África Occidental, en África oriental y en Madagascar. En una misma vertiente pueden variar sus formas y funciones: terrazas progresivas para frenar la escorrentía y retener la tierra en la parte alta, terrazas en gradas para almacenar la tierra y el agua en lugares semi-áridos o para facilitar la irrigación en proximidad de fuentes y torrentes.

Su eficacia para retener el agua y los suelos, bastante mal conocida, ha sido demostrada a partir de algunas experimentaciones a escala de parcelas de algunos cientos de m² y en pequeñas cuencas hidrográficas. Sin embargo, en ciertos casos de pendientes abruptas (>60%), en zonas de terremotos, de rocas sujetas a deslizamientos (margas, esquistos, gneis), de suelos expansivos con fisuras o galerías de animales, las terrazas se muestran ineficaces. Estas técnicas tradicionales o forzosamente importadas han sido a menudo abandonadas al exigir demasiado trabajo (mejor valorizado en ciudad) y fertilización para ser rentables económicamente.

Estas técnicas pueden mejorarse con el tiempo mediante la selección de sistemas de cultivo intensivos propios de áreas montañosas, la reducción del tiempo de los trabajos, la utilización de técnicas más fáciles para estabilizar el talud (agroforestales/setos vivos y leguminosos), la protección de la superficie del suelo, y la adopción de una fertilización e irrigación razonadas.

Palabras clave : África, terrazas, tipología, conservación agua y suelos, límites, mejoras.

INTRODUCTION

Diverses formes de terrasses ont été développées pour divers objectifs dans les régions montagneuses d'Afrique depuis des siècles ou introduites à l'époque coloniale, ou plus récemment avec la coopération internationale (Critchley *et al.*, 1994 ; Hallsworth, 1995 ?).

Ces systèmes de lutte antiérosive mécanique limitant la pente ont la réputation d'être efficaces pour conserver l'eau et les sols sur les fortes pentes (Hudson, 1988 ; Hurni 1992 ; Igbokwe, 1996) et de permettre une certaine intensification de la production de cultures spécifiques des montagnes tropicales (Hiol-Hiol *et al.*, 1996) et la sécurisation foncière (Chaker *et al.*, 1996).

Mais cette réputation est contestée à divers niveaux, soit que leur efficacité antiérosive a été remise en cause lors d'installation sur des pentes trop fortes, sur des sols à argiles gonflantes (Heusch, 1986), des roches favorisant le glissement des couvertures pédologiques, ou des sols superficiels, très pauvres, rocaillieux ou très acides dont les rendements des cultures ne peuvent être intéressants qu'après l'apport d'engrais hors de portée des paysans pauvres (Roose et Ndayizigiye, 1997 ; Critchley *et al.*, 2001). Par ailleurs, les économistes font remarquer que la construction des terrasses exige énormément de travail. De même leur entretien (30 à 60 j/ans) est indispensable de telle sorte que ces aménagements ne sont pas toujours rentables et qu'ils laissent peu de temps au fermier pour soigner ses cultures. Cependant, certaines terrasses ont été créées à une époque (XVI siècle) où se réfugier en montagne était le seul moyen de survivre à l'invasion des cavaliers musulmans ou des négriers (ex. Dogons au Mali, Mafa au Cameroun, Maku, Enugu au Nigeria et Kabié au Togo).

Malheureusement, on dispose de très peu de données incontestables sur l'efficacité des systèmes intensifs créés sur terrasses. Les rares expérimentations connues ont été évaluées sur de petites parcelles (100 m²), beaucoup trop étroites pour intégrer les risques de ravinement ou glissements de terrain (Roose, Nyamulinda, Ndayizigiye, Byiringiro, 1988).

Dans cette synthèse, nous tenterons de présenter une typologie des terrasses en fonction des formes et des objectifs poursuivis, d'analyser les rares résultats disponibles en Afrique sur l'efficacité des terrasses pour intensifier la culture et protéger les sols des versants tout en réduisant les pertes en eaux de ruissellement et les risques d'inondation. Nous tenterons enfin de donner quelques pistes pour améliorer la valorisation de ces terres aménagées.

1. TYPOLOGIE

Il existe en Afrique trois types principaux de terrasses et de nombreuses variantes.

1.1. Les terrasses en gradins

La zone cultivée est quasi horizontale, parfois même en légère contrepente de façon à éviter le débordement du ruissellement sur les talus, ce qui entraînerait la destruction de l'aménagement. Le premier objectif de ces gradins est d'infiltrer en plus des pluies, toute l'eau disponible : soit les eaux de ruissellement captées sur les talus et les espaces inter gradins (terrasses discontinues non irriguées sur les versants), soit les eaux de source (T. sur versants) ou du torrent (T. de vallée) amenées sur ces terrains par des petits canaux (séguia). Le long des oueds, des haies d'arbres ou des murs protègent les basses terrasses de l'inondation durant les crues (Hamza, 1996 ; Sabir, 2002). Un système de répartition (planches et drains, cuvettes, micro-bassins) permet de distribuer les eaux sur la terrasse en fonction des besoins des cultures et de la disponibilité en eau (tour d'arrosage). Le second objectif est d'augmenter le volume de terre disponible pour les cultures, en particulier sur les sols caillouteux des versants raides. Enfin, en réduisant le gradient de la pente on espère protéger les sols contre l'érosion : on supprime l'énergie du ruissellement et donc la majorité des transports solides. En réalité, le terrassement n'arrête pas la dégradation de la surface du sol par la battance des pluies (encroûtement de la surface) et, en augmentant l'infiltration, il augmente parallèlement les risques de glissement de terrain : d'où la nécessité d'associer les arbres (racines profondément ancrées dans les fissures des roches) aux autres cultures irriguées intensives (ex. Asni, Haut Atlas, Maroc).

Variantes

- On distingue d'abord les terrasses de versant irriguées par capture du ruissellement ou d'une résurgence, des terrasses de vallées irriguées par inondation lors des crues des oueds (Sabir, 2002 ; Roose et Sabir, 2002).
- Les talus peuvent être creusés dans la masse de la couverture pédologique (ex. dans les loess en Chine, ou les argilites, marnes ou schistes au Maroc ou dans les sols ferrallitiques profonds de Madagascar). Au Rwanda, les talus sont creusés dans les sols ferrallitiques et complétés en hauteur par des mottes d'herbes jusqu'à atteindre 1 à 2 m de dénivelée. Pour ne pas perdre trop de surface cultivable (30-50%), on recherche le fruit (distance horizontale entre la base et le sommet du talus) minimum pour atteindre une bonne stabilité du talus, tout en permettant la production fourragère.
- Les talus peuvent être protégés par une murette en pierres rectangulaires soigneusement choisies et stabilisées par des petits cailloux : elles s'appuient sur un replat creusé dans les altérites ou dans la roche. Le contact entre le sol et le mur est assuré par un remplissage de graviers drainants. Le fruit du mur étant au minimum de 10 à 20%, on perd automatiquement autant de surface cultivable. Selon la pente du terrain et l'origine des pierres, cet aménagement nécessite 700 à 1.500 hommes.jours/ha.
- Sur les zones relativement stables (ni trop pentues, ni trop humides), on se contente souvent de creuser la surface du sol en amont de la terrasse et de tasser la terre sur le talus aval, quitte à le recouvrir ensuite des cailloux extraits lors du planage et des labours, ou d'herbes et de broussailles diverses (fruit 50%). En cas de dégradation du talus, on le renforce localement avec des pierres (Atlas au Maroc : Sabir, 2002).
- La largeur des terrasses varie de 20 à 2 m lorsque la pente augmente de 6 à 50% pour des talus de 1 m de hauteur et 10% de fruit.
- Sur certaines hautes terres du Nord du Rwanda (Ruhengeri) ou de Tanzanie (Monts Uluguru) (Thomas, 1988), la pente est telle (60 à 90%) que les paysans ont créé un système de **petites terrasses en escalier** (« inyanamo »), où le talus et la terrasse cultivée ne dépassent pas 100 cm. Le réseau de racines des graminées (*Cynodon dactylon*, *Digitaria* sp.) retient le talus, tandis qu'une double ligne de cultures (maïs + haricots ou pois) occupe la terrasse étroite pendant neuf mois. A la campagne suivante, chaque terrassette descend d'une marche lors des travaux culturaux : il en résulte un lent mouvement de masse par érosion aratoire (Nyamulinda *et al*, 1992). En absence d'arbre, il arrive que lors d'une semaine très pluvieuse, l'ensemble des terrassettes soient emportées par un mouvement de masse (mai 1992).
- En Afrique, rares sont les **terrasses aménagées en rizières** comme en Asie. Il existe cependant sur les hautes terres de Madagascar, des aménagements en rizières des bas fonds dont les extensions remontent quelques dizaines de mètres sur les versants.

1.2. Les terrasses progressives

Pour réduire les travaux de terrassement et étaler sur une dizaine d'années l'évolution de la couverture pédologique, la communauté rurale qui valorise un versant plante, selon les courbes de niveau, des obstacles perméables (cordons de pierres, lignes d'herbes ou haies d'arbustes et déchets de labour + sarclage) qui ralentissent les eaux de ruissellement. Avec les sédiments qui s'accumulent devant ces micro-barrages perméables et les terres poussées par les techniques culturales (20 à 60 t/ha/an en fonction des outils, de la fréquence du travail du sol et de la forme de la pente), se construisent des talus qui peuvent atteindre 1 m de haut en 4 à 10 ans (Roose et Bertrand, 1971 ; Ndayizigiye, 1993 ; König, 1992). Les pertes en ruissellement et érosion diminuent progressivement tant que la pente n'a pas été annulée ou la surface du sol aménagée (billonnage cloisonné ou paillage) : la partie aval s'enrichit en sol humifère, stock d'eau et de nutriments, tandis que la partie amont s'appauvrit de ses horizons humifères. Il faut donc valoriser ces deux zones par des cultures d'exigence différente (par ex. au Rwanda, maïs + haricots à l'aval et manioc ou ananas à l'amont), ou procéder à la restauration de l'horizon B qui apparaît à l'amont. Ceci demande des investissements en fumures organique et minérale, le relèvement du pH au-dessus de 5 pour éviter la toxicité aluminique (chaulage, cendres, compost ou paillage), le décompactage mécanique et biologique (cultures fourragères à enracinement profond abondant) (Roose, 1994).

Variantes

- **Haies vives d'arbustes légumineuses** (*Calliandra calothyrsus*, *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Cassia siamea*, *Alnus nepalensis*, *Flemingia congesta*) (Ndayizigiye, 1992-93 ; Kiepe & Young, 1992 ; König, 1993, 2006). En 4 à 5 ans, l'érosion est réduite de 150 à <3 t/ha/an et le ruissellement de >10 à <2% lors des grosses averses. Les arbustes plantés en double ligne en quinconce à 50 cm sur une terrasses ont produit du fourrage de bonne qualité en saison sèche et du paillage en saison des pluies (3 à 4 tailles/an), du petit bois de chauffe et une remonté de nutriments de l'ordre de 100 kg/an d'azote, 5 à 10 kg de phosphore (sols carencés), 20 à 40 kg de Mg, Ca et K et >10 t de biomasse totale/ha/an (Roose et Ndayizigiye, 1997). La hauteur du talus (environ 1m) dépend de la pente initiale et de l'érosion aratoire (10 à 20 cm par an de descente de la surface du sol à l'aval du talus), car l'érosion hydrique tend vers zéro.

- **Bandes d'arrêt enherbées** (*Pennisetum purpureum*, *Panicum maximum*, *Setaria splendida*, *Vetiveria zizanioides*, *Tripsacum laxum*, *Andropogon* sp., *Cymbopogon citratus*, etc.). Largues de 0.5 à 3 m les bandes enherbées couvrent la surface du sol et stabilisent les talus qui se forment par érosion en nappe et surtout érosion aratoire. Leur réseau racinaire profond stabilisent les talus mais moins bien que les arbres car l'exploitation du fourrage herbacé entraîne l'appauvrissement du sol en nutriments en 4 ans et la formation de touffes dispersées, moins efficaces. D'après Bizimana et Duchaufour (1995), l'association de graminées permettrait à la haie vive plantée de légumineuses arbustives de devenir efficace dès le sixième mois au lieu de deux ans. D'après König (2006), sur les sols pauvres du Rwanda, leur association précoce d'herbes avec les arbustes pénaliserait la croissance des arbustes (concurrence trop forte). Le Vetiver, tant recommandé par la Banque Mondiale (Vietmeyer, 1993) semble avoir de nombreuses qualités offertes par d'autres graminées locales, mais il risque d'être détruit pour exploiter l'huile de Vetiver contenue dans ses racines, vendue comme insecticide, répulsif et comme parfum. Les paysans craignent souvent que ces herbes vigoureuses envahissent leurs cultures ou protègent insectes et rongeurs. Le Vetiver, stérile et répulsif par son huile, n'aurait pas ces inconvénients ; il produit un paillage durable, mais un fourrage de mauvaise qualité.

- **Les levées de terre** ne sont pas perméables, mais peuvent aboutir progressivement à la formation de terrasses si les terres sont rejetées d'un fossé vers l'amont plutôt que vers l'aval, (ex. Fanya juu, technique traditionnelle bien connue au Kenya et Ethiopie) et si elles orientent la culture en courbes de niveau et l'érosion aratoire (Hudson, 1988 ; Thomas, 1988).

1.3. Les fossés et banquettes

Au bas des parcelles cultivées sont creusés des fossés étroits ou des banquettes plus larges pour récupérer les eaux de ruissellement en nappe et les infiltrer (en zones semi-arides), ou pour les conduire vers des exutoires aménagés (canaux de contour, banquette algérienne, fossé aveugle d'absorption totale ou fossé de diversion) : l'objectif est de réduire le ravinement (pas l'érosion en nappe). Dans le cas où la terre du fossé est cumulée vers l'aval (bourrelet en pente forte) pour augmenter le volume d'eau stocké, le gradient de pente vers l'amont ne diminue pas avec le temps: il ne se forme jamais de terrasse progressive. Au contraire, le talus amont augmente la pente du bas du champ et accélère le transit du ruissellement, créant souvent des rigoles et une érosion accélérée remontante: il s'en suit une sédimentation dans le canal lequel doit être entretenu très régulièrement pour garder sa capacité à « absorber » le ruissellement durant les plus fortes averses (Roose, 1986, 1994). De même le bourrelet aval augmente localement la pente du sommet du champ aval et doit être renforcé par une végétation couvrante (contre la battance des pluies) et enracinée profondément (arbres réduisant les risques de glissement de terrain). Environ un million d'hectares de versants cultivés ont été aménagés en banquettes dans le Maghreb en 50 ans. Les enquêtes réalisées par diverses équipes de recherche ont montré que leur efficacité pour réduire l'érosion est plus que discutable. Après 20 à 40 ans, 17 à 20% des banquettes ont été effacées par le labour ou par des glissements de terrain, 40 à 60% n'ont jamais été entretenues et ne sont plus fonctionnelles. Enfin il n'est pas certain que les terrasses en bon état (20 à 40% selon les zones) aient jamais eu de problème d'érosion (Breuleux, 1976; Heusch, 1986; Roose *et al*, 1993; Hamoudi *et al*, 1989 et 2006).

Certains de ces fossés permettent de planter une ligne d'arbres sur des pentes très fortes en montagnes semi-arides (ex. Cap Vert) : ils captent temporairement le ruissellement et la terre érodée qui aident au démarrage de ces plantations, mais leur action n'est que temporaire (Smolikowski, Roose, Brochet, 1994).

2. EFFICACITÉ DE LA PROTECTION CONTRE L'ÉROSION, LE RUISSELLEMENT ET LES INONDATIONS

- Critchley *et al.*, ont rassemblé en 1992 l'ensemble des données d'érosion sur diverses terrasses en gradin ou progressives en Afrique : nous y avons rajouté de nouveaux résultats au Cameroun, Rwanda et Burundi. (Tableau 1).

D'après ces données, toutes les terrasses réduisent considérablement les pertes de terre à l'échelle de la parcelle ou du petit bassin versant, pour des pentes de 5 à 60%. Ceci n'empêche pas l'existence d'érosion sur la moitié amont des terrasses progressives, et des dépôts de terre humifère devant les talus, par érosion aratoire et hydrique : d'où un gradient de fertilité important. Bien que sur les terrasses progressives le ruissellement et l'érosion ne s'annulent jamais, on observe que l'efficacité des haies vives (combinées avec le paillage des produits de la taille des arbustes légumineuses) est supérieure à celle des terrasses construites mécaniquement. Or ce sont aussi les moins gourmandes en main d'œuvre et les mieux placées pour réduire la perte de fertilité du sol (production de biomasse).

Auteurs, date Lieu	Pente%	Type d'aménagement	Echelle	Erosion (t/ha/an)	Ruissellement%
Grunder, 1990 Ethiopie	7-15	* Fanya juu en gradin * Témoin traditionnel	Parcelles 6 x 30 m	94 (252)	- -
Lal, 1982 Nigéria	5	* Channel terrasses * Contrôle	Bassin 4 ha "	0.3 3.3	- -
Millington, 1984 Sierra Leone	17	* Gradins * Contrôle	Parcelles "	7.5 (48)	- -
Okoba <i>et al.</i> , 1998 Mbeere, Kenya	6	* Contour Fanya juu * Contrôle	Parcelles 6 x 45 m	6 (2 à 3)	- -
Nyamulinda <i>et al.</i> , 1992 Ruhengeri, Rwanda	55 55	* Terrassettes * Contrôle	Parcelles "	12 (>72)	2 12
Bizimana et Duchaufour, 1992 Burundi	20-40 " " "	* Terrasses en gradin * Talus + <i>Tripsacum</i> * Banquettes * Témoin cultivé	Parcelles 4 ans 20 x 5 m " "	1 à 5 7 à 30 60 à 120 70 à 150	- - - -
Ndayiziguiye, 1991 Rubona, Rwanda	23	* Terrasses/herbes * Fossés cloisonnés/H * Lignes herbes * Témoin cultivé	Parcelles 4 ans 20 x 10 m " "	0 0 8 95	0 0 3.6 12.5
Ndayizigiye, 1993 Rubona, Rwanda	23	* Terr. Prog. Haies * Témoin cultures * Témoin nu	Parcelles 4 ans 22 x 4.5 m "	1 à 21 20 à 250 250 à 450	<2 2 à 8 4 à 12
Nyamulinda, 1991 Ruhengeri, Rwanda (Rutoyi)	60	* Terrassettes * L. herbes+ arbres * Lignes d'herbes * Témoin, p. de terre	Parcelles 1 an 20 x 5 m " "	23 95 93 190	2.8 2.8 3.1 10
König, 1992, 2006 Butare, Rwanda	28	* Grevillea+ Haies * " * Alley cropping * Témoin manioc * Témoin nu	Parcelles 4 ans " 20 ans " 4 ans " 4 ans " 4 ans	1 à 3 1 à 2 0.6 120 300	<3 2 1 8 15
Hiol Hiol et Mietton, 2000 Mt Mandara, Bassin Mouda N. Cameroun	34	T. gradin+mur * culture, mil * jachère > 15 ans * nu, encroûté	Parcelles 5 ans " 20 ans Parcelles	2 à 5 0.3 -	2 à 7 0.3 14 à 54

Tableau 1. Erosion mesurée en Afrique sur les parcelles ou au déversoir de petits bassins aménagés en terrasses.

Chritchley présente aussi l'exemple des terrasses construites depuis 1949 du SW des hautes terres de l'Ouganda comme l'un des plus controversés. Pour les uns, c'est un désastre exemplaire pour l'environnement que l'écroulement des talus réalisés par les fermiers confrontés au gradient de fertilité de leurs champs. Pour les autres, c'est la preuve d'une adaptation par les communautés rurales de cette technique importée à une zone où la fertilité du sol est concentrée dans l'horizon superficiel. Mais il n'existe aucune mesure du bilan sédimentaire à part une enquête sur photo aérienne montrant que sur les versants aménagés on trouve, 40 ans plus tard, une plus grande partie de la surface abandonnée à la jachère, ce qui pourrait être une indication globale d'un appauvrissement plus rapide des sols aménagés en terrasse que les autres.

- **Ndayizigie (1991) sur les collines du Sud (pente 23%) et Nyamulinda sur les fortes pentes (60%) du Nord du Rwanda** ont prouvé l'efficacité antiérosive des terrasses et des fossés cloisonnés (E et $R = 0$), et dans une moindre mesure des terrassettes, mais soulignent l'importance des travaux d'aménagement et d'entretien, beaucoup moins importants pour les terrasses progressives avec des haies vives d'herbes et surtout d'arbustes.

- **Ndayizigiye, Nyamulinda et König au Rwanda**, ont bien démontré que malgré l'efficacité de la technique des terrasses progressives combinée aux haies d'arbustes légumineuses et au paillage pour réduire l'érosion (< 3 t/ha/an) et le ruissellement ($KR = < 2\%$), on n'a pas observé d'augmentation des rendements des cultures, ni de la fertilité des sols pauvres protégés. La terrasse progressive permet par contre d'investir dans la fumure pour intensifier la production : le fumier ne risque plus d'être emporté aux premières averses. Il faut donc en plus de l'aménagement en terrasse, développer des systèmes de production rentables, apporter un complément de nutriments, en particulier l'azote (qui peut-être apporté par une jachère de légumineuses) et surtout le phosphore (très peu disponible dans la plupart des sols des montagnes africaines). Sherchan (1997) au Népal arrive aux mêmes conclusions.

- **Bizimana et Duchaufour (1992-95) au Burundi** ont comparé en parcelles d'érosion durant dix ans sur les sols ferrallitiques argileux ou sableux des zones les plus abruptes du pays, l'efficacité des haies vives mixtes (*Calliandra/Tripsacum*), des terrasses en gradins, des talus et des terrasses progressives sur l'érosion et la production des cultures. Voir tableau 1.

Ils concluent :

- la réduction de l'érosion est très nette (plus de 50% à 90%) : la réduction du ruissellement est un peu moins forte ;
- il se forme un talus de 70 cm en 4 années et une terrasse progressive qui diminue la pente de 30 à 20% ;
- l'étalement des produits de la taille des haies sur le sol nu, juste après le semis, réduit le ruissellement et l'érosion pendant un mois, même pendant les averses les plus agressives ;
- 1.000 m de haie ne demandent que 45 à 60 hommes.jours/ha de travail ;
- sur les sols riches, la haie commence à être efficace au bout de 6 mois, mais plus les sols sont pauvres et moins vite la haie est efficace ;
- malgré l'apport de mulch, on n'a pu mettre en évidence d'augmentation de la fertilité du sol en amont de la haie, mais on observe souvent une décroissance en aval là où l'épaisseur du sol diminue. Confirmation au Rwanda par Ndayizigiye (1993) ;
- la concurrence (ombre, nutriments, eau) entre les haies et les cultures dépend du mode de gestion des haies (taille des branches et des racines), par contre, l'espace occupé par les haies équidistantes de 10 m représente le max. pour recouvrir le sol des émondes, mais une perte de 12% de surface agricole utile (= jachère permanente). Plus la pente du terrain est forte et plus les terrasses doivent être proches et plus le % de terre cultivée est réduit.

Couvert végétal	Aménagement	Erosion (t/ha/an)	Ruissellement Kram%
Sol nu	Cultivé selon la pente	300 à (700)	10 à 40
Manioc, patates, Maïs/haricots, ou Pois/sorgho associés	Labour tradition à la houe	50 à 150 (300)*	10 à 37
idem +	Sans aménagement	1 à 3	1 à 5
idem +	Terrasse en gradin	6 à 8	-
idem +	Billonnage isohypse+ mulch	7 à 30	-
idem +	Bill. isohypse + haie <i>Tripsacum</i>	60 à 120	-
idem +	2 à 4 talus enherbés	80	-
idem +	2 fossés d'infiltration		
Agroforesterie C + 200 arbres /ha C+A+haies : an 1 " " an 4 C+ haies <i>Leucaena</i> ou <i>Calliandra</i> ou Cal+ <i>Setaria</i> + Billons couverts tous les 5 m Idem	Litière 50 kg/arbre/an - Biomasse 3 à 8 kg/m/an	30 à 50(111) 7 à 16 1 à 3 1 à 2 1 à 4	5 à 7 an 1 : 10 à 15 an 4 : 1 à 3 an 20 : <2 an 4 : 0.1 à 2
Bananeraie Idem	Peu dense, paillis exportés Dense, paillis étalé (10 t/ha)	20 à 601 à 5	5 à 100.1 à 2
Caféier ou manioc	Paillis épais (20 t/ha)	0 à 1	0.1 à 10
Forêt de pins, prairie, vieille jachère	Litière 5 à 15 t/ha	0 à 1	1 à 10

*() sont des valeurs exceptionnelles...

Tableau 2. Erosion et ruissellement sur parcelles de 100 m² sur des sols ferrallitiques à forte pente (25 à 60%) au Rwanda (König, de 1985 à 2005; Ndayizigiye, 1989-1993), au Burundi (Rishirumuhirwa, 1992; Duchaufour et Bizimana, 1995)

Effets du couvert végétal, des techniques culturales et des structures antiérosives.

Tous ces auteurs ont constaté que pour des pluies de 800 mm (dans les savanes de l'Est) à 2.000 mm/an (Crête Zaïre –Nil), l'agressivité des pluies est élevée (R USLE varie de 250 à 900) et les risques de ruissellement (KRmax > 40% pour les averses majeures) et les pertes en terre sur sol nu sont énormes (plus de 400 t/ha/an en moyenne sur 20 ans sur des pentes de > de 25%). Au-delà 30% de pente, les pertes en terre n'augmentent plus beaucoup car les sols sont plus argileux et caillouteux, donc plus résistants. Sous cultures traditionnelles, les pertes sont encore très fortes (E= 20 à 150 t/ha/an).

Les meilleures méthodes pour réduire l'érosion en-dessous du seuil de tolérance (12 t/ha/an) sont biologiques: le paillage avec les résidus de culture du bananier, sorgho, ou les produits de la taille des haies vives. Les légumineuses (*Desmodium*) sont aussi très efficaces sous cultures pérennes (banane, café, thé, etc.) Les plantations de *Pinus kessia*, *Eucalyptus grandis* ou *camaldulensis* et autres espèces forestières qui permettent la protection du sol par le sous-bois ou une litière, réduisent le ruissellement et l'érosion au bout de 2 à 5 ans.

Les terrasses en gradins sont aussi très efficaces (voir N. Cameroun et N. Rwanda) mais ce système traditionnel exige beaucoup de travail et la restauration de la fertilité du sol remué par un apport annuel de 5 t/ha de fumier de ferme + 1 t/ha de chaux et 300 kg/ha de N₁₇+P₁₇+K₁₇, si on veut intensifier la production pour rentabiliser l'aménagement.

Les terrasses progressives formées par le travail du sol en amont d'une haie vive d'arbustes (*Leucaena*, *Calliandra*, *Alnus nepalensis*, *Cassia*, etc.) associés ou non à des herbes rampantes ou à l'accumulation des déchets de sarclage, semblent aussi efficaces au bout de 5 à 10 ans, mais exigent moins de travail et une répartition sur plusieurs années. Elles sont plus souples pour l'utilisation de la biomasse et la fertilisation complémentaire indispensable à l'intensification de la production (Roose, 1994). Cependant ces terrasses arrivent rarement à une horizontalité suffisante pour l'irrigation par gravité.

- **Ngenzi & Mietton (1995)** ont décrit tout au long de nombreux transects de 5 km dans cinq sites du Rwanda l'occupation des sols, les techniques culturales et les pratiques antiérosives rencontrées en fonction de la pente (% et position topographique).

Ils ont observé que :

- les techniques antiérosives sont mieux adaptées aux pentes dans les zones d'occupation ancienne (plateau central et Nord-Ouest) plutôt que dans les terres récemment colonisées (Est du Rwanda et Crête Zaire –Nil) ;
- les stratégies de gestion foncière (occupation, techniques culturales et terrassements antiérosifs) sont adaptées aux contraintes liées aux risques érosifs, à la topographie (P varie de <10 à >60%) et à la pression démographique (280 à 800 habitants/km²) ;
- le billonnage prédomine sur les vallées et les pentes douces (<15%) et les zones très humides, le labour à plat sur les sommets, tandis que le buttage, lié aux cultures à tubercules, s'étend jusqu'à des versants de plus de 20% ;
- sur les pentes faibles (<6%) les planches et le billonnage permettent à la fois le drainage et l'accumulation du sol nécessaire aux tubercules ;
- les terrasses progressives, liées à l'évolution des fossés aveugles, des talus enherbés ou des haies vives d'arbustes, sont très présentes sur les pentes de 6 à plus de 30% (jusqu'à 55%) : très répandues, elles protègent bien contre l'érosion hydrique, mais pas contre les mouvements de masse sur des pentes >50%, sauf en présence d'arbres. Sur les versants très pentus mais irrigables sont plantés de vergers, avec sous étage de cultures vivrières ;
- les rares terrasses « radicales » en gradins sur talus enherbés se retrouvent sur des pentes moyennes (15 à 30%) et les terrassettes en escalier sur les pentes les plus fortes (30 à >60%) ;
- les plus fortes pentes et les sols peu épais sont généralement occupés par des forêts (rares) ou par des prairies plus ou moins dégradées.

« Au fil du temps, les paysans ont élaboré des stratégies de gestion des sols permettant de cultiver des versants très pentus ».

- **Kiepe & Young au Kenya (1992)** ont observé l'évolution des talus de divers aménagements mécaniques (en gradins, fanya juu) et biologiques (arbres sur bandes enherbées et haie vive d'arbustes) et la pente des terrasses cultivées après 6 ans. Les pentes varient de 9,5 à 14,6% à l'origine et 3,6 à 6,8% (soit une diminution de 62 à 48%) après 6 ans. La fraction cultivable après talutage varie de 0,67 pour le système de fanya juu à 0,84 pour les haies et les bandes enherbées. Il ressort de ces essais que le système des cultures entre des haies vives a été très efficace pour réduire l'érosion et pourrait avantageusement remplacer les systèmes coûteux en travail des terrasses mécaniques pour contrôler le ruissellement et l'érosion, avec un bénéfice supplémentaire de maintenir la fertilité des sols et leur production sur les sols rouges lessivés (Rhodustalf) sur gneiss de la station ICRAF de Machakos.

- **Tjernström R., au Kenya (1992)** a comparé les rendements en maïs et haricots sur les terres de Machakos. Les terres terrassées ont produit 47 à 89% de maïs en plus et -25 à +56% de haricots en plus : le bénéfice moyen atteint 55%. Le fort coefficient de variabilité serait dû à l'effet du sarclage et des pluies tardives.

- **Michael Y., en Ethiopie (1992)** a comparé le rendement en orge sur des champs non aménagés et des terrasses progressives (fanya juu depuis 1983). Ce système a soustrait 15% de la surface cultivable, mais les rendements ont augmenté de 32 à 60% (+55% de moyenne) et réduit les forts coefficients de variation de 73 à 64%. Cependant, certains paysans continuent à refuser cet aménagement à cause des risques de débordement du canal et donc de ravinement et des difficultés à labourer aux bœufs sur ces fortes pentes à cause de l'étroitesse des terrasses.

- **Hiol Hiol et Mietton (2000)** ont comparé dans les monts Mandara du Nord Cameroun le ruissellement sur quatre parcelles de 100 m² sur un versant totalement aménagé en terrasses avec murettes en pierres et un bassin versant de 3,5 km² de Djingliya, près de Mokolo.

Le ruissellement annuel sur parcelles est très faible sur ces pentes de 30% : 0,3% sous jachère protégée depuis 15 ans, 2 à 6% sous diverses cultures de mil. Le coefficient de ruissellement maximal pour les fortes averses ne dépasse pas 20 à 37% sous cultures.

A l'échelle du petit bassin, il faut distinguer deux périodes : la première tant que le sol n'est pas saturé, le ruissellement est du même ordre que sur parcelles. Mais lorsque le sol est réhumecté, les coefficients d'écoulement atteignent 24 à 87% soit 45% pour l'année. Les terrasses provoqueraient une recharge de la nappe de 15 à 25% des pluies, un drainage dans les fissures de la roche qui pourrait atteindre les piedmonts, milieu non terrassé, beaucoup plus fragile.

- **Bergaoui et Albergel en Tunisie semi-aride (2000)** ont étudié sur un bassin montagneux de 780 ha l'effet d'un aménagement complexe comportant la mise en défens des parcours, des cordons de pierres isohypses formant terrasses progressives (60% de la surface) et l'empierrement des ravines. En comparant 71 crues à une pointe, avant et après l'aménagement, ils ont montré le rallongement du temps de montée, l'étalement des crues (temps de base doublé), l'écèlement des débits de pointe (=1/3), donc des transports solides et la réduction de 50% du volume ruisselé.

- **Dridi, Bourges et al. (2000)** ont évalué l'effet des aménagements en banquettes et retenues collinaires sur les ressources en eaux à l'exutoire du bassin du Merguellil (1.200 km²) en zone semi-aride de Tunisie centrale. A l'aide d'un petit simulateur de pluies, ils ont défini diverses situations de sol, de techniques culturales, d'occupation des sols et d'état de surface. Ils ont conclu que les banquettes retiennent un volume de 85 mm, suffisant pour retenir le ruissellement de toutes les pluies en année normale. Les banquettes ont réduit les écoulements de 17% et les retenues collinaires de 13%.

- **Nasri, Lamachère, Albergel (2004), ainsi que Baccari, Nasri, Boussema (2006)** ont analysé les causes de disfonctionnement du bassin de El Gouazine (18,1 km²) en Tunisie centrale (Pluies = 350 mm/an), aménagé sur 43% de sa surface en banquettes à rétention totale cultivées en céréales. Sur les 439 banquettes, 109 brèches ont été analysées : les causes principales sont la présence d'argiles gypseuses, le surdimensionnement des impluviums, la présence d'un réseau hydrographique surimprimé et l'inclinaison du canal amont vers une extrémité des banquettes.

3. DISCUSSION

Les terrasses ont une longue tradition dans le monde pour préserver les ressources en eau et en sols dans les régions de montagne, en particulier dans les zones à forte densité de population (Sherchan, 1998). Il en est de même en Afrique où depuis des siècles, les communautés montagnardes ont mis au point divers types de terrasses adaptées aux conditions locales. Leurs objectifs sont multiples : lutter contre l'aridité des sols caillouteux ou peu épais, accumuler puis conserver une épaisseur de sol suffisante, maintenir la productivité des sols, marquer leur territoire, bref développer une agriculture intensive et durable. Mais on voit aux tableaux ci-dessus que d'autres techniques biologiques (paillage des cultures, cultures arbustives avec plantes de couverture, forêts), de protection des sols sont aussi efficaces que les méthodes mécaniques développées. On peut donc se demander quelles sont les limites de cette approche.

3.1. Les limites des terrasses

- **La pente du sol** optimale pour les terrasses en gradin s'étend de 10 à 40% : au-delà la proportion de surface occupée par les talus dépasse 50% de la surface arable. De plus les risques de mouvements de masse augmentent rapidement car les sols sont moins épais et le drainage atteint plus vite la surface de glissement de la roche (altérite argilo-limoneuse). Lorsque la zone est soumise à de fréquents **tremblements de terre**, les risques de cisaillement au niveau des altérites réduisent encore d'avantage le gradient de pente acceptable.

- **Certaines roches augmentent les risques de mouvements de masse** : les marnes, argilites, schistes tendres et durs, si leur pendage est parallèle à la pente topographique, les gneiss et micaschistes, les lits de micas, de gypse ou d'argiles gonflantes, les cendres volcaniques posées sur granite ou autres roches dures. Les eaux de drainage s'accumulent à la surface des altérites peu perméables et repoussent la couverture pédologique. **Les fossés et terrasses creusées** dans cette couverture pédologique concentrent les eaux de surface dans une zone proche du plan de glissement et augmentent les risques de mouvement de masse.

- Le travail de construction et d'entretien des aménagements est très important :

- 700 à 1.500 hommes .jours/ha pour les terrasses en gradins avec murets en fonction de leur fréquence et donc de la pente du terrain, du transport et de la qualité des pierres, plus 8 hommes.jours pour réparer une brèche de mur éboulé de 2 m ;
- 50 à 80 h.j/ha. en 5 ans pour aménager un réseau de cordons de pierres extraites sur le champs qui va se transformer progressivement en terrasse ;
- 30 à 50 h.j/ha pour planter des bandes enherbées ou des haies vives d'arbustes légumineuses par semis direct espacées de 10 à 20 m selon la pente. La formation du talus se fera lors de la préparation du sol sans travail supplémentaire : seule la taille des racines (labour profond en limite des bandes d'arrêt) une fois l'an et des branches 3 à 4 fois l'an demande un travail supplémentaire, mais payant pour le paysan (fourrage, bois, paillage).

L'immobilisation des paysans pour l'entretien des aménagements antiérosifs réduit leur disponibilité pour mieux soigner les cultures, le sarclage et la fertilisation.

3.2. Améliorations et valorisation des terrasses

Les principaux reproches formulés par les paysans sont l'importance du travail de terrassement et d'entretien, la dégradation continue de la fertilité de la surface du sol par les cultures couvrant mal le sol, la faible augmentation ou même la dégradation du sol des horizons profonds remontés en surface, l'exigence d'apports organiques et minéraux pour lancer et entretenir l'intensification de la production, la perte de surface arable au niveau des talus empierrés (5 à 50% en fonction de la pente et du système de terrassement), la faible rentabilité des aménagements mécaniques. Plusieurs actions peuvent améliorer la valorisation des terres.

3.2.1. Pour réduire les frais d'aménagement, on préfère généralement des terrasses à pente réduite progressivement derrière des cordons de pierres + arbustes fourragers (zones semi-arides et pierrees) ou des haies d'arbustes légumineuses fournissant du fourrage et du paillage de qualité (riche en N, P, Ca). On peut aussi écarter de 20 m les haies et compléter l'aménagement par des billons couverts tous les 5 m, ou par de nouvelles haies lorsque le fermier aura intégré l'intérêt de cet aménagement. L'irrigation peut se mener d'un petit canal reliant les arbres situés au milieu de cuvettes, ou par goutte à goutte à partir d'un petit réservoir. Prévoir des moyens mécaniques pour construire les talus et entretenir les cultures.

3.2.2. Pour valoriser les frais d'aménagement et intensifier la production, il faut nourrir les plantes et maintenir un milieu physique et hydrique favorable. Le fumier et le compost (à améliorer) redressent le pH du sol et restituent une petite partie des résidus végétaux, mais dans les sols initialement pauvres, il faut ajouter un complément de nutriments minéraux capables de compenser les exportations par les récoltes et les pertes diverses. Les arbres fruitiers/ fourragers sont souvent utiles pour recycler les nutriments drainés au-delà de la rhizosphère et réduire les risques de mouvements de masse. Le paillage à l'aide des émondés des haies vives, la gestion raisonnée des adventices et l'introduction de plantes de couverture protègent la surface du sol de l'érosion et dégradation des matières organiques accélérées par le labour et l'ameublissement répétés.

3.2.3. L'irrigation bien connue des sociétés rurales de montagne mériterait probablement une meilleure adéquation aux besoins des plantes en réduisant le cycle des tours d'eau en relation avec les cultures (2 à 4 jours pour des céréales et maraichage, 5-10 jours pour les arbres et cultures fourragères) et la demande d'évaporation. De grosses économies pourraient être obtenues en tenant compte des pluies des 3 derniers jours, en ne dépassant pas la dose que le sol peut stocker (1 mm d'eau par cm de sol sableux, 4 mm d'eau par cm de sol à argile gonflante, moins le volume de pierres) et en remplaçant les canaux en terre par des tuyaux imperméables.

3.2.4. Développer des systèmes de production spécifiques aux conditions climatiques des montagnes, en relation avec la demande des villes, plutôt que des systèmes extensifs orientés vers

l'autarcie alimentaire. Pour cela il faut introduire les techniques nouvelles capables de garantir la qualité des produits (appellations contrôlées) et s'adapter au marché.

4. CONCLUSIONS

4.1. L'étude a montré qu'il existe depuis des siècles en Afrique une grande diversité de types de terrasses en fonction des conditions écologiques (disponibilité en eau et en pierres), démographiques (l'entretien exige beaucoup de main d'œuvre), économiques (gradins et fertilisation très chers, investissement foncier des émigrés) et foncier (maîtrise foncière). Les terrasses ont connu des développements par étape en fonction des invasions musulmanes (XVI siècle) et des négriers, des colonisateurs occidentaux (XX siècle) et des encouragements des ONG, émigrés en retraite et coopérants (XX siècle). Actuellement, beaucoup de ces « monuments de pierres ou de terre » sont abandonnés ou en voie de dégradation car leur entretien demande beaucoup de main d'œuvre, le travail des jeunes est mieux payé en ville si bien qu'on manque de bras au village.

4.2. Les effets sur le ruissellement et l'érosion. Les mesures sur le terrain démontrent clairement que, à l'échelle des petites parcelles de montagne sur des pentes de 20 à 60%, les divers types de terrasses en (gradins ou progressives) réduisent très nettement le ruissellement moyen (de 50 à 98%) et les pointes de crue, ainsi que les pertes en terre (de >200 à <2 t/ha/an sur 100 m²). Cependant, on manque cruellement de mesures indiscutables, publiées à l'échelle de petits bassins versants aménagés. Par contre, les enquêtes ont montré l'augmentation des rendements des cultures sur terrasses.

4.3. Quant aux feux de brousse si fréquents en Afrique, bien que nous ne disposions d'aucune expérimentation sur terrasse, on peut estimer qu'ils ont peu de chance de se développer dans ces milieux très intensément soignés et exploités où tous les résidus de culture sont valorisés (parcours du bétail) dès la fin des récoltes. Le feu n'y trouve donc pas de combustible et les terrasses peuvent jouer le rôle de barrière de feu. Les bandes enherbées pourraient favoriser le passage du feu si elles ne sont exploitées pour l'affouragement en saison sèche.

4.4. L'extension des terrasses en Afrique passe par la simplification des systèmes (terrasses progressives), l'intensification et la valorisation des produits spécifiques, l'amélioration des systèmes de production (arbres fruitiers + sous étage fourrager sélectionnés), la fertilisation et l'irrigation raisonnées, et la valorisation touristique des paysages et des produits.

5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Arabi, M.; Aslaa, T. (1998) Etats de dégradation des banquettes en Kabylie (Algérie). *Bull. Réseau Erosion* 18, pp. 364-379.

Baccari, N.; Nasri, S.; Boussema, M. (2006) Efficacité des banquettes sur l'érosion des terres et le remplissage et l'envasement d'un lac collinaire en zone semi-aride tunisienne. En Roose, E; De Noni; Sabir; Laouina (eds.) *Efficacité de la GCES en zone tropicales*, AUF-Paris, sous presse.

Bergaoui, M.; Albergel, J. (2000) Effets d'un aménagement antiérosif en pierres sèches sur la violence et la forme des crues de l'oued Zioud, Tunisie. *Bull. Réseau Erosion* 20, ORSTOM Montpellier, pp. 23-38.

Bizimana, M.; Duchaufour, H. (1995) Avantages et inconvénients de la haie mixte Calliandra /Setaria comme dispositif antiérosif en milieu rural burundais. *Bull. Réseau Erosion* 15, pp. 166-167.

Breuleux, F. (1976) *Inventaire des travaux de conservation des sols en Tunisie*. Rapport multigraphié SIDA-TUN 5-13, 24 p.

Chaker, M.; El Abassi, H.; Laouina, A. (1996) Montagnes, piedmonts et plaines: investir dans les techniques de CES au Maroc oriental. En Reij, C.; Scoones, I.; Toulmin, C. (eds.) *Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique*, CTA, CDCS, Karthala, pp. 75-86.

Critchley, W.; Reij, C.; Willcocks, T. (1994) Indigenous soil and water conservation: a review of the stage of knowledge and prospects for building on traditions. *Land Degradation & Rehabilitation* 5, pp. 293-314.

Critchley, W.; Bruijnzeel, L. (1995) Terrace risers: erosion control or sediment source? En Singh, R.; Haigh, M. (eds.) *Sustainable reconstruction of highland and headwater regions*, New Delhi, Oxford and IBH, pp. 529-541.

Critchley, W.; Sombatpanit, S.; Medina, S. (2001) Uncertain steps? Terraces in the tropics. En Bridges, M.; Hannam, I.; Oldeman, L.; Penning de Vries, F.; Cherr, S.; Sombatpanit, S. (eds.) *Response to land degradation*, Science Publishers, Inc. Enfield NH, USA, pp. 325-338.

Dridi, B.; Collinet, J.; Auzet, A.; Garreta, P. (2000) Impact des aménagements sur la ressource en eaux dans le Bassin du Merguellil (Tunisie centrale). *Bull. Réseau Erosion ORSTOM Montpellier* 20, pp. 192-203.

Duchaufour, H.; Bizimana, M. (1992) Restauration de la fertilité et conservation des eaux et des sols en régions montagneuses au Burundi. Réflexions après dix années de recherche. *Bull. Réseau Erosion* 12, pp. 161-174.

Hamoudi, A.; Monjengué, S.; Roose E. (1989) Enquête sur l'efficacité des aménagements de DRS en Algérie (NW.). *Bull. Réseau Erosion* 19, pp. 14-18.

Hamoudi, A.; Morsli, B.; Roose, E. (2006) Caractérisation et analyse des aménagements de DRS en zones N-E de l'Algérie. En Roose, De Noni, Albergel, Sabir et Laouina (eds.) *Efficacité des techniques de GCES en milieux semi-arides*, AUF, Actes du congrès ISCO 14, Marrakech, Maroc, du 14 au 18 mai 2006. sous presse.

Hamza, A. (1986) La maîtrise de l'eau: pratiques de CES dans le Haut Atlas marocain. En Reij, C.; Scoones, I.; Toulmin, C. (eds.) *Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique*, CTA, CDCS, Karthala, pp. 69-74.

Heusch, B. (1986) Cinquante ans de banquettes de DRS en Afrique du Nord: un bilan. *Cah. ORSTOM Pédol.* 22, pp. 153-162.

Hiol, F.; Mietton, M. (2000) Le ruissellement à l'échelle d'un petit bassin versant et de parcelles dans les Monts Mandara (N. Cameroun). *Bull. Réseau Erosion*, ORSTOM Montpellier, 20, pp. 89-102.

Hudson, N. (1988) Conservation practices and runoff water disposal on steep lands. En Moldenhauer, W.; Hudson, N. (eds.) *Conservation farming on steep lands*, SWCS., WASWC, Ankeny, IO, USA, pp. 129-139.

Hurni, H. (1986) *Guidelines for development agent on soil conservation in Ethiopia*. Community Forests & Soil Conservation Development Dept. Addis Ababa, Ethiopia, 100 p.

Hurni, H. (1988) Options for conservation on steep lands in subsistence agricultural systems. En Moldenhauer, W.; Hudson, N. (eds.) *Conservation farming on steep lands*, SWCS, WASWC, Ankeny, IO, USA, pp. 129-139.

Igbokwe, E. (1996) Un système de conservation de l'eau et des sols menacé (Maku, Nigéria). En Reij, C.; Scoones, I.; Toulmin, C. (eds.) *Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique*, CTA, CDCS, Karthala, pp. 307-317.

- Kassogu , A.; Komota, M.; Sagara, J.; Schutgens, F. (1996) Développement des techniques de CES en milieu Dogon (Mali). En Reij, C.; Scoones, I.; Toulmin, C. (eds.) *Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique*, CTA, CDCS, Karthala, pp. 103-117.
- Kiepe, P.; Young, A. (1992) Soil conservation through agroforestry: experience from four years of demonstration at Machakos, Kenya. En Hurni, H.; Tato, K. (eds.) *Erosion, conservation and small-scale farming*, Geographica Bernensia, Bernes, Suisse, pp. 303-311.
- König, D. (1992) L'agriculture écologique agroforestière : une stratégie intégrée de conservation des sols du Rwanda. *Bull. Réseau Erosion* 12, pp. 130-139.
- König, D. (2006) De l'agroforesterie traditionnelle à l'agriculture écologique moderne: stratégies pour la conservation de la fertilité des sols des Hautes Terres d'Afrique de l'Est. En Roose, E.; De Noni, G.; Albergel, J.; Sabir, M.; Laouina, A. (eds.) *Efficacité de la GCES en régions tropicales*. Actes de la session 9 du congrès ISCO 2006 Marrakech, 4p., sous presse.
- Kr ger, H.; Fantaw, B.; Michael, Y.; Kajela, K. (1996) Inventaire des mesures de conservation de l'eau et des sols en Ethiopie. En Reij, C.; Scoones, I.; Toulmin, C. (eds.) *Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique*, CTA, CDCS, Karthala, pp. 245-257.
- Lal, R. (1982) Effect of slope length and terracing on runoff and erosion on a tropical soil. En Walling, D. (ed.) *Recent development in the explanation and prediction erosion and sediment yield*, IAHS Publication 137, Wallingford, UK.
- Michael, Y. (1992) The effects of conservation on production in the Andit-Tid area, Ethiopia. En Tato, K.; Hurni, H. (eds.) *Soil conservation for survival*, SWCS, ISCO, WASWC, pp. 239-250.
- Millington, A. (1984) Indigenous soil conservation studies in Sierra Leone. En Walling, D.; Foster, S.; Wurzel, P. (eds.) *Challenges in African Hydrology and water resources*, IASH Publication 144, Wallingford, UK, pp. 529-538.
- Nasri, S.; Lamach re, J. M.; Albergel, J. (2004) Impact des banquettes sur le ruissellement d'un petit bassin versant de Tunisie. *Revue des Sciences de l'Eau* 17, 2, pp. 265-289.
- Ndayizigiye, F. (1991) L'aménagement de colline dans la zone d'altitude moyenne du Rwanda: station ISAR de Rubona, Rwanda. *Bull. Réseau Erosion* 11, pp. 173-184.
- Ndayizigiye, F. (1992) Valorisation des haies arbustives (Calliandra et Leucaena) dans la lutte contre l'érosion en zone de montagne (Rwanda). *Bull. Réseau Erosion* 12, pp. 120-129.
- Ndayizigiye, F. (1993) Effets des haies arbustives (Leucaena et Calliandra) sur l'érosion et les rendements des cultures en zone de montagne (Rwanda). *Bull. Réseau Erosion* 13, pp. 41-50.
- Ngenzi, E.; Mietton, M. (1995) Occupation du sol et pratiques culturelles en fonction de la pente : stratégies antiérosives paysannes au Rwanda. *Bull. Réseau Erosion* 15, pp. 31-58.
- Nyamulinda, V. (1991) Erosion sous cultures de versants et transports solides dans les bassins de drainage des hautes terres de Ruhengeri (Rwanda). *Bull. Réseau Erosion* 11, pp. 38-63.
- Nyamulinda, V.; Ngiruwonsanga, V. (1992) Lutte antiérosive et stratégies paysannes dans les montagnes du Rwanda. *Bull. Réseau Erosion* 12, pp. 71-82.
- Okoba, B.; Twomlow, S.; Mugo, C. (1998) Evaluation of indigenous SWC technologies for runoff and erosion control in semi-arid Mbeere District Kenya. En Briggs, S.; Ellis-Jones, J.; Twomlow, S. (eds.) *Modern methods from traditional SWC technologies*. Proc. of a land management Workshop, Kabale, Uganda: Silsoe Research Institute.
- Roose, E.; Bertrand, R. (1971) Contribution à l'étude des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest. *Agronomie Tropicale* 26, 11, pp. 1270-1283.

Roose, E. (1986) Terrasses de diversion ou micro-barrages perméables. Analyse de leur efficacité en milieu paysan ouest africain pour la conservation de l'eau et des sols dans la zone soudano-sahélienne. *Cah. ORSTOM Pédol.* 22, 2, pp. 197-208.

Roose, E. (1988) Soil & water conservation lessons from steep slopes farming in French-speaking countries of Africa. En Moldenhauer, W.; Hudson, N. (eds.) *Conservation farming on steep lands*, SWCS, WASWC, Ankeny, Io., USA, pp. 129-139.

Roose, E.; Nyamulinda, V.; Ndayizigiye, F.; Byiringiro, E. (1988) La gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (GCES) : une nouvelle stratégie antiérosive pour le Rwanda. *Bull. Agricole du Rwanda* 4, pp. 264-277.

Roose, E.; Ndayizigiye, F.; Sekayange, L.; Nsengimana, J. (1992) La GCES: une nouvelle stratégie pour l'intensification de la production et la restauration de l'environnement en montagne (Rwanda). *Bull. Réseau Erosion*, Orstom, Montpellier 12, pp. 140-160.

Roose, E. (1994) *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*. Bulletin Pédol. FAO, Rome, n°70, 420 p.

Roose, E.; Ndayizigiye, F. (1997) Agroforestry, water and soil fertility management to fight erosion in tropical mountains of Rwanda. *Soil Technology* 11, pp. 109-119.

Roose, E.; Sabir, M. (2002) Stratégies traditionnelles de GCES dans le bassin méditerranéen. En Roose, E.; Sabir, M.; De Noni, G. (eds.) *Techniques traditionnelles de GCES en milieu méditerranéen*. Bull. Réseau Erosion IRD, ENFI, Montpellier 21, pp. 33-44.

Roose, E.; Sabir, M.; De Noni, G. (2002) *Techniques traditionnelles de GCES en milieu méditerranéen*. Bull. Réseau Erosion IRD, ENFI, Montpellier 21, 524 p.

Sabir, M. (2002) Techniques traditionnelles de gestion de l'eau et de lutte antiérosive dans le bassin versant de Sidi Driss, Haut Atlas Central, Maroc. En Roose, E.; Sabir, M.; De Noni, G. (eds.) *Techniques traditionnelles de GCES en milieu méditerranéen*, ORSTOM ENFI Montpellier, Bull. Réseau Erosion 21, pp. 224-231.

Seignobos, Ch. (1998) A propos des pratiques antiérosives traditionnelles. L'élaboration des terrasses des monts Mandara et la récupération des terres hardé. *Bull. Réseau Erosion* 18, pp. 300-305.

Sherchan, D. (1998) Managing the fragile landscape for sustainable agriculture. Local practices related to soil conservation in the eastern hills of Nepal. En Bushan, L.; Abrol, I.; Rama Mohan M. RAO, (eds) *Soil and water conservation: challenges & opportunities* Proc ISCO 8, Indian Assoc. of SWC, Dhera Dun, India, pp. 944-952..

Smolikowski, B.; Roose, E.; Brochet, M. (1994) Une nouvelle approche de lutte antiérosive en Haïti : exemple d'un transect calcaire-basalte dans les collines du Sud d'Haïti. En Roose, E. (ed.) *Introduction à la GCES*. Bull Pédol., FAO, 70, pp. 327-352.

Thomas, D. (1988) Conservation on cropland on steep slopes in eastern Africa. En Moldenhauer, W.; Hudson, N. (eds.) *Conservation farming on steep lands*, SWCS, WASWC, Ankeny, IO, USA, pp. 140-149.

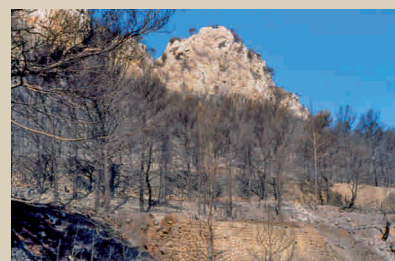
Tjernström, R. (1992) Yields from terraced and non terraced fields in the Machakos district of Kenya. En Tato, K.; Hurni, H. (eds.) *Soil conservation for survival*, SWCS, ISCO, WASWC, pp. 251-265.

Vietmeyer, N.; Ruskin, F. (1993). *Vetiver grass. A thin green line against erosion*, National Academy Press, Washington D.C., 171 p.



ACTES DE LES JORNADES SOBRE TERRASSES I PREVENCIÓ DE RISCOS NATURALS

ACTAS DE LAS JORNADAS SOBRE TERRAZAS
Y PREVENCIÓN DE RIESGOS NATURALES



Mallorca, 14, 15 i 16 de setembre, 2006



Consell de
Mallorca

Departament de
Medi Ambient

ÍNDIX · ÍNDICE

I. PRESENTACIÓ · PRESENTACIÓN	7
II. EL PROYECTO TERRISC: la prevenció dels riscos naturals mitjançant les terrasses de pedra en sec	9
III. PONÈNCIES · PONENCIAS	15
1. Predição probabilística de movimentos de vertente na escala regional J. L. Zêzere	17
2. Les inondations en Languedoc et en Roussillon : événements catastrophiques et contexte géomorphologique B. Lemartinel	31
3. Geografia dos incêndios florestais em Portugal continental L. Lourenço	39
IV. COMUNICACIONES · COMUNICACIONES	63
MOVIMENTS DE VESSANT I EROSIÓ A MARJADES MOVIMIENTOS DE VERTIENTE Y EROSIÓN EN TERRAZAS	63
1. Clasificación y caracterización geocológica de los bancales de la cuenca del Guiniguada (Gran Canaria, Islas Canarias, España) L. Romero; P. Ruiz; P. Máyer; E. Pérez-Chacón; L. Hernández	65
2. Tasas de erosión en bancales abandonados como consecuencia de la reciente gestión del territorio: el papel del ganado vacuno M. Oserín; J. Arnáez; L. Ortigosa	77
3. Definição de critérios de susceptibilidade geomorfológica a movimentos de vertente na Bacia Hidrográfica da Ribeira da Meia Légua A. Seixas; C. Bateria; C. Hermenegildo; L. Soares; S. Pereira	87
4. Evaluación de riesgos en el paisaje aterrazado de Liguria: resultados preliminares y modelo de estudio - Proyecto Alpter Interreg III B - G. Brancucci; G. Paliaga; F. Nervi	97
5. Les terrasses antiérosives en Afrique. Typologie, efficacité, limites et améliorations E. Roose	105
6. Dinámica superficial, terrazas y manifestaciones cataclísmicas en los Andes. Algunos comentarios a partir de la proyección de varios ejemplos P. Usselman	119
7. Valoración del impacto de la implantación de terrazas de cultivo en la costa granadina (SE España) V. H. Durán; C. R. Rodríguez; F. J. Martín; D. Franco	125
8. Medidas agroambientales para el control de la erosión y conservación de las terrazas de cultivo en el litoral granadino (SE España) C. R. Rodríguez; V. H. Durán; F. J. Martín; D. Franco	131
MARJADES, ESTRUCTURES DE DRENATGE I ESCOLAMENT TERRAZAS, ESTRUCTURAS DE DRENAJE Y ESCORRENTIA	139
9. Réflexion sur le rôle hydrologique des aménagements anciens des versants et des thalwegs: l'exemple des Cévennes C. Martin; J. F. Didon-Lescot; J. Jolivet	141

10. Análise comparativa do escoamento em terraços de áreas granitóides e metassedimentares	149
S. Pereira; C. Bateira; C. Hermenegildo; A. Seixas	
11. Riscos de cheias e de inundações após incêndios florestais. O exemplo das bacias hidrográficas das ribeiras do Piódão e de Pomares	159
L. Lourenço; N. Pereira	
12. Fragilitat de les marjades en cas de pluges intenses	173
J. Rosselló	
13. El sistema de parats del torrente de Capocorb Nou (Mallorca). Análisis y funcionalidad	181
G. Alomar Garau; B. Clar; M. Siquier	
14. Caracterització del marjament i conseqüències de l'abandonament de les estructures a la conca de sa Figuera (Mallorca)	191
A. Reynés; P. Alvaro; G. Alomar; J. Vadell. Cartografia G. Alomar Garau	
 INCENDIS FORESTALS	
INCENDIOS FORESTALES	
201	
15. O papel dos socalcos na prevenção de incêndios florestais. Exemplos das bacias hidrográficas dos rios Alva e Alvoco (Serras do Açor e da Estrela)	203
L. Lourenço; A. Nave	
16. Importância dos socalcos na mitigação do risco de erosão após incêndios florestais. Exemplos das bacias hidrográficas dos rios Alva e Alvoco (Serras do Açor e da Estrela)	213
L. Lourenço; J. Fialho	
17. Les paysages de terrasses à l'épreuve de l'incendie : comportement, durabilité et enjeux. Le cas de la région de Collioure / Banyuls-sur-Mer / Port-Vendres (Pyrénées-Orientales)	227
J.-F. Galtié; J.-M. Antoine; A. Peltier	
18. Valoración de terrazas frente a incendios forestales en la CAIB	239
J. Joy; A. Medrano	
19. Prevención y lucha contra los incendios forestales. El uso de ganado en los campos abandonados de la serra de Tramuntana	245
G. Alomar; G. Bardi	
 PATRIMONI DE MARJADES: ABANDONAMENT, CONSERVACIÓ, REHABILITACIÓ	
PATRIMONIO DE TERRAZAS: ABANDONO, CONSERVACIÓN, REHABILITACIÓN	
253	
20. Agricultura em terraços: os casos de Baião, Mesão Frio, Peso da Régua e Sta. Marta de Penaguião	255
C. Hermenegildo; H. Pina; S. Pereira; A. Seixas	
21. L'intérêt des cartes de l'état actuel de conservation des terrasses de culture en Cévennes	265
M. Castex; F. Allignol; D. Lécuyer	
22. Le Programme « Mille et Une Terrasses d'Ariège »	275
F. Regnault	
23. Pierre sèche : l'artisanat mobilisé pour la gestion des eaux et les risques naturels	281
C. Cornu	
24. Abandono de terrazas agrícolas: procesos de erosión y desorganización del paisaje	289
S. Asins-Velis	