

Conclusions générales

Par Eric ROOSE et Hervé DUCHAUFOR.

Thème 1. Restauration de la productivité des sols

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

1.1. La dégradation de la productivité des sols. (Roose, Hien *et al.*, Prat et De Noni)

Quelques années après le défrichement et la mise en culture des sols tropicaux (3 à 15 ans selon la texture et le type d'argile), on constate une baisse de la capacité du sol à produire les cultures. Les causes sont nombreuses (acidification et envahissement par les adventices, tassement et manque d'oxygène des racines, lessivage des nutriments, salinisation, carbonatation, empoisonnement par les métaux lourds) dont on ne retiendra ici que l'érosion sélective, l'exportation par les récoltes, l'acidification de l'horizon superficiel et surtout la minéralisation des matières organiques du sol (MOS) et la baisse d'activité de la faune du sol. Les causes étant complexes, on ne peut espérer restituer et encore moins améliorer le potentiel de productivité du sol « fatigué » en n'intervenant que sur l'une des causes (conservation des sols ou fertilisation minérale ou travail du sol par exemple).

1.2. Les techniques traditionnelles d'entretien de la fertilité des sols (IKPE, Diallo, Seignobos)

Traditionnellement, la jachère longue, ou l'abandon du sol dont les rendements ne suffisent plus, permet progressivement l'envahissement de la surface du sol par une succession de végétaux, qui accumulent en surface des litières améliorant l'infiltration et réduisant l'érosion, tirent des profondeurs des nutriments et les accumulent dans l'horizon superficiel. L'abondance des litières et des MOS permet une diminution des fuites de nutriments, une amélioration de la stabilité structurale du sol et du stockage de l'eau et des nutriments indispensables à la croissance des plantes et des activités de la faune et de la microflore du sol. Au bout de 4 à 40 ans selon le milieu, le sol recouvre la majorité des qualités d'un sol témoin en milieu naturel.

Mais les sociétés rurales qui ont connu une certaine pression foncière ont développé diverses techniques pour prolonger la durée de productivité des sols cultivés, en réduisant les pertes par ruissellement et érosion **par le terrassement des versants** (ex. les terrasses des Dogons du Mali ou des Mofu du Cameroun : Seignobos , Tchotsoua , Wakponou *et al.*), **par l'apport de fumier** (N.-Cameroun, Burkina Faso, voir Seignobos, Hien *et al.*), par **le maintien d'une couverture du sol par le paillage et par les résidus de culture** (Seignobos et Tchotsoua au N. Cameroun, Diallo au Sud-Mali, à Madagascar, voir équipe FOFIFA, Univ. Tana et ESSA), par le **développement de légumineuses** (IKPE au Nigéria, Morsli, Arabi et Roose en Algérie, Prat et De Noni en Amérique latine), **par le buttage et le billonnage** en courbe de niveau qui rassemblent la terre humifère peu disponible pour produire des racines et des cultures au-dessus du niveau des sillons où croissent des adventices (vu au Togo, Côte d'Ivoire, Casamance, Mali, Madagascar, etc.). On verra plus loin que le système si décrié du brûlis sur jachère permet en définitive de valoriser des sols pauvres mais **enrichis en charbon de bois**, très efficace dans les sols pour améliorer le stockage de l'eau et la capacité d'échange des sols sableux à kaolinite (Peltier *et al.*, Serpantié *et al.*). Cet effet des charbons de bois a été observé également au Laos (Valentin *et al.*). **Le travail profond du sol avec enfouissement** des adventices, des résidus de culture et éventuellement de fumier, a été longtemps préconisé malgré l'importante consommation d'énergie exigée. On verra plus loin qu'on en revient au profit du labour minimum.

Au lieu d'alterner des courtes périodes de culture suivie de longues périodes de repos/ jachère, les chercheurs ont aussi étudié des techniques traditionnelles de gestion du paysage à l'aide **de haies vives de légumineuses arbustives** qui non seulement réduisent le ruissellement et l'érosion à des valeurs acceptables, mais remontent dans leurs feuilles des minéraux lixiviés par les eaux de drainage profond (> 100 kg de N, 10 kg de P et 40 kg de bases/ha) et apportent des matières organiques riches

qui peuvent servir de fourrage en saison sèche et de paillis en saison culturale. La sélection d'espèces de légumineuses arbustives bien adaptées localement (*Leucaena leucocephala*, *Calliandra calothyrsus*, *Tephrosia vogellii*, *Cajanus cajan*) permet de fournir du bois de chauffe, du paillage et du fourrage en réduisant la surface cultivable de 10 à 20 % mais en sécurisant l'horizon humifère, l'alimentation hydrique (suppression du ruissellement) et une abondante biomasse de qualité (IKPE, Hien *et al.*, Edmond *et al.*, Prat et De Noni, Seignobos et Tchotsoua, Ndayizigiye *et al.* au Rwanda, Duchaufour *et al.* au Burundi). Voir § 4 Effets des arbres.

1.3. La restauration rapide des sols dégradés (Roose, Hien *et al.*, Arabi, Prat et De Noni)

L'étude de diverses techniques de restauration de la productivité des sols tropicaux, en particulier du zaï en Afrique de l'Ouest et des sols volcaniques indurés, a montré qu'il fallait respecter **six règles pour récupérer rapidement** (1 à 2 ans) la capacité d'un sol tropical à produire des céréales.

1. Introduire un système de gestion des eaux de surface pour alimenter les besoins des plantes sans engorger le sol : ex. cordons pierreux, terrasses drainantes, haies vives ou bandes enherbées, cuvettes limitant le piégeage du ruissellement selon les précipitations locales.

2. Recréer la macroporosité du sol et un drainage rapide : broyage des tepetate et des croûtes calcaires, labour profond favorisant un enracinement profond dans les sols dégradés, tassés.

3. Stabiliser la structure et revitaliser l'horizon superficiel par apport de matières organiques fermentées (fumier, compost) ou, à défaut, de résidus organiques riches en azote (légumineuses ou litières décomposées).

4. Corriger le pH du sol (entre 5 et 7) pour éviter les toxicités métalliques (aluminique), faciliter les activités microbiennes (fixateur de l'azote de l'air) et la libération de nutriments facilement assimilables par les plantes (surtout pour le phosphore).

5. Nourrir les plantes cultivées pour leur permettre de valoriser directement le potentiel du milieu (fonction du climat, du type de sol, des cultures) : le sol, les plantes et les MO naturelles sont généralement carencées et demandent un complément de nutriments minéraux pour atteindre leur potentiel.

6. Choisir des plantes à forte production de biomasse, adaptées aux conditions locales de pauvreté des sols et de dureté du climat, de préférence d'origine locale ou à potentiel génétique large, non invasives.

1.4. Création de sols issus de roches (Seignobos et Tchotsoua au N. Cameroun, coulée volcanique en Martinique, Roose et Khamsouk).

En plus des techniques décrites pour la restauration rapide des sols meubles, il faut introduire **des moyens pour fissurer la roche ou broyer l'horizon induré** pour accélérer la dégradation physico-chimique des roches et la libération des minéraux nutritifs, la néoformation de colloïdes argileux qui augmentent le stockage de l'eau et des nutriments. Au Mali, les Dogons apportent sur des dalles de grès des sables qu'ils fertilisent avec des composts, fumiers et résidus de culture (Roose). Au Nord-Cameroun sur les Monts Mandara, les Mofus sélectionnent les arbres sauvegardés, plantent des graines et des fougères dans les fissures des roches, après les avoir fait éclater par le feu. Ensuite, ils rassemblent des pierres pour construire progressivement un muret pour capter et stocker les eaux de pluie dans un néo-sol formé de sables des altérites du granite et des MO. Tout un ensemble de plantes rustiques (fougère, cynodon, sorgho, millet, souchet, arachide, pois de terre) et d'arbustes fixateurs d'azote et producteurs de fourrages sont implantés dans ce système de terrasses jardinées qui permet d'enrichir progressivement ce milieu très pauvre, de stocker les eaux de surface et de gérer la circulation des eaux dans les ravines des montagnes (bassins entre seuils empierrés). En Martinique, un glissement de terrain n'a laissé qu'un versant rocheux d'altérite de coulée volcanique acide. Non seulement il a fallu couvrir le versant de déchets de l'industrie de la canne à sucre, mais il a fallu piéger les eaux de ruissellement dans des cuvettes et enrichir les altérites décapées à la barre à mine avec du

compost et des nutriments minéraux complets pour que les arbustes locaux s'installent, couvrent le sol et arrêtent l'érosion.

Thème 2. Influence de la LAE sur la dynamique de l'eau : de la parcelle au bassin

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

2.1. Caractéristiques des cyclones et pluies tropicales exceptionnelles

Dans les Caraïbes, on observe une très forte variabilité spatiale des pluies en fonction du relief, de la proximité de la mer et des pluies convectives localisées. Les précipitations annuelles varient de 1 500 mm dans les plaines maritimes à plus de 4 500 mm sur les sommets des volcans et 10 000 mm sur la Soufrière en Guadeloupe (Real). Lors de la dizaine de tempêtes tropicales importantes par an, le vent peut atteindre 100 à > 200 km/heure, ce qui aggrave les dégâts dus aux pluies qui peuvent atteindre 90 mm/heure, 300 mm/jour et 600 mm en 6 jours. En moyenne, la hauteur des pluies mensuelles dépasse 380 mm pendant 5 mois consécutifs : avec des ETP de 150 mm/mois, on imagine facilement l'énorme quantité d'eau qui draine sur ou à travers le sol (> 1200 mm de drainage).

L'énergie, l'intensité et l'abondance des averses tombant sur des sols volcaniques pentus et très perméables entraînent des risques majeurs de ravinements et de glissements de terrain.

Si on analyse l'évolution des précipitations durant ces trois dernières décennies, on observe des variations de 3 %, non significatives. De même, le nombre de cyclones est constant, mais l'augmentation de la température de l'air et de l'océan fait craindre une augmentation de la vitesse et de la force du vent et l'augmentation de l'intensité et de l'énergie des pluies (Réal).

Pour améliorer l'analyse et la prédiction de l'évolution du climat, il est nécessaire de disposer de données plus nombreuses et plus sûres. C'est pourquoi l'Unesco a lancé le programme « Medhycos » en vue d'améliorer le réseau de capture de données climatiques fiables et leur interprétation à l'échelle régionale et mondiale (Laraque).

2.2. Influences de l'aménagement des bassins versants

Au Niger, sur des sols ferrugineux sableux, on a instrumenté des bassins pour mieux comprendre l'impact des aménagements et des cultures sur les écoulements et les transports solides. Les premiers résultats ne montrent pas nettement de différence entre les BV témoins cultivés et le bassin cultivé aménagé partiellement en cordons pierreux ou en demi-lunes. En effet, le terrain est si instable qu'il a fallu réhabiliter les aménagements au bout de 3 années.

Au Burkina Faso, Serpantié et Lamachère ont montré que les cordons pierreux ne réduisent pas beaucoup le volume ruisselé des champs aménagés, mais réduisent le débit de pointe et les transports solides. Le labour grossier et le billonnage piègent les petites pluies, mais au bout de 200 mm, la capture diminue en même temps que la rugosité de la surface du sol. Associés, le labour grossier et les cordons de pierres isohypses augmentent l'infiltration au champs et étale les écoulements dans la vallée.

En Martinique, la baie du Robert subit un ensablement accéléré dangereux pour la protection de la biodiversité du milieu corallien et pour le tourisme (Rocle *et al.*). On a classé les terres du bassin en sept classes en fonction des indicateurs de leur vulnérabilité (couvert végétal, topographie, érodibilité des sols). La mesure des débits liquides et solides dans les ruisseaux a mis en évidence la fragilité des berges, la mobilisation des fonds de rivières lors des pluies dépassant certains seuils (> 2m³/sec) qui dépendent de l'imperméabilisation de la surface du sol par l'habitat, les pistes, les sols nus encroûtés, les parcours des animaux. Les transports solides varient de 2 à 20 t/ha/an avec une érosion en nappe moyenne de l'ordre de 10t/ha/an. Le charriage correspond à 40 % des transports solides au début de la saison des pluies mais régresse à 5 % en fin de saison quand les sols sont couverts (formation de croûtes de battance et tassement de la surface du sol par les nombreux passages des ouvriers dans les bananeraies). Les glissements de terrain n'ont pas été pris en compte.

En Martinique, les bananeraies occupent souvent des fortes pentes (10 à > 40 %) dans des zones très pluvieuses. Dans les plantations modernes où les bananiers sont plantés dans le sens de la pente en rangs doubles avec un plus large espace maintenu nettoyé, l'érosion est importante (40 à 100t/ha/an. Cependant, dans les plantations en quinconce semi-pérenne, les pertes en terre ne sont importantes que les six premiers mois de plantation, car ensuite les résidus de culture s'amoncellent au pied des bananiers. Il suffit de disperser les résidus perpendiculairement à la pente, pour réduire à des taux négligeables le ruissellement et les pertes en terre (1 à 3 t/ha/an) (Khamsouk *et al.*, 2008 ; Achard *et al.*, 2011). **L'effet radical du paillage** sous toutes ses formes a également été démontré au Burundi (Rishirumuhirwa), en Côte d'Ivoire (Roose, 1973) et dans le Parc Naturel de la Martinique (Roose et Venumière *et al.*). A Rivière Lézarde, on a soumis le sol brun rouille issu de cendres volcaniques bien structurées à des **pluies simulées extrêmes** (Intensité de 100 mm/h et hauteurs de 300 à 600 mm en quelques heures). Sur sol nu entre les bananiers, on a observé après une pluie d'imbibition très importante ($P_i > 50$ mm) le développement du ruissellement en même temps que la formation d'une croûte particulière sous une couche d'agrégats arrondis par la battance, qui ont tendance à migrer par flottation dans la lame ruisselée. Par contre, les parcelles couvertes de paillage de résidus de culture (bananier, canne à sucre ou ananas) ont pu absorber quasi tout le volume de pluie, le ruissellement restant très peu abondant et peu chargé. Cette expérience démontre clairement l'effet déterminant de la litière à la surface du sol sur la dynamique de l'infiltration conjuguée avec l'éclatement des agrégats et les pertes en terre (Khamsouk et Roose, 2008-11).

En Algérie, en milieu semi-aride, sur des sols argileux rouges méditerranéens, ou bruns calcaires et vertisols, le labour grossier et le billonnage en courbe de niveau (avec des doubles dérayures en travers du champ) réduisent le ruissellement au champ à 10 % du témoin labouré aux disques en année normale (Morsli). Par contre lors des pluies importantes de fréquence 1/5ans, les champs cultivés sont griffés de rigoles évoluant en ravines et les aménagements (cordons pierreux, terrasses, banquettes), généralement efficaces lors des pluies normales, débordent, ravinent profondément les versants, détruisent les seuils dans les ravins et provoquent des glissements de terrains sur des pentes fortes et le long des oueds (Mazour, Morsli). L'aménagement en éléments de banquettes d'un versant argileux en amont d'une ville n'a pas résisté plus de 4 ans suite à l'ensablement des cuvettes et du canal. De même, les terrasses en gradins, les cordons de pierres, les seuils en terre compactée, les j'boub, megden, sed et seguia, aménagements traditionnels qui ont fait leur preuve en années normales, ont été éradiqués ou dégradés lors d'une averse de fréquence 1/20 ans. Cependant, les populations rurales sont habituées à les réparer après chaque événement rare (Mazour) car ces aménagements n'exigent pas des moyens mécaniques importants : le travail communautaire permet de les maintenir en fonction aussi longtemps qu'il reste assez de main-d'œuvre au village.

En Tunisie, les équipes IRD (Albergel, Touma, Zante, Collinet) et tunisiennes (Nasri, Baccari, El Ali, El Faleh, etc.) ont démontré que les banquettes isohypses, les cordons de pierres et les cuvettes individuelles avaient une influence remarquable sur le ruissellement alimentant les barrages collinaires lors des pluies ordinaires : ces aménagements mécaniques captent jusqu'à 50 mm de pluie qu'elles infiltrent en totalité : les versants sont donc localement engorgés et le barrage collinaire risque par ailleurs de recevoir beaucoup moins de ruissellement des versants. Mais lors des pluies de fréquence rare, ces aménagements débordent, concentrent les eaux stockées dans des ravins et sont détruits au bout de 4 à 10 ans selon leurs dimensions. Leur coût est élevé et leur efficacité limitée dans le temps si ces techniques mécaniques ne sont pas soutenues par des couvertures végétales. Voir « Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides » de Roose *et al.*, 2008, Edition AUF, EAC, IRD, ENFI, 402 p.

A Madagascar, les Tamala vivent au pied de la falaise qui borde les hautes terres. Ils brûlent la forêt puis les recrus arbustifs (*tavy*) pour assurer leur subsistance (riz de montagne et manioc) sur des sols ferrallitiques très perméables mais très pauvres des versants. Ils ont développé une série de techniques agricoles pour ralentir la dégradation et l'érosion des sols sur les fortes pentes très arrosées (>2500mm) du Nord-Est de Madagascar : choix des terres perméables initialement bien couvertes d'arbres, maintien des arbres en amont des parcelles pentues cultivées, travail du sol réduit au minimum (semis au bâton pointu), sol bien couvert pendant toute la culture (associée) (Serpantié, 2011).

Sur les **Hautes terres de Madagascar**, les aménagements commencent par la rizière dans les vallées. Ensuite, si on dispose d'une source d'eau, les paysans aménagent les colluvions de bas de pente et terrasses en gradins irriguées pour étendre la rizière. Enfin, pour compléter les réserves alimentaires, les paysans grattent les versants jusqu'à isoler des terrasses progressives (*tanety*) sur lesquelles ils cultivent les plantes qui survivent sur des sols pauvres et acides (manioc, arachides, pois de terre, sorgho, épinards, etc.). Un fossé de protection isole la parcelle cultivée des eaux de ruissellement provenant du haut de versant. Les hauts de pente et les sommets sont réservés aux arbres et parcours communautaires souvent brûlés juste avant la saison des pluies, ce qui fournit de l'eau et des cendres aux pépinières de riz.

A l'échelle du bassin élémentaire, la plantation de pins et d'eucalyptus réduit les débits de pointe au dixième de celui d'un parcours brûlé annuellement et à la moitié d'un champ cultivé en courbes de niveau. Mais au cours des pluies extrêmes de fréquence 1/50 ans, le sol est saturé quels que soient la couverture végétale et l'aménagement de telle sorte qu'au final les écoulements de pointe se ressemblent, mais les transports solides sont largement moindres sous forêt (voir Manankazo, Roose, 1987).

En Haïti, nous n'avons malheureusement reçu aucun document scientifique analysant l'efficacité des aménagements antiérosifs sur le fonctionnement hydrique des bassins versants élémentaires. Les rapports d'évaluation des ONG concernent le plus souvent l'importance quantitative des aménagements : kilomètres de fossés et de canaux de contour, de haies vives, nombre de seuils dans les ravines, d'arbres élevés en pépinière et plantés en bosquets ou en courbe de niveau, kilomètres de pistes rurales, nombre de dispensaires, de barrages collinaires, de mares rizicoles, d'arbres fruitiers, tonnage de légumes commercialisés, etc. Nous aurions aimé souligner que les canaux de contour et autres terrasses en gradin ou banquettes d'absorption totale ou même cuvettes ou éléments de banquettes ne sont fonctionnelles que pour les pluies petites et moyennes ; mais lors des cyclones déversant 300 mm/jour à 600 mm en une semaine, le sol est complètement saturé, les fossés et canaux débordent, ravinent les versants ou provoquent des glissements de terrain très dangereux, en particulier pour les villes construites dans les vallées (comme dans le Maghreb ou les montagnes africaines). Aucun aménagement antiérosif mécanique ne peut résister à de tels volumes de pluie. De plus, il faut tenir compte du vent qui augmente considérablement l'énergie des pluies et des séismes qui bousculent la structure du sol humide et favorise les glissements de terrains.

Les projets de Salagnac-Aquin et Pratic dans les collines du sud de l'île ont testé l'approche de gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols tout en veillant à la participation des intéressés, à leur formation et à l'amélioration de leurs revenus (voir Smolikowski, Roose et Brochet, 1993). Les interventions visaient à favoriser l'intensification et la diversification des productions agricoles tout en stabilisant les versants et les fonds de vallées primaires : création de pistes de montagne pour évacuer les nouvelles productions (maraîchage), création de citernes captant les eaux de pluies sur les toits et le ruissellement concentré sur les pistes bétonnées, valorisation des eaux de ruissellement par le développement du maraîchage, reconversion des terres fragiles en cultures pérennes (arboriculture fruitière et forestière), amélioration de l'élevage (au piquet ou à l'étable), contractualisation des opérations proposées par le projet, choix en priorité des zones qui conservent un haut potentiel de

production (bas-fonds, vallons) plutôt que les terres mortes complètement dégradées, stabilisation des fonds de vallons par des seuils-citernes bétonnés pour y développer des jardins créoles, des cultures maraichères associées aux arbres fruitiers greffés pour étaler la saison de production.

Parmi les projets visités en juin 2010, les aménagements de Gros Mornes tiennent compte des besoins immédiats de revenus des paysans en même temps que des possibilités limitées d'investissement, de la difficulté de fixer dans l'immédiat les versants arides. Ce projet concentre les efforts sur les vallons, ravines ou vallées primaires pour y stocker une partie des eaux ruisselants en surface (seuils + citernes + puits) et des terres humifères qu'elles transportent, pour y développer un tissu d'arbres fruitiers/fourragers surplombant des cultures intensives, associées et couvrant le sol toute l'année. En plus des seuils résistant aux débits de pointe des ruisseaux, tout un réseau de haies freine les écoulements et produit de la biomasse nécessaire pour améliorer l'élevage et les sols. Des exemples sur le terrain ont démontré que ces aménagements démarrant en aval et remontant progressivement sur les versants peuvent résister aux pressions énormes et multiples des énergies développées par les pluies cycloniques dévalant sur ces pentes raides et souvent arides, aux sols superficiels. En captant une bonne partie des crues de ruissellement et en ralentissant les vitesses de pointe, ce type d'aménagement réduit sérieusement les risques d'inondation et d'envasement des villes situées en aval. Ces aménagements ont résisté aux trois derniers cyclones et aux séismes de 2010. De jeunes entreprises ont vu le jour qui développent ces systèmes d'aménagement partant des vallons pour progresser progressivement vers les versants.

Thème 3. Les aspects agronomiques de la gestion durable de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

3.1. La nutrition des plantes et la fertilité des sols

L'exportation des récoltes, des résidus de culture et des fourrages, des fruits et du bois, de même que le parcours sur les pailles des céréales entraînent forcément une perte du stock de nutriments assimilables du sol. Par ailleurs l'érosion, la volatilisation par les feux et la lixiviation par les eaux de ruissellement et de drainage accélèrent cet épuisement. Pour maintenir une bonne couverture du sol et un niveau satisfaisant de production végétale, il faut rétablir l'équilibre du bilan et prévoir des apports de matières organiques pour maintenir la stabilité des propriétés physiques et des compléments minéraux pour nourrir les plantes cultivées. Les sols dégradés stockant généralement assez mal les nutriments (N et bases lessivées, P fixés par le fer, l'alumine et les carbonates), il est plus rentable de calculer au plus près les nutriments nécessaires pour atteindre le niveau de production ciblé par la disponibilité en eau et les potentialités climatiques et économiques régionales.

La simple conservation des sols ne suffit donc pas !

3.2. La culture des légumineuses en rotation ou en association

Les **rotations céréales-légumineuses** sont connues depuis des siècles par les agronomes. Par divers mécanismes biologiques, les légumineuses fixent l'azote de l'air, le combinent avec la sève carbonée et laissent dans le sol avec les racines 50 à 200 kg de N/ha/an. (Vandeplass *et al.*, Brochet *et al.*, Roose, 1994, etc.). Plus complexes sont **les cultures associées** qui occupent plus efficacement l'espace aérien et souterrain au cours des saisons et produisent jusqu'à 30 % de plus que les cultures isolées (Valet, Brochet, Duchaufour) : on estime qu'il se passe des échanges directs entre les racines des légumineuses et des autres cultures.

Les haies vives formées de buissons de légumineuses apportent aussi leur quota estimé à plus de 110 kg de N/ha/an à travers le fourrage, le paillage et les bois de feu produits lors de chaque coupe (Ndayizigié et Roose ; Koenig, 1993).

Cependant, dans les milieux pauvres en phosphates assimilables (sols ferrallitiques, ferrugineux tropicaux, calco-magnésiens, volcaniques ou sableux), sans apport de phosphates calciques, les activités microbiennes ralentissent et la fixation d'azote est réduite.

3.3. Les amendements organiques et la fumure minérale (Seh , Brochet, Duchaufour, 2011)

Les matières organiques du sol sont une clé de la fertilité physique (stockage de l'eau, agrégation, infiltration) et chimique du sol (stock d'azote, phosphore assimilable et divers oligo-éléments). La première démarche doit donc consister à maintenir le taux de MO à un bon niveau (seuil de MO variant de 0,5 % sur sols sableux à 2 % sur sols argileux). C'est pourquoi la gestion de la biomasse produite est un des éléments majeurs des systèmes de production. Les paysans du monde ont des approches différentes de la gestion de la biomasse disponible, chacune ayant des avantages et des inconvénients. **Le feu** accélère la minéralisation, produit des charbons de bois très efficaces pour stocker les nutriments et l'eau, mais gaspille la majorité du carbone et de l'azote sous forme gazeuse. La transformation de la biomasse par le bétail laisse divers types de **fumiers**, améliore le taux de C/N et apporte rapidement (après 6 à 12 mois de maturation) une amélioration aux terres où on le concentre. Cependant, son action positive est limitée à 2 années, il exige beaucoup de travail et d'eau, il ne restitue qu'une faible partie des végétaux prélevés (40 à 50 % au mieux), il suppose un nombre important de têtes de bétail et de surface de parcours (pour produire 3 t/an de poudrette, il faut 5 vaches et 20 ha de brousse ou 2 ha de culture fourragère). Enfin, l'élevage entraîne la production de gaz à effet de serre. Le **compost** a un rendement pire encore puisqu'il exige beaucoup de travail (double déplacement, eau) et perd environ 80 % de la biomasse compostée sous forme gazeuse ; de plus, il ne produit pas de viande ni de lait qui justifient l'élevage (Roose, 1994).

Le recyclage des déchets urbains compostés (Fernandes et al, Seh et al.) par contre est un bon moyen de se débarrasser écologiquement d'une partie des déchets urbains fermentescibles, tout en restituant dans les campagnes périurbaines une partie des nutriments exportés avec les fruits et légumes, les céréales et les combustibles vers les villes. Mais cette technique a un coût : ramassage, triage, hachage, fermentation anaérobie avec production de gaz ou compostage aérobie et redistribution aux horticulteurs. Au final, le produit composté ne représente que 20 à 30 % des déchets soit moins de 10 % de la biomasse extraite des campagnes. Les expérimentations de Seh *et al*, au Cameroun montrent que le coût du compost par kilo de salade produit est nettement plus élevé que le coût des engrais minéraux : l'optimum consiste à utiliser à la fois le compost urbain (qui améliore le taux de MOS) et un complément des nutriments minéraux (N+K et surtout P) trop peu concentrés dans les composts. Encore faut-il vérifier que les composts ne contiennent ni germes dangereux, ni métaux lourds, ni pesticides.

Le paillage et les litières mortes ou vives régulièrement rabattues protègent très efficacement le sol contre l'agression des pluies, du vent, du soleil et améliorent beaucoup les activités de la faune qui augmentent la macroporosité, la stabilité de la structure et l'infiltration des horizons superficiels, les plus importants pour lutter contre l'érosion. Le paillage apporte non seulement une protection contre l'érosion mais aussi restitue progressivement (en 1 à 3 ans) l'ensemble des nutriments constituant la biomasse et séquestre le carbone (MO soluble) (Roose, 1994 ; Achard *et al.*, Khamsouk, 2003). C'est le mode de recyclage le plus proche des litières forestières.

Toutes ces approches ont leur intérêt mais la biomasse disponible sur un hectare en production ne couvre que 20 à 30 % des besoins minéraux du sol et des cultures. Il faut donc utiliser au mieux toutes les ressources en biomasse disponibles localement mais compléter les apports soit par des prélèvements hors champs (apport des boues de décantation des eaux usées et des déchets ménagers urbains ; voir Seh et Fernandes et al., 2011), (parcours des bêtes sur les chemins ruraux, les forêts, les jachères, les cultures fourragères, etc.), soit par le développement sur place de cultures associées en particulier de systèmes agroforestiers apportant un complément de biomasse et de nutriments prélevés en profondeur dans le sol (Valet, 2011, Brochet *et al*, Peltier *et al.*, 2011), soit par des apports complémentaires de nutriments minéraux (plus concentrés, plus faciles à transporter, mais plus dangereux à gérer) (Roose, 1994, Duchaufour 2011, Brochet, 2011). L'apport judicieux de MO et de

minéraux complémentaires doit être calculé et étalé dans le temps et dans l'espace en fonction du potentiel de production économique du milieu, des risques climatiques et des besoins physiologiques des cultures : en effet les sols à argile kaolinique ont une faible capacité à stocker les cations, l'eau et les MO.

Les engrais minéraux ont une mauvaise réputation d'acidifier les sols et de produire des sols tassés et peu vivants. Il est vrai que les nitrates, chlorures, sulfates et autres phosphates se décomposent dans l'eau en acides forts et que les cations (Ca⁺ Mg⁺ K) sont délogés des sites échangeables du sol par l'hydrogène, entraînant la baisse du pH du sol. Mais il faut rappeler que les plantes ne se nourrissent pas des molécules organiques sans leur minéralisation par les microbes du sol. La gestion intensive de la fertilité des sols suppose donc un apport de matières organiques, complété par des apports fractionnés de minéraux pour optimiser la production végétale (et la protection du sol). La faune et la microflore du sol, indispensables, ont besoin de l'apport de matières organiques pour entretenir une ambiance favorable du sol (Roose, 1994).

3.4. Les cultures à forte production de biomasse et l'agroforesterie (Duchaufour)

Il est généralement admis que la forêt plurispécifique et multi-étagée non seulement protège bien le sol contre l'érosion mais accumule en surface des éléments nutritifs puisés en profondeur près des roches altérées ou captées en surface en solution dans les pluies ou dans les poussières et cendres que l'air véhicule.

Mais avec le développement de la population, les paysans sont forcés de défricher les forêts et développent des **systèmes de cultures associées** dans l'espace et dans le temps (Valet) ou des cultures particulièrement productives de biomasse et protectrices du sol. C'est le cas « **des jachères bananières** » ou **agroforestières** au Burundi qui accumulent la fertilité dans la végétation et le sol (10 cm de terreau en dix ans) au point de nourrir plus de 600 habitants par km² sur les pentes raides des collines. Il n'est pas rare de trouver sous ces bananeraies agroforestières plus de six cultures associées. Il semble dans ces cas que l'extension de la bananeraie supplante progressivement la multiplication du troupeau comme mécanisme d'accumulation du capital (Duchaufour). La canne à sucre et les ananas sont aussi capables de produire des masses impressionnantes de biomasse (> de 100 t/ha/2 ans). Il est clair que cette production n'est atteinte que sur des bons sols humides et beaucoup plus lentement sur des sols pauvres et superficiels (techniques des pots de fleurs). En Haïti, a été développée une technique d'aménagement antiérosif appelée « **bande d'arrêt à manger** » : il s'agit d'une bande cultivée en courbe de niveau où l'on concentre la fumure pour produire des végétaux dont on tire les fruits mais dont on laisse la biomasse sur place (ex. canne à sucre, bananiers, ananas, etc.).

De nombreux systèmes agroforestiers partent des mêmes principes de cultures associées à des lignes d'arbres élagués pour porter peu d'ombre et dont les racines sont taillées (par un labour profond à 50 cm des pieds) très tôt pour qu'elles se développent en profondeur sans trop concurrencer les cultures occupant le sous étage : c'est le cas des **haies vives** qui sont plantées très serrées (50 cm en quinconce) et taillées 3 à 4 fois l'an, au début pour enrichir le sol sous la haie, mais ensuite pour produire du fourrage en saison sèche et du paillage durant les pluies. La litière produite par ces arbustes/arbres couvre la surface du sol, protège et renforce les agrégats contre l'agressivité des pluies et alimente en nutriments assimilables les cultures associées.

3.5. Le travail du sol et les techniques culturales

Le travail profond du sol a été longtemps préconisé pour augmenter la production, enfouir et maîtriser les mauvaises herbes, approfondir l'enracinement des cultures et favoriser la nutrition hydrique et minérale des cultures. Depuis une vingtaine d'années, des opinions divergentes prétendent que le labour, en aérant les horizons profonds, brûle les matières organiques du sol et accélère la minéralisation des MOS, augmente temporairement leur production mais aussi leur érodibilité et leur vitesse de dégradation. En effet, les sols des forêts ne sont jamais labourés et pourtant leur porosité,

leur MOS et leur fertilité augmentent grâce aux remontées biologiques par les racines, le travail des insectes et la minéralisation des litières. Dans les systèmes traditionnels de culture sur jachère brûlée, le travail du sol est très réduit les premières années (Serpantié). Des systèmes modernes **de travail du sol réduit au minimum** et **semis sous litières** ont été développés en zones tropicales (surtout en Amérique latine) qui commencent par améliorer la porosité du sol (par labour mécanique ou éclatement du sol), puis développent des rotations alternant légumineuses et céréales, les unes étant semées sous la litière des précédentes ou même entre les rangs des autres avec un décalage d'un à deux mois. L'accumulation des résidus de culture laissés à la surface du sol après la récolte accélère l'activité des vers de terres, termites et autres fousseurs qui au bout de quelques années retournent l'horizon humifère, creusent une macroporosité plus stable que le labour, très efficace pour améliorer le drainage et aérer les couches tassées par la battance des pluies et le poids des tracteurs. Au Maroc, sur des terres semi-arides, Mrabet a observé que le système de semi direct sous litière (même réduite à 40 % de couverture) améliore les qualités physiques et chimiques (MO, azote, phosphore et potassium) des horizons superficiels et à moyen terme le rendement des cultures. Des **plantes de couverture** (de préférence des légumineuses) assurent la protection contre l'érosion et la lixiviation des nutriments par les eaux de drainage : elles peuvent parfois réduire la concurrence des adventices lors des premières années de mise en place du système. L'usage **d'herbicides chimiques remplace le labour** mais entraîne une sélection des mauvaises herbes résistantes, ce qui oblige de changer souvent d'herbicide. Ces systèmes testés sur sols ferrallitiques sableux au Nord-Cameroun et Sud-Mali ont confirmé la réduction du ruissellement et de l'érosion mais l'augmentation du drainage durant les semaines les plus pluvieuses ; ils ont obligé les paysans à apporter 20 unités d'azote complémentaire pour compenser les pertes par lixiviation des nutriments solubles (N et bases) (Diallo, Boli et Roose, 2004). Alors que la production du coton s'est maintenue, la récolte du maïs a accusé une perte de 10 à 30 % par rapport au système du labour conventionnel, en année humide, mais le coût du système de semis sous litière est moins élevé que la technique de labour conventionnelle. La principale difficulté en Afrique tient aux droits de parcours des champs dès qu'ils ont été récoltés, au pâturage et aux feux de brousse qui ne permettent pas de garder les résidus de culture sur les champs en saison sèche. Il faut donc développer un système de gestion des paysages en bosquets et **clôtures de haies vives**. En milieu semi-aride méditerranéen, les résidus de culture sont valorisés par le bétail qui rapporte beaucoup plus que la culture de céréales (Mrabet). On peut douter que ce système enthousiasme les paysans éleveurs qui vont consacrer à la couverture du sol 40 à 80 % des résidus généralement utilisés par le troupeau après la récolte.

3.6. L'élevage et les risques d'érosion (Hermelin, Sabir, Brochet *et al.*, 2011)

L'élevage est l'une des ressources financières importantes des paysans en particulier sur les terres ingrates : c'est la caisse d'épargne des petits paysans des régions tropicales. Mais son impact sur l'environnement n'est pas que positif (concentration des nutriments de la biomasse pâturée des parcours dans le fumier disposé sur les cultures intensives). Hermelin montre comment en Bolivie, les grands élevages remplacent les forêts, participent à la dégradation du couvert végétal, au tassement de l'horizon superficiel (Thèse de Sabir) et à la naissance du ruissellement et des glissements de terrain (terrassettes nommées pieds de vaches). Par ailleurs, le déplacement régulier des troupeaux depuis les parcours vers les sources d'eau entraîne la formation de ravines profondes sur les terres en pente (Roose, Sabir et Laouina, 2010. « *La gestion durable de l'eau et de la fertilité des sols au Maroc.* » IRD, Montpellier, France, 350 p).

Par contre, l'élevage familial en enclos (ex. porcherie familiale, bergerie, poulailler) permet un recyclage des résidus de culture et des ménages, la production de biogaz et de compost. Les contrats de pâturage des résidus de culture et de parage la nuit sur les champs à fumer ont l'avantage d'éviter tout transport et manipulation du fumier : ce sont les animaux qui se déplacent et recyclent à la fois les urines et les fèces : le labour rapide est alors indispensable pour éviter les pertes en azote gazeux. Ce transfert de nutriments et de matières organiques favorise la croissance rapide des végétaux (et des

adventices) et par conséquent le recouvrement de la surface du sol et la dissipation de l'énergie des pluies et du ruissellement.

Thème 4. Rôle des arbres sur la gestion durable de l'eau et de la fertilité des sols.

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

4.1 La richesse des sols sous forêts

Quand les paysans cherchent de nouvelles terres, ils choisissent de préférence des terres forestières sachant qu'elles seront plus productives que les terres sous savane. En effet les analyses montrent qu'elles sont plus poreuses, plus perméables, mieux structurées, plus riches en une faune diversifiée et en matières organiques, en azote, bases et phosphore assimilable, et plus résistantes à l'érosion (Cruz en Dominique, Serpantié à Madagascar, Sabir et Roose au Maroc). La forêt est en effet l'un des rares systèmes de production qui accumule des matières organiques et minérales dans sa biomasse et dans les horizons superficiels du sol. Grâce à un double système racinaire superficiel et profond, il recycle très rapidement les minéraux disponibles en surface (pluie et litière) et en profondeur (eaux de drainage et altération des roches). De plus, la famille des légumineuses fixe l'azote de l'air. Le sol n'étant remué que par la faune du sol, les matières organiques et les nutriments se concentrent dans les horizons superficiels qui, avec la litière, protègent le sol contre l'agression des pluies, du ruissellement et du soleil.

Le défrichage des sols forestiers entraîne une exportation des bois, le brûlage des fins rameaux et de la litière, la minéralisation brutale des nutriments accumulés pendant des décennies, leur exportation par le feu, le drainage, le ruissellement et l'érosion, un réchauffement et un dessèchement du microclimat. En quelques années (2 à 20 ans selon la teneur en argile), le stock de MO accumulé pendant des décennies est épuisé et le rendement des cultures baisse.

4.2 La restauration des sols et des forêts.

La démarche classique des forestiers devant des sols dégradés par les cultures et par l'élevage est de rétablir la couverture forestière en choisissant des essences à croissance rapide (20 à 40 ans) comme les pins, les eucalyptus, ou, plus récemment, des légumineuses comme les *Acacias mangium*, *A. auriculiformis*, ou *A. Senegal*, *A. seyal*, *A. Mellifera*, *Bauhinia*, *Piliostigma*, ou des *Casuarina equisetifolia*: elles sont choisies localement pour leur croissance rapide, leur forte production de biomasse et l'amélioration du sol, en même temps que leur capacité à couvrir le sol d'une litière protectrice contre l'érosion.

Plus récemment, on a démontré dans **le Rif au Maroc sur terres argileuses** (sols bruns calcaires ou vertisols) que les forêts naturelles de chênes du Rif séquestraient jusqu'à 100 t de C/ha sur 30 cm de profondeur, alors que le matorral parcouru par le bétail ne stockait plus que 74 %, les cultures de céréales ou de cannabis que 54 %. Pour restaurer ce taux de stockage de carbone dans le sol, le choix des forestiers se porte sur des plantations de pins ou d'eucalyptus (94 %) et celui des paysans sur l'agroforesterie fruitière (71 %) (Sabir et Roose).

Dans le Haut Atlas de Marrakech, on a comparé sur cinq parcelles d'érosion (de 150 m²), l'influence de la plantation de pins (40 ans) sur éléments de banquettes sur l'érosion et le ruissellement en fonction du substrat rocheux magmatiques ou sur argiles permo-triassiques. Alors que le niveau d'érosion est modeste (E= 0,2 à 2,5 t/ha/an) sur la majorité des versants rocheux à fortes pentes (25 à 60 %), elle atteint 350 t/ha/an sur ravine nue sur argile rouge, 1,1 t/ha/an sur parcours et 0,05 t/ha/an sur plantation de pins sur banquettes bien entretenues. Lorsque les banquettes sont peu entretenues et ensablées, le ruissellement et l'érosion reprennent aussitôt. (Cheggour *et al.*).

En République Dominicaine, la capacité d'infiltration d'un sol minier planté en *Casuarina equisetifolia* augmente avec l'âge de la plantation, mais reste inférieure à celle de la forêt naturelle témoin. Sous *Acacia mangium*, l'infiltration reste plus faible et dépend de l'aménagement en terrasse (Cruz César).

Au Nord-Vietnam, le gouvernement a favorisé l'abandon des cultures sur brûlis de manioc sur les fortes pentes (acrisols argileux acides) pour des plantations d'arbres (*Acacia mangium*, *Venitia montana*, *Styras tonkiniensis* ou *Eucalyptus*) et de fourrages. Après 6 années, les transports solides d'un bassin sont passés de 9,5 à 0,5 t/ha/an. Le ruissellement est passé de 16 % sous manioc à < 5 % sous les plantations arborées. L'activité des vers, très élevée sous les arbres et les jachères, est quasi nulle sous manioc : les turricules semblent un facteur limitant le ruissellement et l'érosion car les vers favorisent la structure et la rugosité de la surface du sol (Podwojewski et al.).

4.3 Création d'un système mixte forestier et agricole (taungya ou jatropa)

Il s'agit d'installer **un système forestier à rotation courte** (12 ans) en vue de produire du bois de chauffe, du charbon de bois ou des perches pour les habitations, à l'abri duquel on accepte la culture de plantes (maïs, manioc, arachides, haricots) servant de nourriture aux populations locales. Une fois les arbres couvrant la majorité du sol, l'exploitation agricole en couloir entre les jeunes arbres n'est plus permise par les forestiers qui n'ont plus besoin de l'entretien de la plantation. Le but essentiel des plantations d'arbres à croissance rapide est de produire de la cellulose, du bois de chauffe ou de service, de protéger le sol contre l'érosion et d'améliorer ses propriétés. Des recherches ont eu lieu au Nord-Cameroun pour montrer l'intérêt de jachères forestières plantées (Harmand, Peltier, 2011).

Un cas particulier est la **production de biocarburant** à partir de la plantation de *Jatropha gurcas* (Pressoir en Haïti) ou de Palmier à huile en Indonésie (*Elaeis guineensis*) sur des terres pauvres ou dégradées peu utiles à l'agriculture. Durant les premières années, les cultures basses sont tolérées en échange du sarclage de la plantation à but industriel. **En Haïti, le *Jatropha gurcas*** comestible pourrait devenir une culture arbustive qui contribue à valoriser les terres sableuses marginales ou dégradées impropres à l'agriculture, à protéger les mornes dégradés contre l'érosion et les chèvres (haies vives) tout en produisant du biocarburant pour les centrales électriques, les réchauds, les lampes et les véhicules, et du tourteau pour les animaux. Reste à démontrer que cette filière est rentable sur les mauvaises terres et qu'elle ne va pas concurrencer les cultures vivrières sur les terres privées. (Pressoir)

4.4 Systèmes agroforestiers

Il s'agit cette fois de développer des systèmes de production agricole qui s'appuient sur la capacité des arbres ou des haies vives de protéger le sol, de produire des biomasses utiles comme fourrage, bois de feu ou comme paillage ou engrais verts.

Sur les hauts plateaux de Madagascar, les sols ferrallitiques sont très pauvres et la végétation réduite à une steppe graminéenne. Pour améliorer les divers paramètres de la fertilité, on a installé des jachères à arbustes légumineuses (*Tephrosia vogelii*, *Calliandra calothyrsus*, *Flemingia congesta*) : elles furent comparées à une steppe naturelle à *Aristida*. Au bout de 5 à 7 ans de repos, on a enfoui la biomasse dans le sol. La jachère à *Tephrosia* paraît la plus efficace pour améliorer l'infiltration, la masse de pédofaune, la MOS, la porosité et le rendement en haricots (Razafindrakoto et al.)

Sur les hautes collines du Rwanda, Koenig a comparé pendant plus de 20 ans des systèmes agroforestiers comportant jusqu'à 200 arbres par hectares cultivés sur des terres ferrallitiques très pauvres du Rwanda. Parmi 32 espèces, *Grevillea robusta* et *Cedrella serrata*, espèces introduites, ont poussé très vite au début, puis elles ont été dépassées par quelques espèces locales (*Maesopsis* et *Polyscias fulva*). Ces plantations n'ont pas suffi à réduire suffisamment les risques d'érosion hydrique (E= 250 t/ha/an sous culture de manioc + 200 arbres). Par contre, la plantation tous les 7 à 10 m, perpendiculairement à la pente, de haies vives de *Leucaena leucocephala*, ou mieux sur ces terres acides d'altitude, de *Calliandra calothyrsus* a réduit le ruissellement à moins de 2 % et l'érosion à moins de 2 t/ha/an. Ces arbustes ont été plantés en quinconce tous les 50 cm sur une étroite terrasse en courbe de niveau. Dans un premier temps, la plantation de graminées (*Pennisetum*, *Setaria*, etc.) en amont a ralenti plus vite l'érosion (comme au Burundi), mais à moyen terme ces graminées ont réduit la

croissance des arbustes. Dès la première année, on taille non seulement les branches mais aussi les racines superficielles (labour à 50 cm des troncs) des jeunes arbustes pour les maintenir très denses à la base et on enrichit la terre entre les deux lignes par un « filtre » composé des déchets de labour, des produits de la taille et des résidus de culture. Dès la seconde année, les haies réduisent le ruissellement et l'érosion à des valeurs acceptables (1 % de l'érosion sur sol nu), mais le rendement des cultures n'augmente pas tant qu'on n'y apporte du fumier/compost (10 à 20 t/ha/an en humide) et des compléments minéraux (surtout N et P). Dans la zone de Butare, les haies sont taillées deux fois en saison sèche pour produire du fourrage et deux fois en saison des pluies pour produire du paillage répandu sur les champs une fois semés. Ces apports organiques protègent la surface du sol, boustent les activités de la faune dans l'horizon humifère et la litière et recyclent des nutriments puisés en profondeur. Entre ces « lignes de défense », le travail du sol en courbe de niveau pousse la terre vers l'aval et crée en 4 à 6 ans des terrasses progressives et des talus protégés par les haies (Roose et Ndayizigié, Koenig, Diatta *et al.*).

Dans un bassin arachidier du centre du Sénégal semi-aride, un réseau de douze haies vives, formées de onze espèces d'arbustes fréquemment utilisées, a été installé. Au bout de 4 ans, on a observé que le stock d'eau du sol a été augmenté en amont des haies sur 1 m, mais les rendements en arachides et surtout en mil sont rabaissés du fait d'une concurrence pour la lumière et les nutriments par les arbres.

Thème 5. Spatialisation des risques des différents types d'érosion

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Tout projet d'aménagement antiérosif s'appuie sur un diagnostic du milieu, une analyse des risques de divers types d'érosion qui aboutit à une spatialisation des risques d'érosion au niveau des parcelles et des rivières. Il met en route une approche participative où les paysans intéressés sont consultés et formés (Attia *et al.*, Delerue, Roose).

5.1. Diagnostic : accumulation d'informations

A Bibliographie. La première démarche dans l'organisation d'un projet est d'accumuler les informations disponibles dans la littérature sur la situation géographique, le climat, la géomorphologie, les sols, la lithologie et l'hydrologie de la zone du projet, la situation démographique et socio-économique, l'origine et les compétences des populations, etc.

B. Une enquête auprès des villageois et des hommes ressources pour préciser les systèmes de culture, d'élevage, d'énergie, de commerce, les types de sols associés à leurs usages, à leur potentiel et leurs fragilités.

C. Une visite de terrain avec les exploitants permet de définir les segments fonctionnels des toposéquences, les usages des terres, les types d'érosion et les techniques de gestion de l'eau et de la fertilité des terres.

D. On organise alors une restitution des connaissances sur une première carte par village ou groupe d'exploitants d'un versant ou d'un petit bassin versant (Delerue).

5.2. Définition des techniques de gestion de l'eau et de la productivité des sols (GCES)

A Enquête : types d'érosion observés, où sur la toposéquence, à quel moment de la saison, comment se développe l'érosion ?

B. Recherche d'indicateurs des risques de ruissellement et d'érosion : pente, types d'érosion et importance de chaque type, surface du sol dénudée, fermée par les croûtes de battance ou par tassement, % de graviers et cailloux, couvert végétal, dénudation des tiges et troncs d'arbres (Thiet, Pomel *et al.*)

C. Enquête sur l'efficacité des techniques de LAE, de gestion de l'eau, d'entretien ou de restauration de la fertilité des sols : ce que font les paysans depuis longtemps, ce qui a été tenté récemment, ce qu'on propose pour le futur.

D. Restitution et discussion.

5.3. Estimation des risques : USLE, interprétation d'images, SIG.

- Estimation des risques en fonction des indicateurs par simulations de pluies (Roose, Sabir, Cheggour, Simonneaux).
- Estimation des risques par modélisation (Leumbe, Desir, Duchaufour).
- Erosion en nappe (USLE)= $R_{pluies} \times K_{sol} \times S_{Ltopo} \times C_{couvert\ végétal} \times P_{tech. Cult.}$
- Erosion en ravines (Daoudi+ Ozer).
- SIG □ cartes des paramètres □ intégration des classes de facteurs □ Carte intégrée des risques.
- Restitution et validation de la carte des risques.

5.4. Propositions d'aménagements spatialisés

- Plan en trois dimensions du terroir à aménager sur lequel on reporte les aménagements pour chaque segment fonctionnel, (Leumbe)... + participation des intéressés à toutes les étapes.
- Proposition de l'usage ou du changement d'usage des terres.
- Cartes issues des SIG sur laquelle on propose divers aménagements possibles en fonction des objectifs et des moyens des propriétaires des parcelles sur chaque segment fonctionnel (Boualem/ Mazour, Abdelbakhî, Attia *et al.*).
- Restitution et discussion des cartes d'aménagement □ Plan d'aménagement par micro-bassin.

5.5. Suivi et évaluation.

- Avant chaque saison, définition des aménagements dont la réalisation est prévue en priorité.
- Après chaque saison, on reporte sur le plan d'aménagement, les aménagements réalisés.
- Evaluation de la mise en place (sérieux du travail) et de l'efficacité des aménagements.
- Reprise et renforcement des travaux qui n'ont pas résisté aux averses, ou choix d'un autre aménagement.
- Evaluation du coût de chaque aménagement (temps de travaux + matériels + consommables) et des bénéfices dus aux aménagements.
- Projet des réalisations souhaitables pour la saison suivante.
- Bilan après chaque saison culturale.

Thème 6 : les aspects socio-économiques de la lutte antiérosive (LAE)

Les problèmes d'érosion ne sont pas seulement techniques : ils dépendent largement de la façon dont les paysans et les techniciens perçoivent les problèmes et les solutions proposées en fonction de leur histoire (sont-ils agriculteurs, éleveurs, péri-urbains ?), de la difficulté de leur vie (pauvreté, instruction limitée), des moyens économiques dont ils disposent et des pressions socio-économiques et culturelles auxquelles ils sont soumis.

6.1. Perception paysanne des problèmes d'érosion et de dégradation des sols

Les paysans vivant sur les collines constatent clairement que les sols cultivés sans investissement deviennent pauvres et incapables de les nourrir. Du fait de leur pauvreté (Smucker), ils sont amenés à prendre des décisions qui entraînent la dégradation du milieu (par ex. réduction de la durée de la jachère, brûlis des zones boisées trop pentues pour des cultures annuelles). Les causes de cette dégradation (l'énergie des gouttes de pluie, l'érosion en nappe et la minéralisation des MO) sont mal perçues. Ce n'est que lorsque le sol est déjà fort dégradé (rigoles), qu'ils discernent les effets de l'érosion : amaigrissement de la couche humifère, instabilité de la structure et tassement, ruissellement abondant et ravinement, assèchement et perte de productivité de la terre. Devant les glissements de masse, le petit paysan est encore plus démuni. L'érosion apparaît comme une fatalité liée aux excès

d'intensité des pluies plutôt qu'au mode de gestion des terres fragiles, car de toute façon il n'a que le choix d'étendre ses cultures à des terres marginales (Ratsivalaka, Smucker).

6.2 Perception paysanne des solutions aux problèmes d'érosion

Les sociétés rurales ont développé de nombreuses techniques antiérosives traditionnelles plus ou moins efficaces selon la zone écologique et acceptables surtout lorsque les travaux sont réalisés dans le cadre de groupement d'intérêt local (versant, petit bassin, petit projet d'irrigation). Pour que des innovations puissent être acceptées, il faut qu'elles comportent peu d'investissement financier (rôle très discuté des incitations), que leur efficacité soit rapide (démonstrations en situation paysanne), que le supplément de travail soit rentable à court terme, que l'appui technique et financier soit durable (renforcement des structures) (Duplan, Ratsivalaka, Smucker, Peltier, etc.).

La plupart des évaluations à posteriori ont montré que les paysans préfèrent les techniques traditionnelles qu'ils connaissent (Zeckri, Peltier et al., Ratsivalaka, Amadou, Duchaufour) ou tout au moins des techniques traditionnelles améliorées, moins chères, discontinues et semi-perméables (cuvettes et cordons de pierres ou haies plutôt que banquettes) et plus facilement entretenues par les groupements paysans exploitant une même niche. Pour que ces aménagements soient efficaces sur la prévention des inondations, il faut qu'ils soient généralisés à l'ensemble d'un bassin versant et qu'ils ouvrent la voie à des nouveaux débouchés entraînant l'amélioration du niveau de vie des populations (Smucker, Walker *et al.*, Peltier *et al.*, Ha *et al.*, Sene) et, en particulier, des femmes qui assurent souvent plus de 75 % des travaux et sont en recherche de ressources financières pour la survie de leur famille.

6.3. Les pressions démographiques et foncières

Les pressions démographiques et foncières sont souvent citées comme la cause de l'extension des cultures à des terres marginales (trop pentues, trop fragiles) entraînant forcément une augmentation des risques de dégradation par les divers types d'érosion (Smucker, Ha *et al.*, Ratsivalaka, Descroix *et al.*). Le mode d'exploitation des terres est aussi important car si chaque paysan a hérité d'un lopin de terre, il est obligé de louer un complément de surface pour assurer sa sécurité alimentaire.

D'autres voix clament qu'au contraire (thèse Bosrup), plus il y a de monde à la campagne et plus la terre peut être soignée, exploitée intensément aboutissant à une excellente couverture végétale du sol (cultures associées, agroforesterie, parcs arborés cultivés, rotations rapides, cultures pérennes associées à des cultures sarclées, concentration des soins à la terre et recyclage des déchets de toute sorte). L'exemple des bananeraies du Burundi et du Rwanda montre que sur les terres riches (volcaniques) ou tout au moins sous des climats suffisamment humides (montagnes), plus la population est abondante et moins on observe d'érosion (Duchaufour). Par ailleurs, si pour diverses causes (ex. guerre civile au Burundi), les populations émigrent et que la terre retourne à l'état sauvage, on observe une baisse de la densité de population et une recrudescence des problèmes d'érosion et d'inondation (Rishirumuhirwa).

Enfin, ce sont dans les zones les plus densément peuplées, généralement les plus salubres et agréables (zones montagneuses, volcaniques ou semi-arides), qu'on observe la plus grande diversité de techniques traditionnelles de gestion de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des terres (ex. Haut Atlas, Rif, Burundi).

6.4. Evolution historique des stratégies de lutte antiérosive (LAE)

Depuis l'époque coloniale, les stratégies de protection des ressources en eau et en sol ont beaucoup évolué (Walker *et al.*, Smucker, Lilin, Roose). Jusque vers les années 1960, c'est le pouvoir central qui imposait des techniques mécaniques de petite hydraulique rurale (banquettes, terrasses, seuils dans les ravines) en vue de réduire l'érosion sur les versants, la destruction des équipements urbains, les inondations dans les plaines et l'envasement rapide des barrages. Vu l'absence d'entretien

par les bénéficiaires, les ONG ont commencé à prendre en compte l'efficacité des techniques biologiques mieux connues des paysans. Mais tant que le choix des opérations ne vise que la LAE, les paysans s'intéressent aux projets (trop courts) mais cessent d'entretenir les aménagements dès la fin du financement. Une troisième étape commence vers les années 1990, lorsque les projets sont basés sur le développement participatif du milieu rural comportant un diagnostic fin des processus en cause et des besoins des paysans, l'expérimentation des solutions affinées par les groupements de paysans en dialogue avec des animateurs, le choix de systèmes de cultures mieux rémunérés, l'intensification de la production en relation avec une amélioration des conditions environnementales et évaluation par les paysans et les spécialistes (ex . Brochet, Lilin, Roose). Devant l'impossibilité de traiter toute la surface des bassins versants, la tendance actuelle est de commencer par capter le ruissellement et les sédiments érodés dans les ravines humides où est installé un système de production très intensif qui améliore les revenus des paysans (arbres fruitiers, élevage et cultures associées) et réduit les risques d'inondation des plaines. Par la suite, la stabilisation des versants est entreprise progressivement avec des méthodes biologiques. Les interventions s'adressent à un groupement de paysans valorisant un site aménagé (qui a intérêt à l'entretenir) ; le projet prend en charge la formation des entrepreneurs, assure le commerce des intrants et oriente la production vers un marché d'avenir et vers la sécurité alimentaire. En retour, les déchets des agglomérations pourraient être compostés et améliorer le bilan des MO des terres cultivées en faveur des villes (Fernandes *et al.*) : cependant, vu le poids du compost et sa pauvreté chimique (coût par unité de nutriments), il est nécessaire de compléter le bilan nutritif par un apport complémentaire d'engrais minéraux plus concentrés.



Ambassade de France en Haïti

Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles

Editeurs scientifiques

Eric ROOSE, Hervé DUCHAUFOUR et Georges DE NONI

avec le soutien de

l'Université d'État d'Haïti

l'Université de Quisqueya

le SCAC de l'Ambassade de France en Haïti

l'Institut de recherche pour le développement (IRD)

IRD EDITIONS

Marseille, 2012