

**Protection des terres et gestion du ruissellement
à l'amont d'un lac collinaire
en zone méditerranéenne semi-aride.
Etude bibliographique pour le projet HYDROMED.**

par
Eric ROOSE
Agropédologue au LCSC de l'ORSTOM à Montpellier

INTRODUCTION

La lutte antiérosive peut avoir différents objectifs en fonction des acteurs du développement rural.

***L'agriculteur** souhaite profiter au max. des eaux de pluie pour optimiser la production de phytomasse sur sa terre et maintenir, voir même améliorer, la capacité de production de son capital foncier. En aménageant le système de production et les techniques culturales, il peut favoriser l'infiltration des pluies, stocker sur ou dans le sol l'eau nécessaire à l'évapotranspiration de ses cultures et gérer dans l'espace la biomasse dont il dispose pour fumer ses terres les plus productives. Mais ces aménagements ont un coût que ne peuvent pas toujours financer les plus démunis des paysans qui tentent d'assurer la subsistance quotidienne souvent au détriment de la protection du capital foncier (surpâturage, défrichement abusifs des terres fragiles, vente des résidus organiques et fumiers). L'objectif d'un agriculteur sera donc de réduire le volume des eaux de surface qui quittent ses parcelles et de réduire l'érosion et les transports des particules qui participent à la fertilité de sa terre.

***L'hydrologue** quant à lui souhaite optimiser l'utilisation des aménagements hydrauliques et remplir son barrage le plus souvent possible (en favorisant le ruissellement sur l'impluvium), tout en retardant le plus possible l'envasement du lac (en réduisant la charge solide du ruissellement).

***Le conservateur des eaux et des forêts**, ou l'aménagiste DRS-CES quant à lui est chargé par l'Etat de protéger le patrimoine foncier, de restaurer les sols et de conserver la qualité des eaux pour préserver les aménagements communautaires (hydrauliques, routiers, urbains, etc...). Il veille donc aux grands équilibres écologiques comme la reforestation des hautes vallées, la couverture végétale des montagnes et terrains pentus, le respect des pâturages communautaires. Il reçoit de l'Etat sa mission de préserver l'environnement pour l'intérêt majeur de la nation (Lilin, 1986). A ce titre, il a jusqu'ici imposé des aménagements hydrauliques pour gérer les eaux de surface, aménagements qui ne conviennent pas forcément aux intérêts immédiats des ruraux lesquelles jouissaient traditionnellement de droits d'usage.

Dans le cadre du projet HYDROMED, il s'agit d'étudier la possibilité de produire une ressource en eau de qualité acceptable pour les troupeaux et l'irrigation, mais également une ressource en eau la plus pérenne possible dans l'année et au cours des années.

Si cette eau provient des terrains communaux, il est souvent possible d'améliorer le couvert végétal et de corriger les ravines torrentielles pour réduire l'érosion et les apports solides.

Si l'impluvium (quelques km²) appartient à des particuliers, une négociation devra s'engager pour fixer les modalités d'usage de ces eaux de surface, tenant compte à la fois de l'intérêt des propriétaires d'utiliser ces eaux sur l'impluvium, de l'Etat qui a investi dans le barrage pour

assurer la sécurité de la ressource et des riverains du lac qui ont souvent sacrifié une partie des meilleures terres pour stocker les eaux de ruissellement.

Pour atteindre cet objectif, une série d'études seront entreprises sur une collection de lacs collinaires en Tunisie, au Maroc, en Syrie et au Liban, visant :

- *la caractérisation de la ressource en eau de surface (interface pluie-sol-réservoir) :
 - évolution des états de fermeture de la surface du sol (risque de ruissellement),
 - évolution du couvert végétal protecteur (risque d'érosion en nappe),
 - évolution saisonnière de la rugosité et de l'humidité de la surface du sol (état du réservoir du sol dont dépend la pluie d'imbibition).
- *la caractérisation chimique des eaux du réservoir,
- *la caractérisation des charges solides entrant et sortant du réservoir (risque d'envasement).
- *la discussion des stratégies traditionnelles, conventionnelles(CES/DRS) et participatives (GCES) de gestion des eaux de ruissellement, de la biomasse et de la fertilité des sols,
- *la discussion des modes de gestion des eaux et des techniques susceptibles d'optimiser la valorisation du barrage collinaire (beaucoup d'eau de qualité) tout en réduisant l'érosion sur l'impluvium et en respectant l'intérêt des propriétaires de l'impluvium.

L'objectif de cette première note est de présenter une revue bibliographique succincte des méthodes de lutte antiérosive observées dans cette zone méditerranéenne semi-aride dont la pluviosité est comprise entre 300 et 800 mm de pluie.

Nous résumerons d'abord l'évolution historique des stratégies de lutte antiérosive.

Ensuite nous présenterons brièvement les dispositifs antiérosifs et les techniques culturales les plus courantes en fonction de quatre modes de gestion des eaux (collecte du ruissellement, absorption totale, diversion et dissipation de l'énergie). Nous proposerons quelques indicateurs des risques de ruissellement et d'érosion et une réflexion sur les actions possibles à l'échelle de l'impluvium pour réduire les transports solides sans supprimer le ruissellement indispensable pour valoriser le lac collinaire. Enfin nous présenterons en annexe des ouvrages plus spécialisés et plus exhaustifs (El Amani, 1983, Heusch, 1993, Reij et al., 1988, Roose, 1994) et nous signalerons une liste d'ouvrages et d'articles récents sur l'érosion en milieu méditerranéen qui pourraient intéresser l'équipe HYDROMED.

1. Evolution historique des stratégies de lutte antiérosive

L'érosion est un ensemble de processus vieux comme le monde. Dès que la terre ferme s'est élevée au-dessus des flots, les eaux se sont acharnées contre elle pour la rabattre et former des plaines. Ce fut la lutte entre la formation des sols par l'altération des roches (pédogenèse) et la formation des paysages (morphogenèse) par la **combinaison de toute une série de processus** : l'érosion en nappe par la battance des pluies, l'érosion linéaire par l'énergie du ruissellement, l'érosion en masse par gravité, reptation mécanique par la poussée des outils de travail du sol, et enfin érosion éolienne en zones semi-arides.

Chacun de ces processus est associé à des conditions physiques spécifiques, mais **ils peuvent se succéder et combiner entre eux pour être plus efficaces**. Ainsi l'érosion éolienne ne devient importante en Afrique que dans la zone où les pluies annuelles ne dépassent pas 600 mm et la saison sèche dure au moins 6 mois consécutifs. Dans cette zone, les pluies préparent le matériau en battant la surface du sol et en séparant les sables et les limons, des argiles et des matières organiques servant de ciment dans les agrégats trop lourds pour être transportés par le vent.

L'érosion en masse demande que la masse d'un sol perméable soit imbibée d'eau jusqu'à dépasser le point de plasticité (reptation, solifluxion) ou jusqu'à saturer un plan de glissement. Cependant on trouve couramment en zone méditerranéenne semi-aride des paysages marneux, schisteux ou argileux en pente forte où la couverture pédologique glisse au-dessus de l'altérite imperméable. On observe aussi que le développement d'un processus (ex le ravinement) se prolonge par le démarrage d'un autre processus (ex. des glissements des berges des ravines) ou l'inverse (le ravinement se développant dans la blessure laissée par un glissement). Avec le temps si on n'intervient pas, l'érosion en nappe évolue souvent en érosion linéaire (griffes, rigole et ravine).

Les différents processus ont différentes causes et différents paramètres explicatifs modérateurs, mais ils sont souvent combinés ou évoluent au cours de leur histoire.

Il va falloir en tenir compte pour éviter de ralentir l'un, en créant les conditions pour en créer un autre. Ainsi, le creusement de fossés pour arrêter l'érosion en nappe a trop souvent entraîné la formation de ravines ou même de glissements de terrains dans la zone méditerranéenne de plus de 400 mm sur roches argileuses.

1.1. Les stratégies traditionnelles : leur efficacité est liée au milieu socio économique.

Très tôt les hommes ont été affrontés avec les problèmes d'érosion dès que les pressions foncières, militaires ou religieuses les ont poussés à s'établir sur des terres fragiles ou pentues. Les archéologues ont trouvé des traces de la lutte antiérosive datant de 7000 ans (Loudermilk, 1953). Les chinois ont découpé les collines en gradins depuis 4000 ans. Les voyageurs arabes auraient introduit les terrasses antiérosives en Afrique et dans le bassin méditerranéen il y a plus d'un millénaire. **Les terrasses méditerranéennes en gradins** ont été améliorées : les parcelles sont le plus souvent irriguées et des murs de pierres renforcent les talus. On retrouve des terrasses en gradins plus perfectionnées encore chez les Incas du Pérou (an 1400) où les murs sont constitués de blocs de roche si bien taillés et jointifs qu'une lame de couteau a du mal à s'y introduire. Mais cette technique sophistiquée ne s'est développée et n'a été entretenue que dans des conditions socio-économiques particulières : là où se sont exercées de fortes pressions démographiques, des pressions militaires ou religieuses (ex en pays Dogon). Dans des zones où on trouve peu de terres arables (sauf sur pentes fortes), des populations nombreuses et des bas salaires (car leur construction exige 1000 à 1600 jours de travail à l'ha). Leur entretien (très exigeant en main d'oeuvre) n'est assuré aujourd'hui que si les terrasses sont irriguées et produisent des cultures rentables (ex vigne, oranges et fleurs autour de la Méditerranée) ; nombreuses sont les terrasses aujourd'hui abandonnées parce que le travail est mieux rétribué en ville dans les industries.

A l'opposé nous pourrions citer **la culture itinérante sur brûlis**. Il s'agit d'une stratégie traditionnelle de gestion de la fertilité des terres observée depuis des millénaires sur les 4 continents. Elle est liée au pouvoir régénérant de la végétation naturelle qui envahit plus ou moins vite les terres abandonnées, fatiguées par l'exploitation de ses réserves minérales et organiques. En brûlant la végétation défrichée, l'agriculteur minéralise brutalement la minéralomasse accumulée depuis des dizaines d'années dans la biomasse. Les cendres améliorent le ph de l'horizon humifère, échappant ainsi à la toxicité aluminique des sols très acides (pH <4.8). La réalisation de ce capital de fertilité permet une culture durant 2 à 4 ans, après quoi la terre est abandonnée aux adventices et repousses arbustives envahissantes.

Ce système est parfaitement équilibré lorsqu'il s'agit d'une population très clairsemée vivant en autosubsistance sur des terres pauvres mais très étendues : il faut en effet 20 à 50 ans de jachère pour récupérer la fertilité initiale de cette terre selon la vigueur de la végétation et le climat. Mais dès que la population entre dans les circuits d'échange ou devient plus dense que 20 à 40 habitants par km², la durée de la jachère diminue et la fertilité se dégrade surtout si

l'érosion peut s'y développer. Ces stratégies traditionnelles sont donc efficaces mais seulement dans un milieu socio-économique donné.

Actuellement de nombreuses stratégies traditionnelles sont en recul et s'avèrent inadaptées aux problèmes actuels de dégradation des sols. En effet depuis 50 ans, la population a été multipliée par 2 à 4, les besoins monétaires ont crû, le travail est plus rentable en ville et la motorisation de l'agriculture a du mal à s'adapter aux limites des anciennes terres.

1.2. Les stratégies modernes d'équipement rural, introduites lors des crises de société

121. La restauration des terrains de montagne (RTM) est une stratégie inventée par les forestiers français lors de la crise de 1850 pour faire face aux dégâts créés par le surpâturage des terres communales dans les Alpes et les Pyrénées. La croissance du ruissellement, le développement de torrents impétueux et les dégâts causés aux réseaux de circulation et aux aménagements des vallées, ont amené les pouvoirs publics, au nom du bien public, à racheter les terres dégradées, à revégétaliser les hautes vallées et à corriger les torrents. Des travaux admirables ont été réalisés sur 1300 torrents (~50% des torrents connus), qui ont entraîné des investissements importants et des entretiens très coûteux depuis 150 ans (de l'ordre de 100 millions de FF/an). Le problème humain a été résolu par l'appel de main d'oeuvre pour le développement de l'industrie dans les villes et pour la colonisation outre mer. La lutte antiérosive n'est intervenue qu'une fois les dégâts suffisamment graves pour le bien public, sans tenir compte des intérêts immédiats de la société locale.

122. La conservation de l'eau et des sols (CES) est née aux USA en pleine crise économique de 1930. Les immigrants européens ignorant tout des risques d'érosion éolienne en zone semi-aride, ont labouré la Grande Plaine américaine et développé sur d'immenses surfaces la culture de plantes couvrant très mal le sol comme le maïs, le sorgho, l'arachide, le coton etc. Devant les nuages de poussières (dust bowl) obscurcissant le ciel en plein jour, l'Etat a été forcé par la pression de l'opinion publique de créer un service national d'aide technique et financière aux paysans volontaires en vue de conserver la productivité des terres et la qualité des eaux. Dans chaque comté, un agronome est chargé d'aider les propriétaires qui le souhaitent à planifier l'aménagement de leurs terres : essentiellement, culture en courbe de niveau et banquettes de diversion des eaux de ruissellement vers des exutoires aménagés. L'investissement de l'Etat se justifie amplement par la réduction du coût de traitement des eaux à l'aval.

Aux USA, cette stratégie a connu un certain succès car les terres sont riches et profondes (loess), mais en Afrique, les paysans ne s'intéressent à l'érosion qu'une fois que les problèmes sont sévères et les terres épuisées. Dès lors, pourquoi se fatiguer à conserver le sol épuisé, si le dur travail n'est pas compensé par l'amélioration de la production.

123. La défense et restauration des sols (DRS), s'est développée depuis 1940 dans le bassin méditerranéen. Devant l'importance des dégâts causés par l'érosion aux équipements, barrages, routes et villes, les forestiers ont été chargés de marier RTM et CES pour reforester les hautes vallées, corriger les ravines et protéger les terres cultivées sur les fortes pentes par des réseaux de banquettes de diversion ou d'absorption totale. Les restrictions imposées aux droits de pâturage dans les forêts et l'imposition de banquettes gênant l'exploitation des versants et réduisant l'espace cultivable, ont été mal acceptées par les paysans pauvres d'autant plus que ces dispositifs n'améliorent en rien les rendements des terres restantes. L'effort de compensation des aménagistes introduisant des cultures arbustives fruitières sur les banquettes, a souvent été interprété comme une tentative de l'Etat de mettre la main sur la propriété

terrienne. Les aménagements donnés par l'Etat n'ont pas été entretenus ou même ont été volontairement effacés à la charrue et les arbres arrachés ou broutés par les troupeaux.

124. En 1987, à Porto Rico, 150 experts et chercheurs ont débattu des causes des échecs et des réussites des projets de lutte antiérosive.

Aux USA, malgré 60 ans de CES et d'énormes investissements de l'Etat, il s'est avéré que 25% des terres cultivées perdent encore plus de 12 t/ha /an de terre, ce qui pose d'énormes problèmes pour restaurer la qualité des eaux consommées par les villes et les industries.

En Afrique, le monde rural refuse de perdre des terres cultivables et des pâturages déjà trop limités, contestent l'intérêt de dispositifs tels que les banquettes qui demandent de gros travaux et n'arrêtent pas la dégradation de la fertilité des terres. En Algérie, les hydrologues contestent la compétence des services forestiers qui, malgré les puissants moyens dont ils disposent depuis 50 ans, n'ont pas réduit la vitesse de sédimentation dans les réservoirs, ni l'importation de bois d'oeuvre. La production agricole n'a cessé de diminuer !

Pourquoi tant d'efforts et si peu d'effets sur la production?

1.3. Une stratégie moderne de développement rural : la GCES.

Principes nouveaux.

Une des causes principales des échecs étant la difficulté d'assurer l'entretien des aménagements antiérosifs, il s'avère nécessaire d'obtenir la participation paysanne dès la phase de préparation d'un projet pour assurer sa durabilité et pas seulement au moment de la réalisation.

Pour obtenir sa participation il faut rentrer dans la mentalité paysanne (tout effort doit être payé ensuite) et répondre d'abord à ses préoccupations essentielles à savoir améliorer la productivité de la terre et du travail.

Le défi est double : doubler la production en 20 ans, au même rythme que la population, ...et améliorer l'environnement du milieu rural.

Ceci s'est avéré possible en modifiant le système de production, en améliorant l'infiltration et la couverture végétale des champs et en gérant ensemble l'eau, la biomasse et la fertilité des sols.

Cette stratégie inverse les priorités classiques de la lutte antiérosive (concentrer ses efforts sur les terres les plus dégradées par des terrassements très spectaculaires et médiatisés) pour rechercher d'abord l'amélioration du système de production sur les terres productives en voie de dégradation (décompactation, fertilisation organique et minérale, forte production sur les meilleures terres et couverture des terres les plus sensibles). Choix de productions rémunératrices sur les meilleures terres ou sur les terres restaurées.

Cette approche demande un long cheminement et plusieurs étapes pas toujours compatibles avec le mode actuel de fonctionnement rigide de financement des projets :

*Sensibilisation du milieu au cours de 2 enquêtes : quels sont les problèmes d'érosion et quels facteurs modifier?

*Expérimentation des diverses solutions proposées chez les paysans pour estimer les risques, la faisabilité, l'efficacité et la rentabilité des mesures antiérosives. Evaluation des méthodes par les intéressés.

*Généralisation de la parcelle au versant , au terroir et au bassin versant.

Cette approche nouvelle est encore récente, mais elle a montré de grandes potentialités aussi bien en France, qu'au Burkina, Cameroun, Algérie, Rwanda, Cap Vert, Equateur.

Elle intéresse les producteurs qui sont amenés à prendre en charge l'environnement rural. Cette approche exige du temps car elle modifie profondément les mentalités tant des producteurs que des chercheurs et des bailleurs de fonds. C'est encore un vaste champs de recherche.

2. Les techniques antiérosives en milieu semi-aride.

Les techniques antiérosives peuvent être classées en fonction de quatre modes de gestion des eaux à la parcelle (techniques culturales) et sur le versant (dispositifs antiérosifs) en fonction des risques climatiques.

2.1. Capture du ruissellement : agriculture sous impluvium (runoff farming).

Si le climat est très aride ($P < 300$ mm), la production végétale sur les versants est tellement aléatoire qu'on préfère favoriser le ruissellement sur tout ou partie du versant et concentrer les eaux de surface sur de petites étendues cultivables. Cependant il arrive qu'on utilise ce mode de gestion des eaux de ruissellement en milieu tropical à saison sèche bien marquée ou lorsque la saison des pluies est trop brève pour assurer la fin du cycle cultural. Les exemples de techniques traditionnelles ou conventionnelles sont nombreux en milieu méditerranéen.

***Les micro-bassins** (microcatchment) sont des cuvettes récupérant les eaux de ruissellement d'un petit impluvium (10 m^2) pour irriguer un arbre fruitier. (Evenari et al., 1968). Une variante de cette technique, le ZAI, est utilisée traditionnellement au Mali, Burkina Faso et au Niger dans la zone de savane de 400 à 800 mm de pluie pour récupérer les terres dégradées (Roose, Kabore, Guenat, 1996).

***Les "jessours"** sont des petits barrages de terre construits manuellement ou mécaniquement dans le fond des vallées arides pour accumuler l'eau de ruissellement et les sédiments arrachés aux versants. Les exutoires latéraux permettent d'évacuer sans trop de danger pour la digue les crues excédentaires (sur la surface des versants). Sur la terre piégée derrière le seuil poussent des arbres fruitiers (figuier, dattier et olivier) et des céréales fourragères. (El Amani, 1983 ; Bonvallot, 1986 ; Roose, 1994).

***Les meskats** sont des terrasses en pente faible dont une partie(1/2) sert d'impluvium pour une zone cultivée (souvent en oliveraie) à l'amont d'une diguette en terre de 40 à 60 cm de haut, la tabbia, (El Amani, 1983).

***Les citernes** comportent également un impluvium, mais le ruissellement est concentré dans un réservoir, simple mare (magden) ou citerne cimentée, enfouie dans le sol : ce réservoir de quelques dizaines de m^3 permet une irrigation différée d'un petit jardin ou l'abreuvement du bétail (Bourges, Floret, Girard, Pontanier, 1979) .

***Les diguettes d'épandage** prélèvent sur les oueds une partie des crues pour les faire infiltrer dans les parcelles cultivées voisines (Reij, Mulder, Begeman, 1988). L'eau est stockée directement dans les sols des terrasses encadrant l'oued et la culture est installée juste après que l'eau de ruissellement s'est infiltrée. La diguette est construite rapidement au bulldozer : elle est souvent emportée si la crue est trop violente, mais sera rétablie en quelques coup de lame.

***Les barrages collinaires** dans ces zones arides sont souvent l'unique possibilité d'accumuler de l'eau douce pour la consommation des gens et des bêtes. Le volume d'eau stocké (50 000 à 1 000 000 m³) est généralement trop faible pour l'irrigation des grandes cultures, mais ils servent souvent d'irrigation d'appoint pour des jardins potagers et à l'abreuvement du bétail. La fréquence des années sèches où le réservoir reste vide ou peu rempli, ainsi que la vitesse d'envasement du réservoir limite l'intérêt de cette méthode pour l'irrigation de vergers fruitiers (à moins de choisir des fruitiers rustiques comme l'olivier ou l'amandier, qui n'ont besoin d'appoint d'eau que durant les premières années d'installation).

***Les techniques culturales** adaptées aux sols arides souvent instables, croûtant facilement, pauvres en matières organiques, sont le **travail localisé sur sillons à larges écartement** et les labours grossiers laissant dépasser une partie des résidus de culture (**stubble mulching**) lesquels permettent aussi de ralentir l'érosion éolienne.

Ces techniques de « capture du ruissellement » piègent localement une partie du ruissellement et des transports solides au début de chaque averse. Seules les plus grosses averses donnant lieu à des ruissellements très abondants et à une forte érosion viennent grossir les eaux du lac en aval : on peut craindre qu'elles aboutissent à une diminution significative du volume d'eau utile du lac collinaire et à une augmentation de la durée des périodes sèches. Leur action sur la vitesse d'envasement du lac collinaire est variable : les techniques qui piègent peu d'eau et beaucoup de sédiments (ex. jessour ou micro-bassins) pourraient réduire la vitesse d'envasement, par contre, si le piège ne laisse passer que les plus grosses crues, le bilan sur l'envasement risque d'être moins positif.

2.2. L'absorption totale des eaux pluviales

Si le climat est semi-aride (pluies comprises entre 300 et 500 mm ou sur les sols très perméables en zones tropicales), il est possible de cultiver les versants en améliorant l'alimentation hydrique des cultures en absorbant la totalité des eaux de pluie, quitte à stocker temporairement le ruissellement.

***Les fossés aveugles** sont dimensionnés pour stocker la totalité des eaux qui pourraient ruisseler durant les pluies. Il faut éviter cette technique chaque fois que les pentes sont fortes et la couverture pédologique peu épaisse, car ces fossés provoquent alors une infiltration localisée jusqu'aux altérites et des glissements de terrain (Rwanda sur pentes > 20% : Roose, 1994).

***Les banquettes d'absorption totale** sont des fossés larges, régulièrement travaillés dans le fond, pour pouvoir stocker puis infiltrer la totalité des eaux superficielles. Elles créent les mêmes problèmes que les fossés lorsqu'elles ont été construites sur marnes et autres terrains peu perméables sur des versants à pentes fortes. A cause des risques de glissement de terrain, cette technique est à proscrire sur marnes, schistes micacés et argilites sur pentes de plus de 20% (ex. Prérif, sur versants marneux : Robert, 1970).

***Les terrasses en gradins** sont formées de bandes cultivées horizontales séparées par des talus enherbés ou des murs de pierres sèches. Les terrasses méditerranéennes ont généralement un mur de pierres qui demande beaucoup d'investissement (~ 1000 jours de travail) et d'entretien. La zone de culture doit infiltrer toutes les eaux pluviales et reçoit souvent un appoint en eau d'irrigation.

***Les techniques culturales** qui tendent vers l'absorption totale des eaux de surfaces sont le **billonnage cloisonné** (qui stocke les eaux non infiltrées) et le **paillage épais** sur sol travaillé.

Ces techniques visant l'infiltration totale réduisent les volumes d'eau disponible pour le réservoir en même temps que les risques d'envasement . Elles ne peuvent nous être utiles dans le cas de l'aménagement d'un lac collinaire que si le lac déverse trop souvent et si leur extension est limitée dans le temps et/ou dans l'espace.

2.3. La diversion des eaux ruisselantes.

De nombreux techniciens de terrain ont constaté qu'à l'occasion des plus fortes averses, les terrains cultivés n'arrivent pas à infiltrer toutes les eaux de pluies. Dès 1939, Bennett, le père de la « Conservation de l'eau et des sols », propose de collecter dans un canal en faible pente (graded channel) les eaux de ruissellement avant qu'elles n'acquiescent une énergie capable de creuser des ravines et de les évacuer vers un « chemin d'eau », exutoire naturel ou aménagé (waterway). D'où une « famille » de techniques mécaniques visant à réduire les inconvénients du ruissellement plutôt qu'à réduire le volume ruisselé et sa charge solide. Nous avons relevé une dizaine de raisons pour lesquelles ces techniques mécaniques qui pourraient aider à réduire les dangers du ruissellement dans les terres argileuses des USA, ne sont pas adaptées aux conditions des sols et des sociétés africaines (pluies beaucoup plus agressives, peu de moyens pour l'entretien des canaux, perte de surface cultivable, difficulté à respecter scrupuleusement l'inclinaison croissante des fossés, sols sableux ou risques de mouvements de terre, etc : voir Roose, 1994).

***Les banquettes algériennes sont des fossés de diversion** en pente douce croissante (de 0.2 à 0.4 %), de longueur maximale de 400 m entre exutoires, qui interceptent les nappes d'eau de ruissellement sur les versants pour les conduire tranquillement vers des exutoires aménagés avant qu'elles n'acquiescent une énergie propre à creuser des ravines.

***Les bourrelets de terre de diversion** remplissent la même fonction, mais ici les parcelles vont évoluer progressivement en terrasses, car on n'entretient pas les fossés et les terres érodées poussées par le ruissellement et les outils de travail du sol se déposent à l'amont des bourrelets. Cependant on échappe rarement au risque de dégradation du bourrelet, débordement localisé et ravinement sur l'ensemble du versant.

***Le billonnage oblique**, en arrêtes de poisson, ou dans le sens de la pente, mais régulièrement drainés, permet d'évacuer les excès d'eau de pluie dans un exutoire aménagé, tout en réduisant la vitesse de circulation du ruissellement et donc son énergie érosive (Roose, 1994).

Dans le cadre de l'aménagement de l'impluvium d'un petit lac collinaire, on pourrait croire que cette approche qui consiste à évacuer les eaux de ruissellement en nappe avant qu'elles aient assez d'énergie pour développer une érosion linéaire est vraiment l'idéal : concentrer rapidement les eaux de surface dans le réseau de drainage linéaire pour éviter l'infiltration et l'évaporation tout en réduisant les risques d'érosion. Le risque se trouve dans la diminution du temps de concentration des eaux superficielles directement dans les petites rivières, la dégradation des berges sous l'effet des débits de pointe élevés, les sapements de berges, les glissements des versants, l'érosion du fond des rivières, etc.

2.4. La dissipation de l'énergie du ruissellement.

Au cas où les averses sont plus intenses que la capacité d'infiltration du sol, on peut gérer les nappes d'eau ruisselantes en veillant à les disperser tout au long du versant plutôt que de les concentrer dans des canaux et des exutoires lesquels posent de graves problèmes (Roose, 1994). On peut disperser l'énergie du ruissellement en maintenant leur vitesse inférieure à 25 cm/sec, vitesse qui correspond à l'énergie nécessaire à l'arrachement des particules du sol par le ruissellement (Hjulström, 1935). Cette dispersion tout au long du versant se fait d'une part, **par les techniques culturales entretenant la rugosité** et l'ouverture du sol (état motteux, nombreuses tiges d'herbes, adventices, litière, paillage, etc.)... et d'autre part, par des structures du type « **microbarrage perméable** » qui ralentissent temporairement l'écoulement, permettent une sédimentation partielle, un étalement de la crue, une réduction des débits de pointe de crue et donc des risques d'érosion des berges et de sédimentation dans le réservoir. (Roose, 1994)

***Les bandes enherbées** (1 à 4 m) et **les haies vives (Opuntia, aloès ou amandiers)**, milieux poreux où se multiplient les animaux fouisseurs, réduisent le ruissellement de 30 à 60 % et surtout les transports solides (jusqu'à 90% si la surface du sol est bien couverte par les touffes d'herbes ou un paillage) ,(Roose et Bertrand, 1981 ; Roose et Ndayizigiyé, 1994 ; Boli et Roose, 1996 ; Smolikowski et al., 1997) .

***Les alignements et cordons de pierres**, utilisent les cailloux qui encombrant la surface des sols cultivés, demandent peu d'entretien , ralentissent le ruissellement, étalent les crues , augmentent les temps de concentration, provoquent une sédimentation des particules grossières et filtrent les matières organiques, mais ne réduisent que très peu les écoulements de surface. (Lamachère et Serpantié, 1991, et Roose, 1994)

*** Les murets** exigent une construction soignée , des pierres plates de qualité et un entretien plus fréquent, mais ils occupent moins d'espace. L'érosion en rigole peut redémarrer en aval de ces obstacles perméables si les techniques culturales (labour grossier, paillage, gestion des adventices à la surface du sol) ne prennent le relais pour ralentir les eaux.(De Noni et Viennot, in Roose ,1994)

***Les talus enherbés** naissent naturellement de l'évolution des bordures de champs contre lesquelles on pousse la terre à chaque travail de la terre, sur lesquelles on rejette « les résidus de labour »(racines, cailloux, adventices). Plus la pente est forte et plus le travail du sol est répété, plus vite se forme ce talus (hauteur de 1 mètre en 4 à 10 ans)(Roose et Bertrand, 1991)

***Le labour grossier, et surtout le semis direct sous litière ou adventices herbicides et le paillage léger ou épais et l'empierrement de la surface (sous vigne par exemple)** sont des techniques culturales très efficaces pour dissiper l'énergie du ruissellement sur les terres cultivées peu couvertes.

Cette approche de la gestion des eaux de surface par la dissipation de l'énergie du ruissellement nous semble particulièrement adaptée au cas des impluvium des petits lacs collinaires car elle permet de préserver le ruissellement tout en le ralentissant, en filtrant les éléments grossiers et en réduisant les risques d'érosion linéaire lors des averses les plus dangereuses.

3. Les milieux favorables au ruissellement.

Lors du diagnostic de l'origine du ruissellement , de l'érosion et des transports solides il nous semble important de distinguer les surfaces favorables au ruissellement et à l'érosion.

3.1. Les facteurs favorables au ruissellement et à l'érosion

Types de surface	Abondance du ruissellement	Charge solide
1/ Roches nues cohérentes	+++++	+
2/ Roches nues peu cohérentes (marnes, argilite, schiste)	+++++	++++
3/ Sol caillouteux encroûté, (reg)	++++	+
4/ Sol nu compact, encroûté	++++	++
5/ Sol tassé, surpâturé, chemins	+++++	++

6/ Les sols érodés, peu profonds et/ou caillouteux sont plus vite engorgés et donnent plus de ruissellement que les sols profonds et perméables , lors des averses les plus abondantes.

7/ Les sols à structure de surface instable (par ex les loess et les sols sur grès fins et schistes) (limons+ sables fins) / (argile + 10. MO + fer+ Al libres + CaCO3 actif)>> 1, s'encroûtent rapidement, ruissellent vite et s'érodent beaucoup.

8/ Les labours grossiers profonds infiltrent d'autant plus d'eau que les sols sont argileux, riches en MO, caillouteux, bien structurés, bien agrégés, pH> 7, riches en fer libre et calcaire actif.

9/ La pulvérisation du sol par des disques, des herse rotatives, et surtout par des rouleaux (qui éclatent toutes les mottes de surface) accélère l'encroûtement et favorise le ruissellement et l'érosion.

10/ Les pentes douces produisent plus de ruissellement, mais moins d'érosion que les pentes fortes, car elles s'encroûtent plus vite (Roose , 1973).

11/ La longueur et surtout l'inclinaison de la pente peuvent exacerber l'énergie du ruissellement et l'intensité de l'érosion linéaire. Cependant, sur les terres fragiles encroûtées, l'érosion en rigole peut débuter sur des pentes faibles(< 2%) . (Roose, 1994)

12/ La couverture du sol améliore l'infiltration et réduit beaucoup les risques d'érosion. Cependant, la couverture par une litière ou végétation basse et rampante protège mieux qu'une canopée dressée car elle dissipe mieux l'énergie de la battance et aussi celle du ruissellement et favorise l'activité de la mésofaune qui creuse des galeries dans la terre. La surface du sol sous une canopée dressée est souvent fermée par une croûte de battance.

13/ La présence de cailloux à la surface du sol réduit les risques d'érosion et de ruissellement car ils protègent la structure de la surface du sol ; mais dès que la surface est encroûtée, les cailloux inclus dans la croûte augmentent le ruissellement, mais pas forcément la charge solide.

3.2. Les indicateurs du ruissellement et de l'érosion

La cartographie des risques de ruissellement demande l'observation rapide sur le terrain d'indicateurs signifiant des états de surface du sol de chacune des parcelles apparentes sur photo aérienne. Deux cartes doivent être tracées : l'état actuel de l'érosion (basée sur l'observation des types d'érosion sur les parcelles) et ensuite, s'inspirant de celle-ci, la carte des risques potentiels croisant les observations sur la typologie et les indicateurs modifiant l'intensité des risques.

321. Carte de l'état actuel à partir des observations sur la typologie de l'érosion

- * **La répartition de l'érosivité des pluies en fonction de l'orientation des versants** par rapport aux vents apportant les averses dangereuses ;
- * **La différence de profondeur du sol humifère** sous culture et forêt ;
- * **L'érosion en nappe** : pellicules, croûtes, coulées sableuses, demoiselles coiffées/micro-falaises ;
- * **L'érosion en griffes** (profondeur < 10cm);
- * **L'érosion en rigoles** de moins de 30 cm de profondeur;
- * **L'érosion en ravines** de plus de 30 cm : elles ne disparaissent plus après le travail du sol ;
- * **L'érosion en ravins de plus de 100 cm**;
- * **L'érosion en nappe ravinante** s'étale en largeur car elle est limitée en profondeur par un horizon cohérent ;
- * **Ravinement généralisé** lorsque la surface originale disparaît entre les ravins ;
- * **Glissement de terrain** (cicatrice en amont, plan de glissement et fissures, bourrelet en aval);
- * **Coulées boueuses** sans déformation de la surface (amincissement puis langue épaisse)
- * **La présence de mouillères**

322. Cartes des risques potentiels : évaluation des risques de ruissellement sur 1m² sous pluies simulées de fréquence 1/10 et évaluation des états de surface du sol.

- * **La pluie d'imbibition (Pi en mm) en sec et en humide ;**
- * **La capacité d'infiltration stabilisée en terrain humide (FN en mm/h) ;**
- * **La charge solide moyenne** (turbidité C en g/l) ;
- * **La capacité de stockage en eau du sol sur 20 cm** (H% à capacité au champ - H% pF 4.2) ;
- * **La macroporosité utile à l'eau (H max- Hcc en %) ;**
- * **Les surfaces fermées (SSF %= surfaces pellicules + croûtes + tassées + cailloux inclus) ;**
- * **Les surfaces couvertes (SSC %= canopée + litières + adventices basses + cailloux exclus) ;**
- * **L'indice de rugosité (R% à la chainette) ;**
- * **L'érosivité des pluies ;**
- * **La pente, l'érodibilité des sols et l'utilisation des sols.**

4. Propositions d'aménagement de l'impluvium d'un lac collinaire.

L'objectif est de réduire les transports solides sur un bassin de 10 km², (soit 1000 ha), et d'améliorer la production de biomasse de l'impluvium, sans trop restreindre le ruissellement lequel valorise l'investissement collectif que représente le lac collinaire.

4.1. Le mode de gestion des eaux de surface

411. L'infiltration totale est à éviter puisqu'elle va réduire directement le volume ruisselé disponible pour le lac. Cependant il peut arriver des exceptions locales, s'il convient de réduire les débordements trop fréquents ou trop abondants par l'exutoire, du fait d'une trop grande surface d'impluvium ou d'un volume de stockage trop réduit du réservoir.

412. La capture du ruissellement. L'ensemble du bassin servant d'impluvium pour une agriculture intensive située à l'aval du barrage, il faut éviter d'accélérer le ruissellement sur une telle surface (10 km²), de peur d'augmenter les débits de pointe de crue, de provoquer des déversements abondants à l'exutoire et d'accélérer l'envasement. On peut cependant imaginer quelques captures localisées du ruissellement si elles entraînent un fort piégeage des sédiments (ex. jessours ou micro-bassins).

413. La diversion des eaux de surface peut paraître la meilleure solution pour évacuer le plus possible d'eau de surface (réduction de l'évaporation) avec la moindre charge solide à travers un réseau de banquettes/fossés en pente douce vers un exutoire aménagé. Malheureusement ce système rassemble les eaux dans des canaux, contourne la rugosité du terrain, accélère le temps de concentration et réduit l'infiltration au champ, donc le stock d'eau disponible pour la production des versants. Le danger c'est qu'à la moindre erreur d'installation ou d'entretien, les eaux débordent des canaux et créent des ravines qu'on voulait justement éviter. Enfin les coûts des travaux de topographie et d'entretien sont très élevés et le reprofilage des exutoires naturels est indispensable vu la concentration des eaux de ruissellement d'un grand bassin. Par ailleurs, le réseau de banquette en pente douce, si difficile à réaliser sans défaut sur les versants irréguliers sont à proscrire sur les terrains argileux ayant tendance à glisser, comme les terrains marneux, schisteux, micacés et argilites (Roose, 1994).

414. La dissipation de l'énergie des eaux de ruissellement en nappe a été largement utilisée par les anciens dans des conditions physiques très diversifiées. Il s'agit d'étaler les eaux de ruissellement en nappe pour réduire sa vitesse à moins de 25 cm/seconde et réduire à néant son énergie propre à creuser des rigoles (Hjulström, 1935). Deux voies complémentaires sont utilisables: **augmenter la rugosité du sol** (labour grossier, enherbement partiel, paillage, mulch de pierres) et **créer des structures filtrantes** (cordons de pierres, murettes, bandes enherbées, talus enherbés) (Roose, 1986 et 1994).

4.2. Propositions pratiques

421. Dans la 1ère phase de diagnostic, observer et carter les zones d'où se dégage beaucoup de ruissellement et d'érosion à partir des indicateurs et des photos aériennes. Jeter les bases d'un SIG sur l'état actuel de la surface du sol (SSF et SSC), l'observation des manifestations de l'érosion, les paramètres explicatifs (érodibilité du sol, topographie, couvert végétal, occupation des sols, techniques culturales et dispositifs de gestion des eaux de surface). En tirer une carte des zones sensibles au ruissellement et à l'érosion.

422. Sensibiliser les exploitants des zones les plus vulnérables et procéder à une enquête pour préciser la façon dont les populations rurales **perçoivent les problèmes** de ruissellement et d'érosion, de dégradation et de restauration des terres, ainsi que leurs stratégies de gestion de l'eau et de la fertilité des sols.

423. Prévoir des actions intensives sur de petites surfaces (comme le réseau de drainage)

pour réduire l'érosion des berges, piéger les transports solides, créer des petits pôles de développement (**oasis linéaire**) qui ne captent qu'une faible partie du ruissellement disponible.

***Prévoir des petits seuils perméables** : cordons de pierres, seuils en grillage végétalisés.

***Aménager de petits jessours mécanisés** (Hmax=1.5m) à seuils latéraux : végétaliser les digues et sédiments.

***Végétaliser les fonds de vallées sèches** : des herbages au centre pour filtrer la charge solide et des arbres stabilisant les pieds de versant.

424. Orienter la mise en valeur de chaque parcelle du terroir après discussion avec les propriétaires et exploitants de l'impluvium :

***aménager les zones trop dégradées en impluvium** dont on capte les sédiments en aval (jardin irrigué);

***planter les sols profonds en arbres fruitiers à fort écartement ou en buissons fourragers** pour éviter de remuer le sol chaque année.

425. Si le terrain est pierreux, organiser le versant cultivé en une **succession de cordons pierreux** aboutissant progressivement à la formation de terrasses en pente douce.

Favoriser le recouvrement du sol par un lit de cailloux qui améliore l'infiltration, réduit la battance des pluies et l'évaporation (et les adventices). Le passage répété de herbes à dents plates déterrent les cailloux et laissent la terre fine s'insinuer entre les pierres ; à la longue , les adventices ont du mal à survivre au point qu'il n'est plus utile d'utiliser des herbicides .

Ces terres caillouteuses sont bien valorisées par la vigne et d'autres arbres fruitiers plantés à grand écartement en fonction de l'aridité locale.

426. Si le terrain est marneux, argileux, schisteux et la roche facile à altérer mais imperméable, il fournit beaucoup de ruissellement qui ravine rapidement le versant dès qu'il est défriché : sans aménagement il se transforme rapidement en badland et en « terres finies », incapables de stocker les eaux de surface. Ces terres argilo-limoneuses sont souvent très instables, susceptibles à la battance, au ravinement et aux glissements de terrain .

***Leur valorisation peut se faire soit par la mise au point de techniques intensives de cultures céréalières** alternées avec des fourrages fertilisés (ex à Médéa : Arabi et Roose, 1992) : **des bourrelets de terre** de 50 cm de haut tous les 20 m permettent de ralentir le ruissellement et de l'évacuer latéralement vers des seuils enherbés.

***Si le terrain est déjà dégradé par une série de rigoles**, on peut retravailler la terre aux dents, sous-solage, formation de terrassettes de diversion, enfouissement localisé de fumier et plantation d'arbustes fourragers dans les traits de soussoleuse, soit installer des arbres fruitiers rustiques tous les 10 m et une culture intercalaire en rotation céréale /légumineuse fourragère (vesce -avoine).

***Si le terrain est trop dégradé, le traiter comme un impluvium** qui fournit un maximum de ruissellement et récupérer en aval les sédiments pour constituer des » jardins de ravine ».

* **La restauration de ces terres dont la roche est rapidement altérée** comprend une série d'interventions :

-**sous-solage profond aux dents** et concassage des caillasses extraites,

-**formation de petites terrasses** sub horizontales à faible pente latérale,

-**stabilisation de la macroporosité par enfouissement de MO**, de gypse, de carbonates ou par culture de fourrage à fort enracinement,

-**enfouissement de fumier** pour revitaliser le sol minéral et améliorer sa capacité de stockage en eau et nutriments,

-**correction du pH du sol** par apport de chaux sur sols à pH< 5 et de MO et sulfate de fer si sols trop basiques,

-complément de fumure minérale pour corriger les déficiences alimentaires des cultures.

Si la restauration de la productivité des terrains en roches faciles à dégrader est possible techniquement, il faut estimer le coût et l'opportunité de l'opération : il est probable qu'en zone semi-aride, il soit plus rentable de considérer ces zones comme productrice d'eau à valoriser sur de meilleures terres en aval.

4.3. Propositions de recherches

Toute une série de recherches peuvent être entreprises sur l'impluvium pendant la période de son aménagement.

431. Etude de la perception des problèmes posés par l'aménagement de l'impluvium par les producteurs et propriétaires. Suivi du taux de participation aux discussions, enquêtes et actions et analyse de leur motivation. Analyse des stratégies paysannes de gestion des eaux superficielles, de la biomasse et des nutriments.

432. Analyse des choix de techniques antiérosives et suivi de la mise en place et du fonctionnement et de l'entretien des dispositifs antiérosifs.

433. Analyse du coût des dispositifs antiérosifs en main d'oeuvre, transport et matériel. Influence de la prise en charge des coûts d'installation et d'entretien des dispositifs (l'Etat, la région, les privés concernés) sur l'entretien des dispositifs. Aspects socio-économiques de la lutte antiérosive.

434. Réintroduction d'une couverture végétale diversifiée, adaptée aux zones de drainage du ruissellement (par exemple derrière les seuils dans les ravines). Sélection massale des espèces les mieux adaptées et suivi de leur croissance dans diverses situations écologiques.

435. Etude du ruissellement et de l'érosion sur l'impluvium et de la sédimentation dans le lac collinaire. En plus des expériences au simulateur de pluie pour définir la fragilité de chaque situation, il s'agit de mettre en place des pièges témoins de l'abondance du ruissellement sur les différentes parcelles de l'impluvium et des échelles de crue avec pièges témoins de la charge solide sur le réseau de ravines.

436. Comparaison du coût et du fonctionnement de divers aménagements de ravines avec des moyens peu coûteux, disponibles localement, pour réduire les transports solides et valoriser les sédiments piégés par des végétations fixatrices et productives (fourrage, bois, fruits). Construction de la fertilité et de la capacité productive de ces sédiments minéraux.

437. Etude de la gestion des fumures organiques au sein des exploitations et des possibilités d'introduire des déchets urbains en particulier pour la restauration de la productivité des terres dégradées et pour l'amélioration des terres irriguées.

5. Conclusions

5.1. La majorité des études sur les lacs collinaires abordent les problèmes hydrologiques (écoulements = f pluies ; fréquence des sécheresses ; gestion de la ressource), la qualité des eaux de surface, la gestion des eaux collectées sur les terres irrigables situées en aval, résultat économique de l'opération.

Nous cherchons ici à définir une démarche originale visant l'aménagement de l'impluvium en tenant compte à la fois du désir de l'Etat de valoriser durablement son investissement (un réservoir d'eau de taille moyenne, dont il faut maximiser la disponibilité en eau et ralentir l'envasement), et du souhait des propriétaires du bassin versant qui souhaitent améliorer la production de biomasse de leurs terres servant d'impluvium, en particulier pour l'élevage.

5.2. On a vu que la GCES, stratégie moderne de développement rural participatif pouvait servir de cadre de réflexion et d'action pour atteindre ces deux objectifs distincts sinon opposés : remplir le lac le plus souvent possible et développer le couvert végétal pour réduire les transports solides et l'envasement du réservoir.

5.3. On a montré que le mode de gestion des eaux de l'impluvium doit généralement passer par la dissipation de l'énergie du ruissellement, avec un ralentissement des temps de concentration, un étalement des crues et une réduction des débits de pointe de crue, les plus dangereux du point de vue des transports solides et de l'érosion sur les champs et dans le réseau de drainage.

5.4. On a sélectionné une démarche pour atteindre les deux objectifs :

*enquête sur la perception des problèmes par les ruraux et sur la façon dont ils conçoivent la lutte antiérosive,

*cartographie des zones à fort risque de ruissellement à l'origine de l'érosion (indicateurs),

* discussion et contractualisation des actions menées pour améliorer la gestion des versants,

* valorisation des vallons par piégeage des sédiments (seuils perméables) sur de faibles surfaces,

* régularisation du stockage et du débordement de l'exutoire du barrage par des actions localisées de captage et d'irrigation d'appoint,

* régénération de la capacité de production des meilleures terres et organisation des terres trop dégradées comme impluvium produisant des eaux de surface à valoriser en aval.

L'ensemble de l'étude et surtout sa réalisation exigera probablement plus de temps que les 3 années prévues pour le projet HYDROMED.

5.5. Toute une série de recherches pourraient conforter le suivi des aménagements qui visent à comprendre les réactions des producteurs et propriétaires de l'impluvium, à améliorer la gestion des eaux disponibles, de la matière organique et des nutriments. Vu le rôle majeur des matières organiques à la fois sur la stabilité des terres, sur leur productivité et sur la pollution de l'environnement, nous proposons qu'une étude particulière soit entreprise sur l'usage des fumures organiques disponibles dans les exploitations mais aussi des déchets urbains (intérêt majeur du LCSC de Montpellier).

Fiches bibliographiques

Fiche 1 : Heusch B. , 1985. -

Techniques de lutte contre l'érosion. Cours CNEARC Montpellier, 199 p.

L'auteur a une très vaste expérience des problèmes de lutte antiérosive , en particulier en milieu semi-aride méditerranéen (Algérie, Maroc, Iran, etc) et présente une mise au point des techniques de lutte antiérosive en fonction des divers processus.

Erosion en nappe (50 p.) :

Il traite de la cartographie de l'érosion pluviale , du modèle USLE, et des traitements des zones de culture et de parcours avec une abondante liste bibliographique.

Correction des entailles linéaires (50 p.)

Il aborde les processus de ravinement et de dégradation des berges, la cartographie, la fixation des ravines actives, la protection des pistes et la mesure des processus.

Le traitement des mouvements de masse (20 p.)

L'auteur décrit les processus et les interventions possibles pour les éboulis, glissements, coulées boueuses et laves torrentielles.

L'aménagement des bassins versants.(40 p.)

L'auteur analyse l'évolution de la politique française de protection du domaine montagnard (116 000 km², soit 21% du territoire) qui abrite 6% de sa population. Depuis la loi de RTM de 1860, 525 000 ha ont été délimités, 250 000 ha ont été boisés, 1300 torrents actifs sur 2000 ont été traités au moyen de 93 000 ouvrages de maçonnerie nécessitant la création de 10000 km de pistes. En 1975, le fonctionnement du service RTM coûtait 50 millions de FF. L'évolution actuelle des problèmes (pistes de ski, protection des barrages) entraîne une évolution des techniques (engazonnement, gros ouvrages en béton, lutte contre les mouvements de masse) et la prise en charge d'une partie des frais d'aménagement par les autorités locales. Après un chapitre sur la planification des aménagements, l'auteur analyse les résultats des aménagements sur les transports solides, sans aborder les aspects économiques.

L'érosion éolienne (25 p.)

L'érosion éolienne se déclenche pour des vitesses de vent de l'ordre de 3 à 5m/seconde. L'auteur décrit ensuite la dégradation des sols sableux, la reprise des dunes anciennes et la fixation des dunes sableuses ou limoneuses le long des voies de communication.

L'auteur tire enfin **quelques conclusions** intéressantes :

μ Seule , la Communauté européenne contrôle efficacement les pertes en terre, ailleurs l'érosion dépasse largement la formation du sol.

*Le débit solide des rivières atteint en moyenne 200t/km²/an avec des maxima 10 à 100 fois plus élevés en zone marneuse cultivée et en région à forte orogénie ;

*Les rivières déversent 15.5 milliards de tonnes de terre par an dont les 9/10 en suspension. L'érosion chimique(20 t/km²/an) apporte 4.5 milliards de t/an de sels solubles à l'océan.

*L'érosion éolienne est 50 fois moins importante : L'apport de poussières à l'océan est de 1.3 milliards de t/an dont 75 % proviennent des explosions volcaniques.

*C'est la Nation qui doit prendre en charge le coût financier de la lutte contre l'érosion

*La coordination des travaux d'aménagements de bassin exige une bonne planification et permet l'utilisation d'une grande quantité de main d'oeuvre non spécialisée.

L'ouvrage contient des très **nombreuses références bibliographiques**

Fiche 2

El Amani S., et al., 1983. - Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie. CRGR Tunis, 69 p.

Cet ouvrage déjà ancien donne une carte de répartition des ouvrages traditionnels en Tunisie et décrit les lacs collinaires, les terrasses et banquettes, les meskats et jessours, les digues fusibles dans les oueds, les puits de surface, les citernes de stockage des eaux domestiques (de 50 à 200 m³).

Suivent deux études détaillées des meskats et jessour.

Les meskats couvrent 300 000 ha en bordure du littoral tunisien sahéien (Pluie a.m. = 320 mm Pam 1/10 = 550 mm) sur des pentes de 3 à 10%. Les pluies journalières peuvent atteindre 42 mm 1/2 ans à 110 mm/j 1/10 ans et 250 mm/j une fois en 50 ans. Les coefficients de ruissellement peuvent dépasser 62% avec une moyenne annuelle de l'ordre de 30%.

Le rapport entre la dimension de l'impluvium (meskat) et la zone cultivée (manka) qui reçoit les eaux de ruissellement dépend de la pluie (P), du ruissellement (Kr%) et des besoins des plantes cultivées (ETR) :

$$SMe/Sma = ETR - P/P \times Kr \approx 2 \text{ près de Sousse}$$

Pour contenir les eaux de ruissellement dans les cuvettes, il faut construire un bourrelet (tabbia) de 20 à 50 cm de haut. Mais avec l'explosion démographique, on observe une augmentation des surfaces cultivées au point que le rapport de surface tend vers 0.7.

L'entretien de ces aménagements bien adaptés au milieu sahéien ne dépasserait pas 60 journées de travail.

Les Jessours couvrent 400 000 ha dans la zone aride montagneuse de Matmata, Sud tunisien sur des terrains calcaires ou argilo-sableux gypseux

La pluviosité moyenne varie de 150 à 250 mm/an, mais les orages peuvent atteindre 200 mm/jour. Les coefficients de ruissellement peuvent atteindre 90 % pour les bassins de < 10 km². Le rapport de surface S Impluvium/S jessour varie de 4 à 6. Il faut donc environ 5 ha de collines arides dénudées pour alimenter 1 ha cultivé sur jessour.

La tabia, barrage en terre de 2 à 5 m de haut et de 15 à 40 m de long, est protégé à l'aval par un mur de pierres sèches : elle barre le vallon et accumule les eaux de ruissellement et les sédiments arrachés aux versants du ravin. Le barrage comporte un exutoire latéral à l'une ou aux deux extrémités (memfess), mais actuellement on construit souvent un exutoire central (mesraf), en pierres taillées en escalier. Le jesser (pluriel jessour) est la surface de sédiments cultivée annuellement en céréales (orge), en légumineuses (fèves, lentilles, pois) et plantée d'arbres fruitiers adaptés à l'accumulation des sédiments (dattiers, oliviers, figuiers à 40 pieds /ha). Cet aménagement demande un travail considérable pour aménager finalement de très petites surfaces (ex. 30 tabias pour 1.7 ha de terres cultivables à la merci d'un orage exceptionnel). Beaucoup de ces ouvrages ont été endommagés et abandonnés après les pluies diluviennes de l'automne 1969. La cause essentielle de ces abandons est la migration de la main d'oeuvre.

L'Etat a favorisé la restauration et l'extension des jessours grâce à la mécanisation de la construction des barrages et à l'introduction de gabions et maçonnerie pour les déversoirs.

LIRE AUSSI :

Bonvalot J., 1979. - Comportement des ouvrages de petite hydraulique dans la région de Médénine (Sud tunisien) au cours des pluies exceptionnelles de mars 1969.

Fiche 3.

Roose E., 1994. - Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES).

English version: "Land husbandry : components and strategy"

Bulletin Pédologique FAO, Rome, n° 70, 420 p.

Il s'agit d'une synthèse de trente années de recherche dans le domaine de la conservation des sols essentiellement par des équipes francophones en Afrique, en Amérique latine et en France.

L'auteur présente une approche nouvelle des problèmes posés par l'érosion et la dégradation de l'environnement rural : il prend le parti du paysan et propose une approche plus optimiste et constructive que les écologistes conservateurs des eaux et des sols.

Dans une 1ère partie (82 p.), l'auteur analyse d'abord les concepts qui englobent la lutte antiérosive, la diversité et la discontinuité des processus d'érosion, les objectifs des différents acteurs et la signification de l'érosion accélérée en tant que indicateur du dysfonctionnement du paysage et de la société. Il analyse ensuite l'évolution historique des stratégies de lutte antiérosive depuis les méthodes traditionnelles liées à des conditions socio-économiques précises. Il note que les stratégies modernes naissent dans des époques de crises de la société et visent l'équipement en petite hydraulique du milieu rural pour le bien commun, ce qui n'est pas toujours toléré par les producteurs ruraux. Devant l'échec de la majorité des projets de protection ou de restauration des sols, il propose une nouvelle stratégie participative, la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES ou Land husbandry) qui met l'accent sur l'amélioration des rendements en biomasse pour valoriser la terre et le travail. Enfin, il aborde quelques aspects économiques de l'érosion et de cette nouvelle stratégie.

Dans la deuxième partie (180 p.), la LAE est étudiée en fonction des 5 processus les plus couramment observés à l'échelle du paysan, l'érosion mécanique sèche due à la pression des outils de travail du sol, de l'érosion en nappe, la plus courante mais aussi la plus pernicieuse parce que peu visible, l'érosion linéaire spectaculaire et la plus reconnue, l'érosion en masse caractéristique de certaines lithologies, et l'érosion éolienne dont les conséquences et les processus sont proches de l'érosion en nappe. Pour chaque processus d'érosion, on présente d'abord les indicateurs, la typologie des manifestations, les facteurs ou paramètres modifiant leur efficacité et les méthodes de lutte adaptés aux faibles moyens des paysans et à leur objectif de production.

Fiche 4.

Roose E., Arabi M., Brahamia K., Chebbani R., Mazour M., Morsli B., 1996.

Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Réduction des risques érosifs et intensification de la production agricole par la GCES : synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion. Cahier ORSTOM Pédol., 28, 2 : 289-308.

Deux instituts de recherche (INRF et ORSTOM) ont décidé d'unir les efforts d'une douzaine de chercheurs pour tester une nouvelle approche de la lutte antiérosive visant à la fois la valorisation des terres par l'intensification et la réduction des risques érosifs en milieu rural.

Cet article présente une synthèse des mesures de ruissellement, d'érosion et de production de biomasse sur un réseau de 50 parcelles (de 100 m²) réparties dans 4 régions montagneuses (pentes de 12 à 40 %) s'étagant de 400 à 900 m d'altitude et recevant de 300 à 600 mm de pluie. Divers couverts végétaux furent comparés à la jachère nue travaillée (risque maximal et témoin universel) : des systèmes de production régionaux (blé, fève, fourrage, vigne, verger, parcours) et des systèmes améliorés (fertilisation, semences sélectionnées, pesticides et herbicides, rotation céréale/légumineuses, cultures associées au verger et à la vigne, enrichissement de parcours).

Durant cette décennie, les pluies au nord-ouest de l'Algérie ont été déficitaires et peu agressives, à part quelques orages de fréquence rare (100 à 400 mm en 1 à 5 jours) qui laissent des blessures profondes dans le paysage.

Le ruissellement a été modeste sous végétation naturelle ou cultivée ($K_{ram} = 1$ à 11%), sauf lorsqu'une grosse averse est tombée sur des terres saturées, tassées, dénudées ou encroûtées : dans ce cas, le ruissellement a pu atteindre 30 à 85% et causer beaucoup de dégâts sur le versant.

L'érosion en nappe et rigole a été modérée tant en milieu cultivé que naturel ($E = 0.1$ à 3 t/ha/an) : elle a atteint 20 t/ha/an sur sol fersiallitique rouge sur un versant nu de 35% de pente (ce qui ne représente que 1/35 de ce que nous avons mesuré en Côte d'Ivoire). La faiblesse relative de l'érosion s'explique par les pluies déficitaires, mais surtout par la bonne résistance des sols à l'érosion en nappe ($K = 0.002$ à 0.02) due à la richesse des sols en cailloux et en argile saturée de calcium.

Curieusement, on n'a pas observé de relation étroite entre la pente % et le ruissellement ou l'érosion. Cela remet en cause la pratique systématique des terrassements dont l'écartement est calculé d'après la pente uniquement (voir équations de Saccardi, Ramser, etc.). Un diagnostic approfondi est donc nécessaire sur chaque colline pour comprendre le fonctionnement du versant et avant d'entreprendre son aménagement.

Les rendements en "culture améliorée" à Ouzera, passent de 7 à plus de 45 quintaux /ha pour le blé d'hiver, de 28 à plus de 40 quintaux/ha pour le raisin, auxquels il faut ajouter 3 tonnes/ha de blé ou de fèves en culture associée. De plus la paille et autres résidus de culture voient leurs rendements augmenter très nettement (de 2 à 22 quintaux/ ha.) de telle sorte que la production animale et la disponibilité en fumier peuvent aussi se développer.

Le revenu net a été multiplié par 3 à 20 selon le système de production choisi. La capacité de nourrir la population sur un terroir montagneux a donc été augmentée. L'amélioration des systèmes de culture et la GCES ont permis d'accroître la productivité des terres et de réduire les risques érosifs, à condition que les pluies soient suffisantes pour valoriser les intrants ($P > 400$ mm).

Mots clés : Algérie, montagne méditerranéenne, semi-aride, GCES, érodibilité des sols, facteur pente, sols rouges fersiallitiques, sols bruns calcaires, vertisols, amélioration des techniques culturales, érosion, ruissellement, rendement, revenu net.

Autres références utiles

- Arabi M., Roose E., 1993. - La GCES, une nouvelle stratégie de LAE en montagne semi-aride algérienne. Bull. Réseau Erosion 13 : 230-240.
- Avenard J.M., 1995. - Dynamique érosive actuelle et actions humaines dans le Prérif (Maroc) Bull. Réseau Erosion 15 : 394-407.
- Barale V., Meyer-Roux J., Schmuck G., Churchill P., 1997 - Times series of remote sensing data in the mediterranean basin ; complementary tools for environmental applications, in Remote sensing 1996, Rotterdam, 11-19.
- Barthès B., De Noni G., Guillerm C., Roose E., 1997. Pratiques culturales et érosion dans les Rougiers de Camarès (Aveyron, SO de la France). Bull. Réseau Erosion 17 : 145-151.
- Beaudet G., 1962 - Types d'évolution actuelle des versants dans le Rif occidental; rev. Géogr. Maroc, n° 1-2, pp. 41-47.
- Beaudet G., Martin J., Maurer G., 1964 - Remarques sur quelques facteurs de l'érosion des sols, Rev. Geogr. Maroc, n°6, pp 65-72.
- Benchetrit M., 1972 - L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie, Un. Poitiers, PUF, 216 p.
- Bergaoui M., Camus H., 1995. - Impact des travaux antiérosifs sur les crues et les transports solides de micro-bassins semi-arides tunisiens. Bull. Réseau Erosion 15 : 362-381.
- Bergsma E., 1997. - Méthode de terrain pour estimer le degré d'érosion à partir des formes du microrelief. Bull. Réseau Erosion 17 : 297-303.
- Birot P. (Hommage à), 1984 - La mobilité des paysages méditerranéens, Revue de Géographie Pyr. S.-Ouest, Trav. II, Toulouse, 387 p.
- Bonvallet J., 1986. - Tabias et jessours du Sud tunisien. Agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion. Cah. ORSTOM Pédol., 22,2 : 163-172.
- Bourges J., Floret C., Girard G., Pontanier R., 1979. - Etude d'un milieu représentatif du sud tunisien type Segui : la citerne Telman (1972-77). ORSTOM /DRES, Tunis, 147 p .
- Brochot S., Meunier M., 1995. - Erosion de badlands dans les Alpes du sud. Synthèse. In C-R de recherches n° 3, BVRE de Draix, France, pp. 141-175.
- Chebbani R., Belaidi S., 1997. Etude de la dynamique du ravinement : suivi de 2 couples de ravines près de Tlemcen, Algérie. Bull., Réseau Erosion 17 : 152-160.
- Chebbani R., 1995. - Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le BV de l'ISSER Tlemcen, Algérie. Thèse de magistère, Univ de Tlemcen, Algérie : 125 p.
- Delhoume J.P., 1981. - Etudes en milieu méditerranéen semi-aride : ruissellement et érosion en zone montagneuse de Tunisie centrale (Djebel Semmama). Campagnes 1975-79. Tunis ORSTOM/DRE, 187 p.
- In "Processus et mesure de l'érosion, 1987, CNRS : 487-507.
- Demmak A., 1982. - Recherche d'une relation empirique entre les apports solides et les paramètres physico-climatiques des bassins versants. AISH, 144 : 403-414.
- Dumas J., 1965. Relations entre l'érodibilité des sols tunisiens et leurs caractéristiques analytiques. Cahier ORSTOM Pédol., 3,4 : 307-333.
- De Noni (G.), Viennot (M.), 1990 - De l'approximation cartographique aux réalisations de terrain : la lutte contre l'érosion agricole dans les Andes équatoriennes. in "Les sociétés rurales de montagne (Andes et Himalaya)". Université de Grenoble - CNRS, p. 61-65 .

- De Noni (G.), Trujillo (G.), Viennot (M.), 1994 - L'érosion agricole dans les Andes d'Equateur - Phénomène naturel ou phénomène historique, in Bull. Pédol. de la FAO n° 70 (GCES, E. Roose), Rome, pp. 353-362
- Evenari M., Shanani L., Tadmor N., 1968. - Runoff farming in the desert. *Agron J.* 60, 1 : 29-38.
- Fay G., 1993. - Comment lutter efficacement contre l'érosion dans les montagnes rifaines et telliennes. *Bull. Réseau Erosion* 13 : 266-273.
- Finch J.W., 1997 - Monitoring small dams in semi-arid regions using remote sensing and GIS, *Journal of Hydrology* 195, 335-351
- Gréco J., 1979. - La défense des sols contre l'érosion. La Maison Rustique, Paris, 183 p.
- Heusch B., 1970. - L'érosion du Pré Rif. Etude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré Rif occidental. *Annales Recherches forestières au Maroc*, 12 : 9-176.
- Heusch B., 1986. - Cinquante ans de banquettes de DRS en Afrique du Nord : un bilan. *Cah. ORSTOM Pédol.* 22, 2 : 153-162.
- Heusch B., 1995. - Pourquoi la banquette CES diminue les rendements et augmente l'érosion? *Bull. Réseau Erosion* 15 : 317-326.
- Kaabia M., Boufaroua M., Elhaj B., Hassen H., 1993. Impact des techniques douces antiérosives en Tunisie. *Bull. Réseau Erosion* 13 : 185-187.
- Kaabia M., 1995. Effets de quelques cultures sur l'érosion, le ruissellement et la fertilité du sol dans le semi-aride tunisien. *Bull. Réseau Erosion* 15 : 382-393.
- Kayser B. 1961 - Recherches sur les sols et l'érosion en Italie méridionale, Lucanie, SEDES, Paris, 127 p.
- Kouri L., Vogt H., 1996. - Détermination de la sensibilité des terrains marneux au ravinement au moyen de SIG (Algérie). *Bull. Réseau Erosion* 16 : 412-438.
- Kouri L., Vogt H., Gomer D., 1997. Analyse des processus d'érosion hydrique linéaire en terrain marneux : BV de l'oued Mina, Algérie.
- Laouina A., 1992. - Recherches actuelles sur les processus d'érosion au Maroc. *Bull. Réseau Erosion*, 12 : 292-299.
- Laouina A., Chaker M., Naciri R., Nafaa R., 1993. - Erosion anthropique au Maroc *Bull. Réseau Erosion* 13 : 248-265.
- Laouina A., 1997 - Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb, Réseau Erosion-ASSS, Québec, 23 p. Multig. (à paraître bull. 18).
- Lefay O., 1986. - Etude de l'efficacité des travaux de DRS en Algérie. *Mémoire CNEARC-ORSTOM-INRF*, Montpellier, 50 p.
- Le Landais F., Fabre G., 1996. - Plan d'aménagement antiérosif du BV de l'oued OUERGHA (Maroc). Risques d'érosion et SIG. *Bull. Réseau Erosion* 16 : 439-443.
- Lowdermilk W.C., 1949. - Erosion and soil conservation in Algeria. *Alger, Service DRS et hydraulique*, P?.
- Maachou B., 1993. - Erosion et régime foncier sur les bassins algériens. *Bull. Réseau Erosion* 13 : 241-244.
- Masson J.M., 1971. - L'érosion en climat méditerranéen. Méthode expérimentale de mesure à l'échelle du champ. Thèse doct.ing. Montpellier, 213 p.
- Maurer G., 1979 a - Les milieux naturels et leur aménagement dans les montagnes humides du domaine rifain et tellien d'Afrique du Nord, Méditerranéen n° spécial, L'homme et son milieu naturel au Maghreb, pp. 47-56.
- Maurer G., 1979 b - Les contraintes physiques dans la vie humaine des montagnes telliennes d'Afrique du Nord, in Actes IV^{ème} Colloque de géographie maghrébine, cah. CERES, sér. Géog., 4, t.1 : L'homme et la montagne, pp. 17-28. Vaudour J., 1962 - L'érosion des sols à Auriol, Méditerranée, pp. 73-80.

- Mazour M., 1992. - Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin d'ISSER-Tlemcen (Algérie). Bull. Réseau Erosion 12 : 300-313.
- Menon S., Kamaljit S. Bawa, 1997 - Applications of GIS, remote sensing, and a landscape ecology approach to biodiversity conservation in the western Ghats, Current science, vol. 73, n° 2, 134-145.
- Merzouk A., Blake G.R., 1991 - Indices for the estimation of interrill erodibility of moroccan soils, Catena, vol. 18, 537-550.
- Merzouk A., Fenjito I., Laouina A., 1996. - Cartographie des formes d'érosion dans le Rif occidental (Maroc). Bull. Réseau Erosion 16 : 444-456.
- Monjauze A., 1962. Rénovation rurale : rôle des dispositifs d'infiltration. Délégation Générale, Dept Forêts, Service DRS d'Alger, 16 p.
- Morsli B., 1996. - Caractérisation, distribution et susceptibilité à l'érosion des sols de montagne. Cas des Monts de Beni-Chougrane, Mascara, Algérie. Thèse de magistère, INA, el-Harrach, Algérie 144 p.
- Neboit R., 1990 : Erosion des sols et colonisation grecque en Sicile et en Grande Grèce. Bull. Assoc. Géogr. Fr., pp. 5-13.
- Olivry C., Hoorelbeck J., 1989. - Erodibilité des terres noires marneuses de la vallée du Buech, Alpes du Sud, France. Cah. ORSTOM Pédol., 25, 12 : 95-110.
- Pontanier R., 1988. Synthèse bibliographique sur la maîtrise et l'utilisation des eaux de ruissellement, CES en zones arides. ORSTOM, Tunis, 33 p. multigr.
- Plateau H., 1976 - La défense et la restauration des sols depuis l'indépendance du Maroc, Rev. forestière française, pp. 231-238.
- Power CH., Rosenberg L.J., Downey I (Ed.), 1996 - Remote sensing and GIS for natural resource management, University of Greenwich, 133 p.
- Putod R., 1956. - La protection des vignes contre l'érosion Revue Agronomie d'Afrique du Nord. n° 92 : 567-576.
- Raynal R., 1973 - Occupation humaine améliorée ou évacuation ? Place de la montagne dans l'aménagement régional du Maghreb, Etudes géographiques offertes à J. Despois, pp. 331-337
- Reij Ch., Mulder P., Begeman L., 1988. Water harvesting for plant production. World Bank Technical paper n°91, 123 p.
- Robert R., 1970. - Comportement des systèmes antiérosifs de l'Administration forestière au Prérif. Bull. Liaison Ing. forestiers du Maroc, 2 : 33-46.
- Roose E., Bertrand R., 1971. - Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest. Agron. Trop. 26, 11 : 1270-1283.
- Roose E., 1986. - Terrasses de diversion ou microbarrages perméables? Cah. ORSTOM Pédol., 22,2 : 197-208.
- Roose E., 1987. - Evolution des stratégies de LAE. Nouvelle démarche : la GCES. Séminaire INRF de Médéa, Algérie. Bull. Réseau Erosion 7 : 91-96.
- Roose E., 1991. - Conservation des sols en zones méditerranéennes. Synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de LAE : la GCES. Cah. ORSTOM Pédol., 26, 2 : 145-181.
- Roose E., Kabore M, Guenat C., 1996. - Le zaï; Fonctionnement, limites et amélioration d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso). Cahier ORSTOM Pédol., 28, 2 : 159-174.
- Roose E., Ndayizigiye Fr., 1997. - Agroforestry and GCES in Rwanda. Soil Technology 11,1 : 109-119.
- Roose E., Smolikowski B., 1997. - Comparaison de trois tests de mesure de l'infiltration sur fortes pentes : monocylindre et 2 simulateurs de pluie au Cap- Vert. Bull. Réseau Erosion 17 : 282-296.

- Sabir M., Merzouk A., Berkat O., Roose E., 1996. - Effet de la maximisation du pâturage sur certaines caractéristiques de la surface du sol en milieu steppique (Maroc).
Bull. Réseau Erosion 16 : 47-57.
- Sari D., 1977. - L'Homme et l'érosion dans l'Ouarsenis algérien. Thèse SNED, Alger, 624 p
- Sari Dj., 1978 - Le déboisement de l'Algérie, Mém. Doc. CNRS, vol. 17, pp 102-164.
- Selmi S., 1997. - Interventions de l'Etat en milieu rural. Réactions des collectivités locales face à la gestion d'une ressource rare. Les lacs collinaires dans le semi-aride tunisien.
Bull. Réseau Erosion 17 : 176-185.
- Shaxson T., Hudson N., Sanders D., Roose E., Moldenhauer W., 1989.- Land Husbandry. A frame work for soil and water conservation.
SWC Amer.Soc., WASWC, Ankeni IOWA, USA, 64 p.
- Smolikowski B., et al., 1997. - Utilisation du paillage léger et de la haie vive en zone semi-aride de montagne (Cap-Vert). Bull. Réseau Erosion 17 : 99-110.
- Taabni M., Kouti A., 1993. - Stratégies de DRS, mise en oeuvre et réactions du milieu et des paysans dans l'Ouest algérien . Bull. Réseau Erosion 13 : 215-229.
- Touaïbia B., Dautrebande S., Gomer D, Mostefaoui M., 1995. - Quantification de l'érosion à partir de 4 retenues collinaires dans la zone des marnes (Rellizane, Algérie) .
Bull. Réseau Erosion 15 : 408-418.
- Vogt H., Blum W., Gomer D., 1996. - L'aménagement des zones marneuses dans les b.v. des montagnes de l'Atlas tellien semi-aride algérien. GTZ, Eschborn, Allemagne n°256.

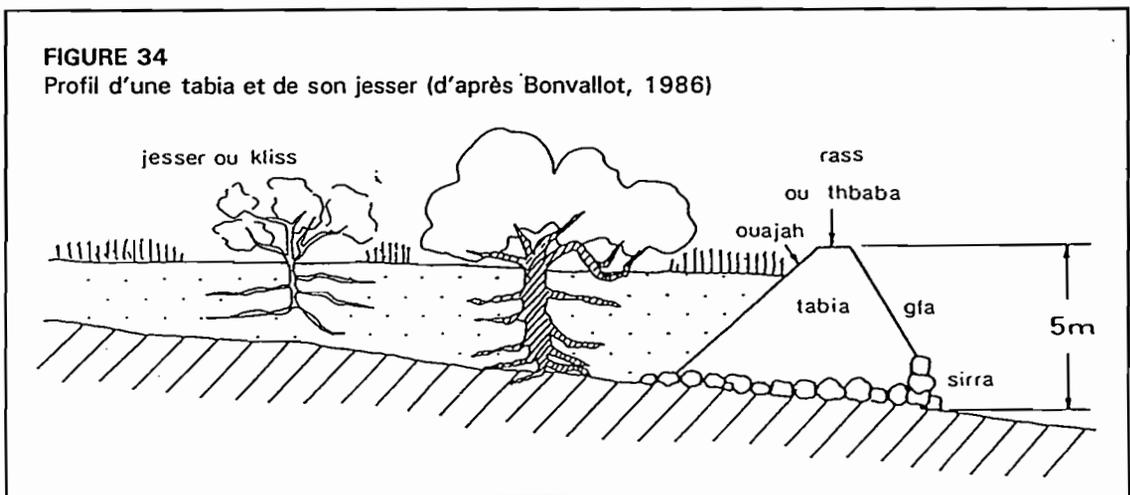
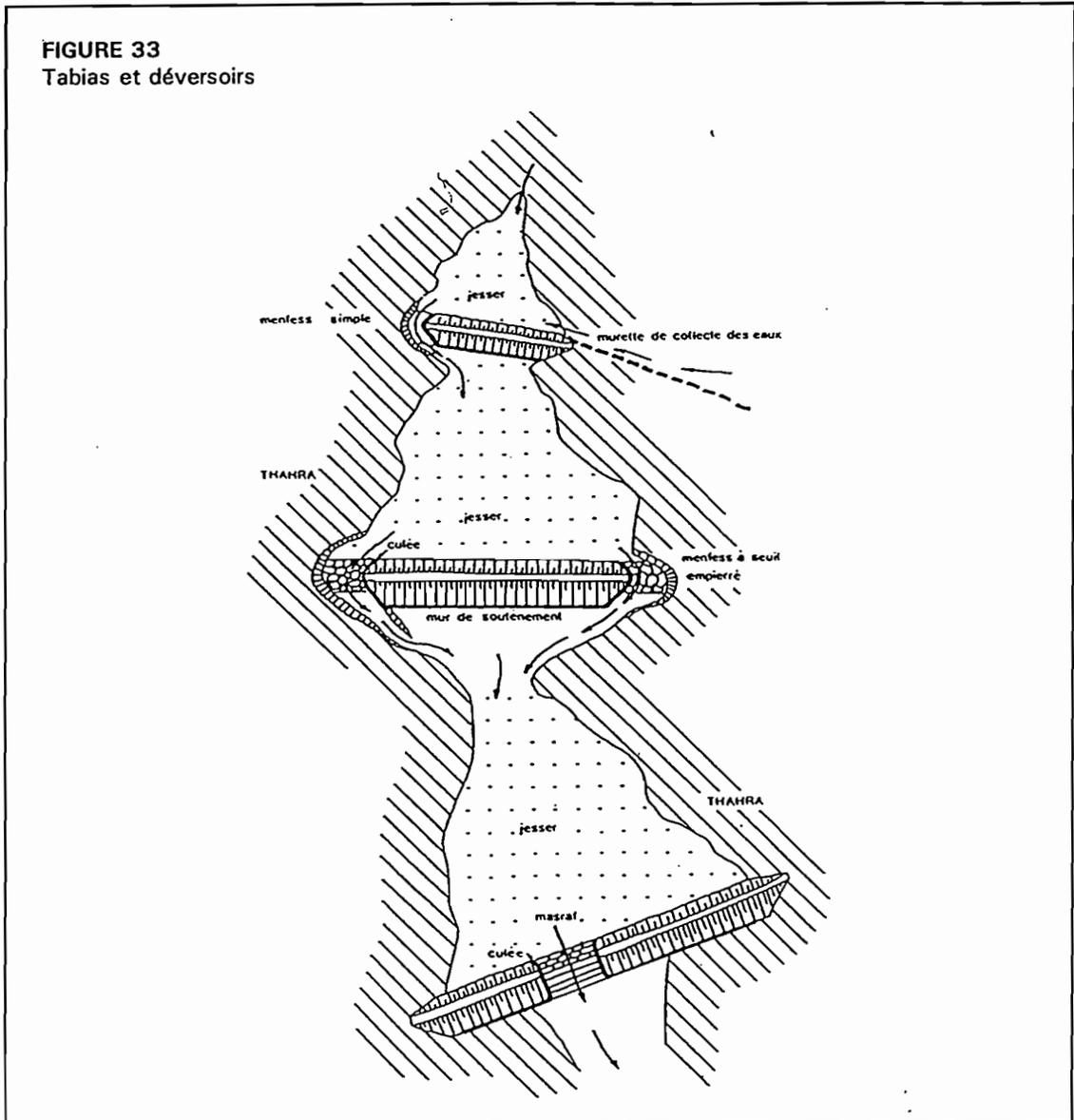


FIGURE 36
 Classification des systèmes hydrauliques traditionnels en fonction des climats
 (d'après El Amami, 1983)

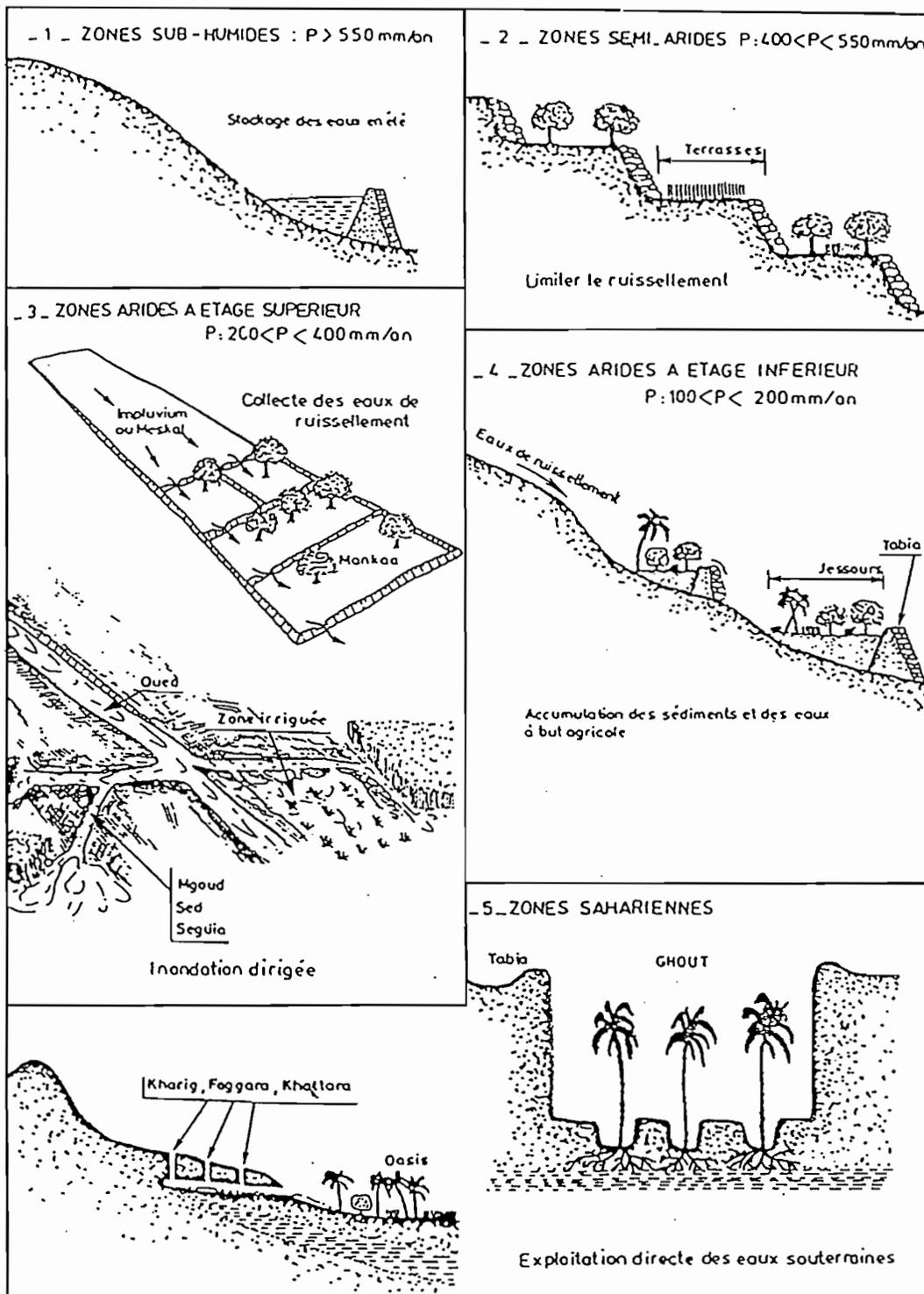
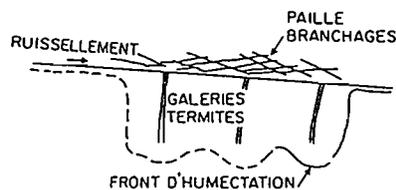
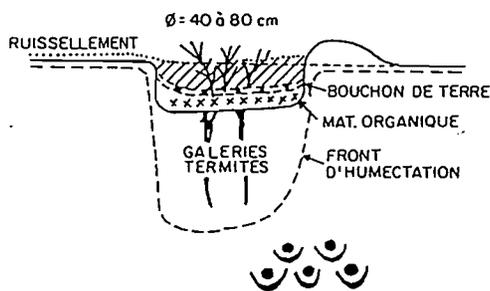


FIGURE 37

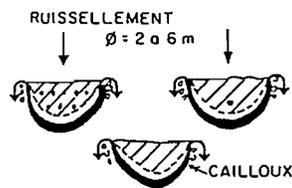
Collecte et stockage du ruissellement sur versant semi-aride (d'après Roose, 1989)

**Paillage (herbes + branchettes)**

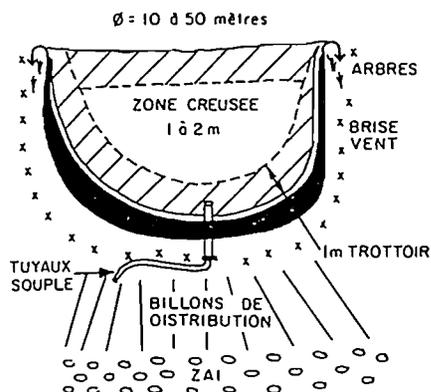
- les termites viennent manger les M.O.
 - ouvrent des galeries
 - favorisent la pénétration du ruissellement
 - répartissent les nutriments
- améliore l'infiltration et la fumure

**Zaï (pitting + manure + termites)**

- cuvette de 50-80 cm Ø, 10-15 cm en profondeur, terre en aval en croissant
 - capte le ruissellement sur bassin 3/1
- concentration eau + M.O. + nutriments
 - rendement > 800 kg/ha sur sol épuisé
- action ++ des termites sur infiltration. Grâce aux galeries l'eau infiltrée est à l'abri de l'évaporation directe

**Demi-lunes (micro catchment 1/5 - 1/10)**

- sur glacis limoneux, capture du ruiss. sur 10-20 m² pour irriguer :
 - des céréales
 - 1 ou 2 arbres
- protéger l'extrémité des diguettes par 3 cailloux pour éviter l'érosion lors du débordement

**Boullis = citerne creusée au bas d'un glacis à la limite du parcours**

- digue construite avec la terre extraite progressivement du centre du croissant
- les sédiments fins apportés avec le ruissellement colmatent le fond de la citerne
- 3 objectifs :
 - alimentation en eau du bétail (filtrer)
 - irrigation d'appoint d'un jardin précoce (1000 m²)
 - les sédiments fins peuvent être récupérés
 - briques ou terre organique

FIGURE 40
Plan d'un micro-bassin (d'après Evenari *et al.*, 1968)

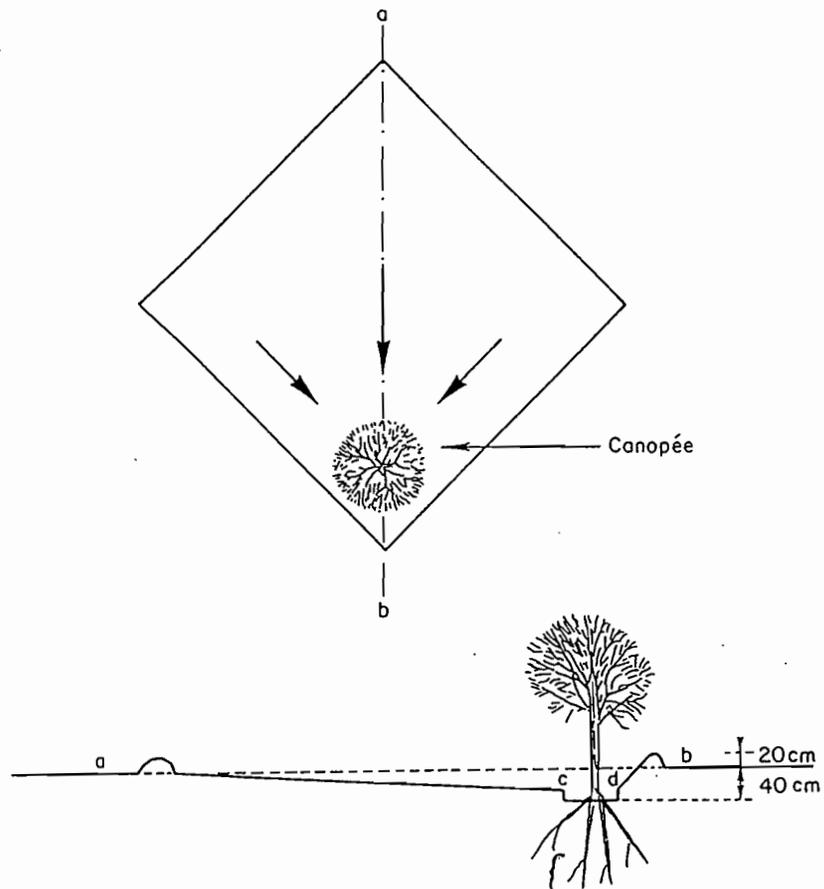
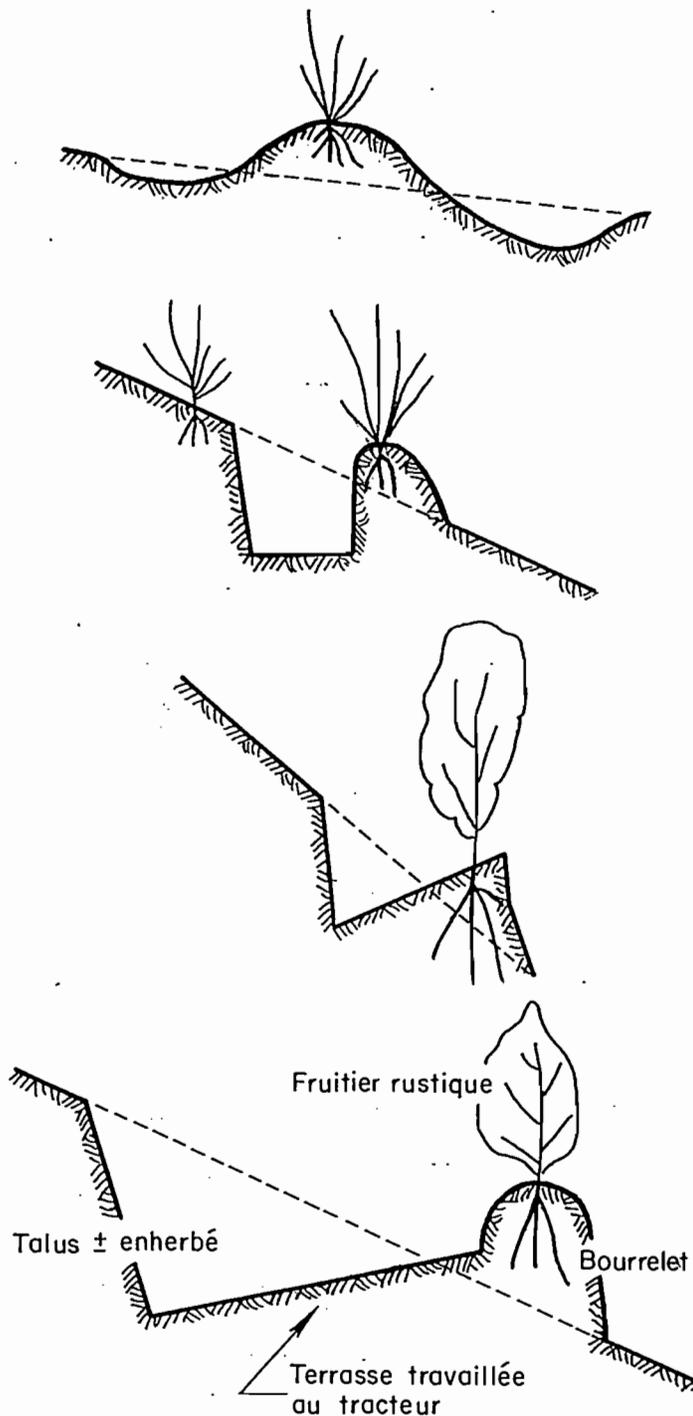


FIGURE 45
Diverses structures de diversion du ruissellement



Bourrelet de diversion en terre

- efficace sur pentes modestes de 1 à 8 % ;
- nécessite un entretien et fixation par les herbes et les arbustes ;
- nécessite la lutte contre rongeurs et fouisseurs qui y trouvent une terre souple pour creuser leurs galeries ;
- pas adapté aux vertisols et autres sols se fissurant en saison sèche.

Fossé de diversion

- efficace pour drainer les fortes pentes ;
- permet parfois l'irrigation des prairies par débordement et cloisonnement ;
- augmente les risques de glissements s'il augmente l'infiltration.

Banquette forestière

- adapté à la reforestation des zones de montagne dégradées ;
- permet un bon démarrage des plants ;
- demande en même temps l'implantation d'un sous-étage de plantes améliorantes (légumineuses, trèfle, Sylla).

Banquette algérienne

- apport d'arbres fruitiers qui diversifient la production sur les terres agricoles ;
- perte de 5 à 15 % de surface ;
- pas d'augmentation des rendements ;
- 80 % d'échec sur les pentes > 40 % (Mathieu, 1975) ;
- peu acceptée par les paysans car gêne l'exploitation mécanisée des terres ;
- cas d'abandon des terres car aménagées par les services de DRS de l'Etat (crainte d'appropriation par l'Etat).

FIGURE 46

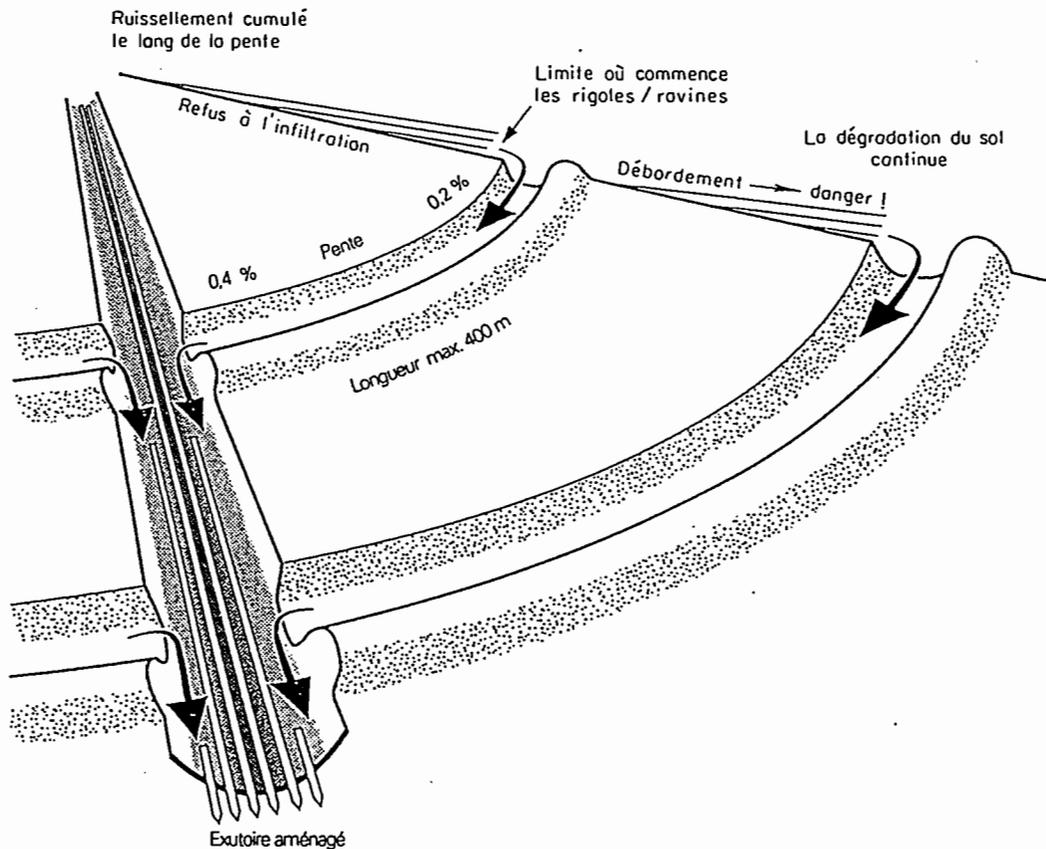
La diversion des eaux de ruissellement : principes, pratique et inconvénients

L'érosion est fonction de :

- l'énergie des pluies (constante tout le long de la pente)
- l'énergie du ruissellement (qui croît avec la pente $(MV^2)/2$. $E = f(\text{longueur}^n \times \text{pente})^m$

Les banquettes :

- peuvent évacuer l'énergie du ruissellement accumulée
- ne peuvent pas réduire l'énergie des pluies ni la dégradation du sol

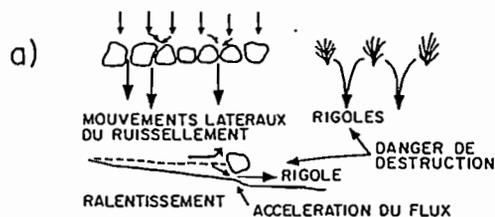


INCONVENIENTS

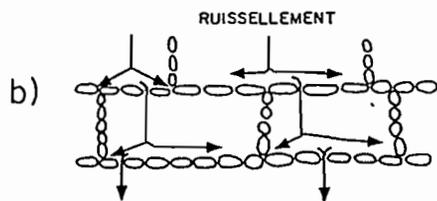
1. Nécessité d'équipes de topographes experts (coût élevé)
2. Important travail d'installation et d'entretien d'où généralement :
 - digues non protégées
 - canaux encombrés de sédiments
 - exutoires non enherbés ni protégés (surcreusés ou ensablés)
3. Perte de 5 à 15 % de la surface cultivée sans augmentation de rendement.
4. Perte d'eau et nutriments pour les champs cultivés en aval.
5. L'aménagement doit rompre s'il advient une pluie de fréquence inférieure à 1/10.
6. Variation de largeur des champs cultivés (mécanisation difficile).
7. N'arrête pas l'érosion en nappe ni la dégradation.
8. Finalement, risques graves de ravinement s'il y a rupture des digues (1 fois en 4 à 10 ans).
9. Accélération du temps de concentration des eaux :
 - gros débits de pointe
 - érosion marigots
 - ravinement régressif

FIGURE 48

Exemples de micro-barrages perméables en milieu semi-aride (d'après Roose, 1989)

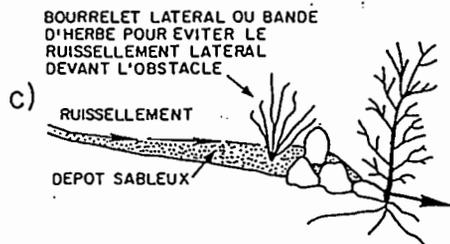
Alignement de pierres (stone line)
d'herbes, paille, piquets

- une seule rangée d'obstacles perméables
- ralentit et étale le ruissellement
- piège le sable éolien + fines du ruissellement
- fragile : bousculé par bétail + rigole, enterrée par le ruissellement.



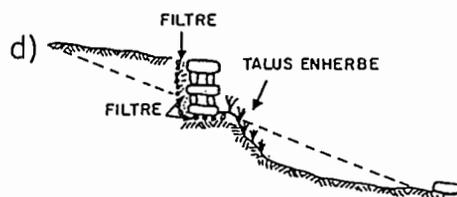
Réseau en nid d'abeilles

- cloisonnement → réduit les écoulements latéraux
- utilisé pour restaurer les sols en bas des collines gérées comme des impluvium

BOURRELET LATÉRAL OU BANDE
D'HERBE POUR ÉVITER LE
RUISSELLEMENT LATÉRAL
DEVANT L'OBSTACLE

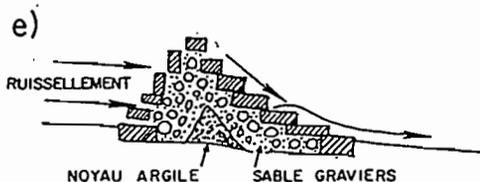
Cordon de pierres (stone bund)

- au moins 2-3 niveaux de pierres solidaires
- consolidé par :
 - herbes > < mouvements latéraux
 - haie + arbres > < bétail (en aval)
- piège 5 à 15 cm de sable + M.O. + limon
- filtre les matières organiques flottantes
- étale les écoulements dans le temps/espace



Muret de pierres plates

- entassement soigné de pierres plates
- mur + filtre drainant en amont et dessous le mur
- aboutit à des terrasses progressives



Digue semi-filtrante

- gros cordon de pierres au travers d'une tête de Vallée
- crête horizontale renforcée
- ralentit l'écoulement
- noyau plus fin tassé si on veut retenir une lame d'eau

Fig. 3. — Le Zaï : méthode traditionnelle de restauration des sols.

Décembre à avril

- Creusement tous les 80 cm d'une cuvette Ø = 40 cm, H = 15 cm terre posée en croissant en aval.
- L'Harmattan apporte des sables et des matières organiques.

Avril à juin

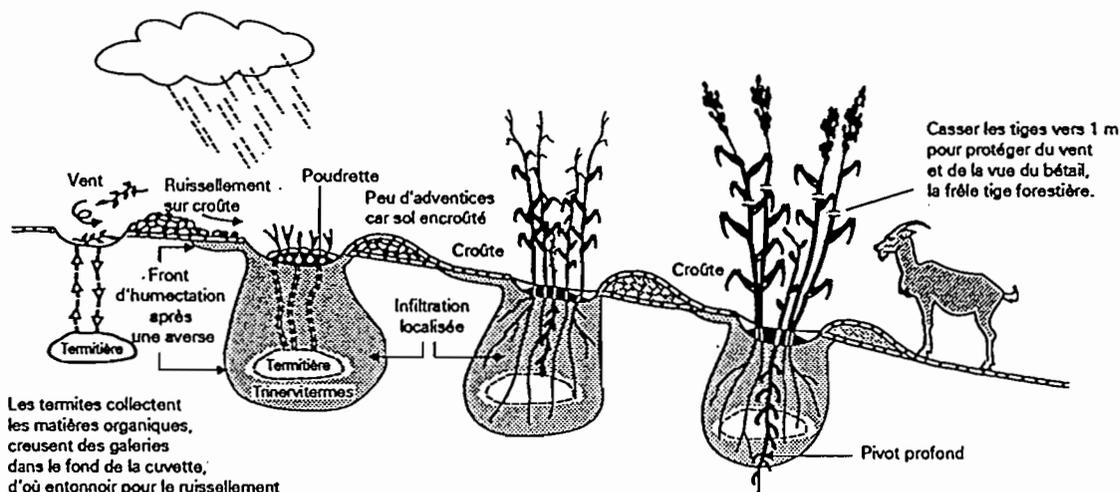
- Après la première pluie, apport de 2 poignées de poudrette (= 3 t / ha).
- Les termites y creusent des galeries enrobées d'excréments.
- Semis en poquet à la deuxième pluie.
- Eau infiltrée, stockée en profondeur à l'abri de l'évaporation directe.

Juin-juillet

- Démarrage de la saison des pluies.
- Levée précoce.
- Enracinement profond.
- Sarclage limité aux poquets.
- Germination de graines forestières.
- Concentration : de l'eau des nutriments.

Novembre

- Récolte : des panicules et du fourrage.
- Coupe des tiges vers 1 m : cache les tiges forestières de la vue du bétail ; ralentit le vent desséchant et l'érosion éolienne.



- Zaï (en Mooré) signifie : se hâter pour creuser en saison sèche le sol tassé et encroûté.
- Il permet de récupérer des terres abandonnées et de produire environ 800 kg / ha de grain dès la première année et d'entretenir la fertilité du sol sur plus de 30 ans.
- Il concentre l'eau et la fertilité sous le poquet et permet d'associer à la culture des arbres fourragers bien adaptés (agroforesterie).
- Limites : la date de commencement des travaux est fixée par le chef de terre du village... après les fêtes, quelquefois trop tard.
le Zaï exige 300 heures de travail très dur, soit environ 3 mois pour un homme pour restaurer 1 ha.
le Zaï demande 2 à 3 tonnes de matières organiques et les charrettes pour transporter la poudrette et le compost.
Pour réussir, il faut entourer le champ à restaurer d'un cordon de pierres afin de maîtriser le ruissellement.
- Améliorations : sous-solage croisé à 1 dent jusqu'à 12 - 18 cm, après la récolte, tous les 80 cm, (11 heures avec des boeufs bien nourris), creuser ensuite le Zaï en 150 heures.
compléter la fumure organique par N et P qui manquent dans la poudrette exposée au soleil.
: introduire d'autres espèces forestières élevées en pépinière (3 mois de gagné).

FIGURE 47

Modèle évolutif de structure antiérosive perméable en vue de la dissipation de l'énergie du ruissellement (d'après Roose, 1991)

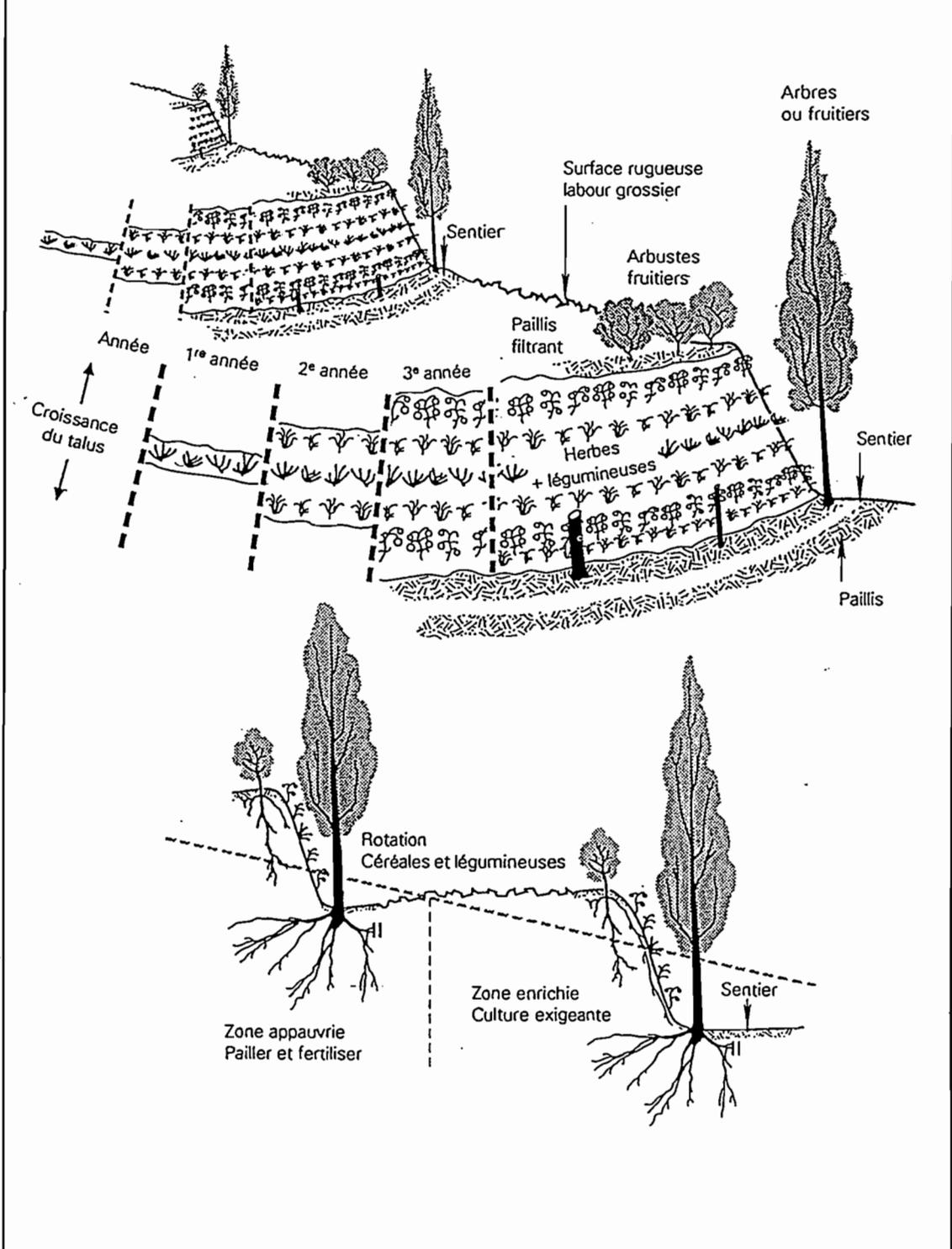


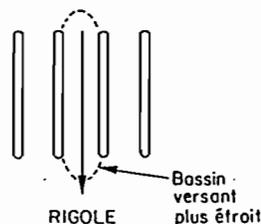
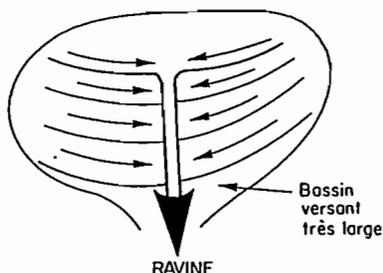
FIGURE 31

Orientation du billonnage en fonction de la pente du terrain

Sur pente faible ... :	• billonnage cloisonné	P = 0,1
	• billonnage isohypse, pente jusqu'à 2 %	0,2
	8 %	0,3
	16 %	0,4
	25 %	0,6

Sur pente forte > 25 %, l'effet de la rugosité sur le ruissellement diminue rapidement, car la capacité de stockage en eau diminue, par contre, les risques de débordement et de glissement augmentent

- lors des pluies faibles, l'érosion est plus faible si billonnage isohypse
- lors des pluies fortes, le ruissellement risque de déborder, de créer une brèche par où vont s'écouler toutes les eaux retenues derrière les billons, brèche qui va se transformer en ravine, plus difficile à effacer que les multiples petites rigoles qui drainent les billons orientés dans le sens de la pente (bassin drainant plus petit).



□ Au PEROU, à des altitudes de 1500 à 4000 m, les paysans tentent d'adapter les façons culturales aux conditions climatiques locales saisonnières :

- si la saison est :

- tardive, le billonnage est partiel
- très humide, les billons seront construits parallèles à la pente
- très sèche ou tardive, ----- perpendiculaires à la pente
- incertaine, ----- en patchwork

- si la pente est très forte et les sols pauvres, - en chevrons



□ Au CAMEROUN, en Pays Bamiléké vers 1000 à 2000 m d'altitude, on peut observer :

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



(leur efficacité dépend du couvert végétal développé par les cultures associées)

EN CONCLUSION, il est délicat de conseiller l'orientation des billons !

Sur pentes faibles, le billonnage ou le buttage cloisonné est très efficace,

Sur pentes fortes, en fonction des risques majeurs, on peut choisir:

- si nécessité de drainer : des billons obliques drainant vers un exutoire enherbé
- : des gros billons courts en quinconce bien couverts
- si risques de glissement : des micro-terrasses en escalier ou des billons obliques