

Analyse du système des banquettes mécaniques

Propositions d'améliorations, de valorisation et d'évolution

pour les gouvernorats de Kairouan, Siliana et Zaghouan,

Tunisie

par

Eric ROOSE



Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

Montpellier, novembre 2002

Résumé

Avant le lancement des actions de gestion des eaux et de conservation de la fertilité des sols dans les gouvernorats de Kairouan, Siliana et Zaghouan, la consultation d'un expert international en gestion des bassins versants a été souhaitée pour apporter des éléments de réflexion complémentaires permettant la réalisation des travaux de terrassement visant simultanément la gestion des eaux de ruissellement sur les versants, le piégeage des terres érodées ainsi que l'intensification de la production agricole.

Suite à 7 jours de contacts et de bibliographie, 7 journées de terrain et une séance de restitution à Tunis, les conclusions suivantes ont été dégagées des discussions sur une trentaine de sites observés dans les trois gouvernorats.

* Les banquettes mécaniques, bien situées et bien construites, semblent ralentir l'érosion linéaire au niveau des petits bassins versants, stocker les eaux de surface sur les exploitations (comme des micro-barrages collinaires) et rester fonctionnelles au-delà de 18 ans. Comme elles n'ont pas ralenti la dégradation des sols, ni l'érosion aratoire entre bourrelets, elles évoluent vers des terrasses progressives. Elles peuvent devenir un lieu d'intensification de l'agriculture grâce à la concentration et à la valorisation du ruissellement près des bourrelets sur les meilleures terres des versants. Elles peuvent stocker totalement des pluies de 50 à 85 mm et posent ainsi le problème de la répartition des eaux de ruissellement entre les exploitants des versants et leurs collègues d'aval exploitant l'eau des barrages et des nappes phréatiques des vallées.

*L'extension des banquettes mécaniques devrait être réduite aux terres profondes et perméables de 5 à 15% de pente, soit 20 à 40 % des terres des hauts bassins versants pour respecter l'équilibre de répartition des eaux entre les communautés amont et aval. Il est souhaitable de respecter les normes de hauteur des bourrelets (Max 120 cm à la réception, 70 cm à l'exutoire) et des écartements, mais il faudrait tester une adaptation optimiste de la formule empirique de Bugeat en fonction des pluies décennales, de la stabilité de la structure et du taux de recouvrement en cailloux des sols, de la rugosité du sol et des cuvettes /billons stockant l'eau en surface, de l'évolution des systèmes de culture et de leurs besoins en eau.

* Une réflexion a été commencée pour faire évoluer le système des banquettes à infiltration partielle pour en réduire le coût, placer les exutoires/passages renforcés en quinconce dans la zone protégée, mieux valoriser cette disponibilité en eau très localisée, diversifier les cultures en bandes (impluvium en sec, fossés et bourrelets en intensif), densifier les arbres fruitiers aux abords des bourrelets, valoriser la production fourragère sur les bourrelets, étendre la zone d'épandage du ruissellement (fossés plus larges ou de chaque côté des bourrelets, cuvettes sous les arbres), amélioration de l'infiltration de l'impluvium, cultures intercalaires au moins durant la jeunesse des arbres fruitiers et fertilisation organique et minérale raisonnée en fonction des exportations et des pluies saisonnières.

* Pour les terres hautes, caillouteuses, à faible capacité de stockage en eau (lithosols, rendzines, sols bruns à croûte calcaire superficielle, sols érodés qui représentent souvent plus de 60%), de même que pour les terres profondes mais peu pentues et peu érodées qui ne justifient pas de tels investissements, il est proposé de développer un mode de gestion des eaux à dissipation de l'énergie du ruissellement faisant intervenir des moyens modestes (bien connus des paysans) qui freinent les eaux, piègent les sédiments et rallongent le temps de concentration des eaux de surface à l'échelle du bassin. L'observation des méthodes traditionnelles permettent de respecter la diversité des situations : divers types de cuvettes (micro-bassins ou éléments de banquettes) pour restaurer les zones dégradées ou irriguer les arbres fruitiers, cordons de pierres, ados intensément protégés de cactus ou autres plantes fourragères, haies vives plurispécifiques au bas des parcelles.

*Devant le peu de données publiées précisant les avantages et inconvénients de chaque technique de CES, il est proposé d'installer un observatoire de démonstration, en vraie grandeur, permettant de

comparer l'état initial et final du sol, de suivre au cours des années l'acceptabilité, l'efficacité, la rentabilité de la CES, les indicateurs de risque d'érosion, l'évolution de la production et de la biodiversité, d'analyser les coûts et avantages. De nombreux étudiants/chercheurs pourraient se rendre utiles tout en apprenant les subtilités de la CES et de la participation paysanne. La confrontation techniciens/chercheurs enrichira la réflexion sur l'évolution possible des techniques de CES à proposer aux paysans. Les paysans disposeraient d'un argumentaire plus riche pour choisir les techniques à implanter sur leurs parcelles.

*Un effort particulier devrait être tenté de profiter des opérations de CES pour augmenter la biodiversité très réduite dans ces régions semi-arides, avant que diverses pestes ne viennent réduire la durabilité des actions de développement rural intégré.

Introduction

Jusqu'au milieu du XIX siècle, un système d'élevage extensif sur des terres communes prédominait l'exploitation agricole en Tunisie centrale. Avec les efforts de fixation des populations par l'Administration s'est développée une agriculture céréalière extensive, puis une arboriculture fruitière plus rentable et enfin des projets de développement rural intégré (Elloumi et Selmi, 2001).

Le défrichement de terres fragiles pour les cultures céréalières, le surpâturage des parcours résiduels, la pulvérisation du sol par l'usage fréquent de charrues à disques, le labour dans le sens de la pente de terres en étroites lanières (suite aux héritages successifs) ont entraîné le développement de divers processus d'érosion (Document de projet : annexe 2) L'érosion en nappe et en rigole, accélérée par l'érosion aratoire, a eu pour conséquence le décapage des horizons humifères. Mais c'est le ravinement, indicateur omniprésent de l'abondance du ruissellement, qui s'avère le plus dangereux pour l'équilibre régional car il accentue l'aridité, défigure les surfaces mécanisables et entraîne des déplacements importants de terre jusqu'aux oueds, l'augmentation de leur débit de pointe, la dégradation des berges, des glissements de terrains dans les parties concaves des rivières, l'envasement accéléré dans les barrages et la dégradation des équipements. En outre, cette céréaliculture extensive épuise le sol tout en le fragilisant par l'exportation des grains et des pailles sans restitution organique ou minérale suffisante. La jachère nue ou pâturée par les ovins qui est de règle dans ces zones semi-arides, accélère encore la dégradation des terres.

Face à ce problème de dégradation du milieu rural, l'Administration Centrale a développé d'abord une stratégie technocratique de « Défense et restauration des sols » imposant le reboisement des hautes terres dégradées. Au cours des années 1960, la CES (conservation des eaux et des sols) était une section de la Direction de l'Hydraulique chargée d'introduire en milieu rural des équipements de petite hydraulique (terrasses et correction torrentielle).

De 1971 à 1983, la CES était une sous-direction de la Direction des Forêts dont le rôle essentiel était d'aménager les bassins versants, de reboiser les hautes vallées et de protéger les barrages menacés d'envasement précoce. Devant la résistance des paysans qui constataient une perte de parcours et de surfaces cultivables sans amélioration des rendements, l'Etat a proposé une stratégie de « Conservation des eaux et des sols » (CES 1970-90) offrant en compensation des pertes de surfaces cultivables (5 à 15 %) divers services (plants d'arbres fruitiers, pistes, puits, aménagements divers). Mais dans la mentalité paysanne, la lutte antiérosive reste l'affaire de l'Etat et la prise en charge de l'environnement rural par les paysans reste exceptionnelle.

En 1990, la Tunisie a élaboré un plan stratégique pour la conservation des eaux et des sols. L'effort des aménagistes a dès lors porté sur une approche participative intégrant la lutte antiérosive au développement rural (projet PNUD/FAO/TUN/92/001, 1997 et projet GCP/INT/542/ITA) : les aménagistes tunisiens ont fait de la « Gestion Conservatoire de l'Eau et de la fertilité des Sols » (GCES) sans le savoir (Roose, 1994).

En 2001, a été créée la Direction Générale de l'aménagement et de la Conservation des terres agricoles (DG/ACTA) ayant pour objectifs d'intégrer la lutte antiérosive dans la politique de développement agricole du pays, de conserver les ressources naturelles, de générer des revenus complémentaires en mobilisant les eaux de ruissellement au niveau des versants, de proposer des techniques de LAE simples et économiques, reproductibles par les paysans, d'encourager les organisations paysannes locales dans le cadre de démarches contractuelles en vue de la restauration et de la conservation de la productivité des sols, de réorienter la recherche agricole vers le développement de technologies durables adaptées aux petits exploitants, de prolonger la durée de vie des infrastructures hydro-agricoles en accordant une priorité aux zones à forte potentialité érosive.

Depuis 2000, le projet GCP/TUN/028/ITA a développé un programme participatif intégré comportant :

- un découpage en 49 unités socio-territoriales,
- un diagnostic paysan après sensibilisation des groupes,
- des demandes d'actions validées par les techniciens CES,
- un plan d'actions concrétisées par un contrat signé avec chaque groupe de propriétaires.

Après deux années d'enquêtes, de sensibilisation et de négociations, le temps était donc venu de passer à l'action. Cependant, des réticences se sont manifestées à l'égard de l'importance des projets d'aménagement en banquettes mécaniques. En effet, l'Etat cherche à partager la responsabilité et les frais de l'aménagement rural avec les bénéficiaires : or les paysans pensent que ces gros travaux de terrassement sont du ressort de l'Etat. Par ailleurs, certaines études remettent en question l'efficacité antiérosive des banquettes mécanisées qui bouleversent le paysage et la nécessité d'utiliser de gros engins qui donnent le sentiment que la lutte antiérosive n'est pas à la portée des paysans. Les spécialistes du projet lui-même « gardent des préoccupations sur l'adaptation à la zone de la formule de Bugeat qui ne lie l'écartement des bourrelets qu'à la pente du terrain, sans tenir compte de la diversité des sols, des situations topographiques, ni des systèmes de culture » :

$$\text{Distance entre bourrelets} = 10\text{m} + (2/\text{pente en } \%)$$

Soit : sur pente de 5%, distance entre bourrelets = $10 + 2/0.05 = 50$ m

10% « « $10 + 2/0.10 = 30$ m

15% $10 + 2/0.15 = 13$ m

quelque soient les techniques culturales, la capacité d'infiltration ou l'érodibilité du sol.

Enfin, ces techniques abordées d'un point de vue purement hydraulique, n'ont eu que très peu d'effets sur la dégradation de la fertilité des sols, sur l'aridification du milieu, la valorisation des eaux captées et le niveau de vie des paysans.

Le programme a donc proposé la consultation d'un expert international aménagiste afin « de fournir des éléments de réflexion permettant d'optimiser les travaux de terrassement visant simultanément à freiner les eaux de ruissellement, à piéger les terres érodées et à valoriser ces améliorations foncières ».

D'après les termes de référence, le consultant a accompli une mission de 17 jours en Tunisie sous la supervision du représentant de la FAO en Tunisie, de la division AGL de la FAO à Rome et en étroite collaboration avec la DG/ACTA et les équipes du projet et des CRDA en Tunisie, en vue d'accomplir les tâches suivantes :

- analyser la documentation sur les aspects techniques, environnementaux et socio-économiques de la banquette ;
- analyser sur le terrain les techniques des banquettes réalisées et en particulier ses effets sur l'agriculture et l'environnement ;
- établir une typologie des banquettes en fonction des situations agro-écologiques et des types de sols ;
- visiter des sites sélectionnés en fonction de la typologie des banquettes sur les trois gouvernorats ;
- identifier des critères d'appréciation pouvant enrichir l'analyse des aménagements ;
- présenter des propositions pratiques pour la mise en œuvre des banquettes ainsi qu'un canevas détaillé du document de travail pour les soumettre pour approbation aux responsables de la DG/ACTA en Tunisie, avant la rédaction à domicile du document final détaillant les recommandations retenues.

Compte tenu des avis de nombreuses personnes consultées à Rome, à Tunis et sur les trois gouvernorats, de la documentation et du peu de temps disponible (15 jours effectifs dont 7 sur le terrain), nous nous sommes attaché en priorité à :

- l'évaluation sur le terrain de la technique des banquettes mécaniques et vérification de l'application des normes dans les trois gouvernorats ;
- la valorisation agricole des banquettes : approche du bilan hydrique de chaque secteur et observation en fin d'année sèche des effets du captage du ruissellement sur l'état végétatif et la production des oliviers en amont et aval des banquettes ;
- l'observation des effets du sol et des toposéquences sur l'efficacité des banquettes et la présence d'autres types d'aménagements plus modestes ;
- la proposition d'évolution du système « banquettes d'absorption partielle » vers une stratégie de dissipation de l'énergie et une gestion partagée des eaux ruisselant sur les versants entre les paysans de l'amont (captage d'une partie du ruissellement) et de l'aval (remplissage des barrages).

Le consultant a ensuite bénéficié d'une semaine à Montpellier pour compléter la bibliographie et rédiger le rapport final.

Nous souhaitons remercier vivement nos partenaires de la FAO à Rome de nous avoir « préparé à la tâche délicate qui nous attendait », nos partenaires de Tunisie pour leur accueil très chaleureux et pour les discussions techniques franches, ouvertes et constructives. J'ai beaucoup apprécié la compétence, l'ouverture d'esprit et la disponibilité des coordinateurs et du personnel technique qui nous a facilité notre tâche. Enfin je remercie Monsieur le représentant de la FAO à Tunis de l'honneur qu'il m'a fait de m'inviter comme l'un des leurs à partager la réception à l'occasion de la journée mondiale de l'alimentation.

1. Principales conclusions de nos observations

Nous avons passé 5 heures de « briefing » à la FAO à Rome, 3 jours de contacts et bibliographie à Tunis, 2 jours de terrains à Siliana, 2 jours à Zaghouan et 3 jours à Kairouan avec Jalel EL Faleh, coordinateur national du projet, les équipes du projet et des représentants du CRDA de chaque gouvernorat. Nous avons observé et discuté longuement les aménagements de 30 sites choisis dans et hors projet pour avoir un échantillon représentatif des dispositifs situés sur les principales toposéquences et situations agro-écologiques des trois gouvernorats situés dans la zone semi-aride avec un net gradient Nord-Sud (pluies annuelles variant de 450 à 250 mm et pluie journalière de fréquence décennale diminuant de 90 à 60 mm, selon Lamachère). Le substrat rocheux varie dans le détail mais il est assez homogène en général : une succession de calcaires gréseux plus ou moins résistants, avec localement des marnes, des colluvions et alluvions localement enrichies de sables éoliens. On pourrait donc synthétiser nos observations sur une toposéquence typique quitte à introduire ensuite quelques nuances.

1.1. Différentes techniques CES se succèdent le long de la toposéquence type

- * Sur le plateau calcaire : lithosols caillouteux cuvettes avec plantations forestières ou fourragères, amélioration des parcours;
- * Sur les escarpements : éboulis, lithosols cordons de pierres + plantations arborées ;
- * Sur versants raides, sols gris peu profonds cordons de pierres, ligne de défense rendzines, lithosols calcaires végétale. (cactus, agaves, divers acacias)
- * Sur sol brun calcaire à croûte peu profonde rippage, épierrage, ½ lunes couvertes de pierres ou éléments de banquettes pour favoriser les fruitiers
- * Sol brun argileux profond) banquettes mécaniques ou manuelles
- * Sol ocre rouge sableux ...) pentes 5 à 15% consolidées avec des arbustes fourragers ou fruitiers
- * Vertisols à argiles gonflantes ados en terre tassée et protégée par des cactus denses
- * Sols alluviaux profonds, pente < 5% techniques douces: bandes enherbées, ados végétalisés, labour en courbe de niveau, semi direct sous litière ?

- On observe sur le terrain une grande diversité d'aménagements dont la majorité peut être réalisée par les paysans.

Il reste à leur apprendre à tracer eux-même les lignes de niveau lissées.

- Les banquettes mécaniques ne sont recommandées en principe que sur la classe des sols profonds à bonne réserve hydrique (qui occupe 20 à 40 % des surfaces traitées) à l'exclusion des sols caillouteux peu épais (à faible stock d'eau) et des sols argileux peu perméables (risque d'engorgement) (Stratégie nationale tunisienne).

- Cependant nous avons observé l'extension des banquettes mécanisées à l'amont sur des sols gris caillouteux et des sols bruns à croûte calcaire peu profonde « pour protéger les banquettes aval ». En réalité ces sols caillouteux souffrent peu d'érosion en nappe grâce au mulch de pierres qui les protègent : des « barrages végétalisés semi-perméables » suffisent pour dissiper l'énergie du ruissellement sur ces terres à faible potentiel. Le ruissellement sur ces fortes pentes est d'ailleurs beaucoup plus modéré que sur les glacis à sols battants des pentes plus faibles. Plutôt que d'étendre vers l'amont l'aire des banquettes mécanisées, il nous paraît utile de réfléchir à l'organisation d'un déversoir suffisamment dimensionné pour évacuer le ruissellement qui viendrait de l'amont de la première banquette lors des averses abondantes (> 70 mm).
- On peut se demander s'il ne faut pas exclure aussi du système banquettes mécanisées les sols très sableux et perméables : en effet, nous avons observé que les banquettes sur sols sablonneux sont plus fragiles, sont souvent dégradées (mulots et renards) et leur effet positif sur la production des oliviers est strictement limité aux arbres plantés dans le fossé. Des ados solidement végétalisés à l'aide de cactus épineux devraient permettre le cloisonnement de ces zones sujettes à l'érosion éolienne plus qu'au ruissellement.

En définitive, cette technique des banquettes utilisant des engins lourds ne se justifie dans cette zone

- que dans un secteur limité aux meilleurs terres pentues ;
- du fait de l'existence d'un parc de TD7 acheté par un autre projet ;
- de leur valorisation à bas prix ne tenant pas compte de leur amortissement ;
- et du savoir faire des équipes de CES ;
- du fait des grandes étendues à traiter le plus vite possible (30 000 ha/an) ;
- de la demande paysanne qui veut valoriser une arboriculture fruitière intensive.

1.2. Analyse de l'application sur le terrain de la technique des banquettes

Dans cette zone semi-aride, la technique des banquettes mécaniques d'absorption a été définie par une approche empirique purement hydrologique. Tenant compte du point de vue de la lutte antiérosive, de l'efficacité agronomique et donc de l'approche participative, nous allons passer en revue nos observations de terrain sur chaque composante de la technique.

Le bourrelet. Constitué de terre repoussée par un bulldozer en vue de stocker une lame de 70 cm de ruissellement (garde latérale), on lui ajoute une garde verticale de 30 cm pour s'assurer que cette lame ne va pas déborder par dessus la digue (sous peine de destruction) : la hauteur finale recherchée est donc de 1 mètre. Mais on admet que le tassement, l'érosion et les erreurs de construction nécessitent encore une marge de sécurité de 20 cm (soit 120 cm à la réception). L'emprise théorique au sol est alors de 4 m, ce qui représente 12 % du terrain si la pente est de 10% (selon la formule de Bugeat).

Or, nous avons observé :

- * que beaucoup de jeunes banquettes dépassent 150 cm (coefficient de sécurité abusif surtout dans le sud où la pluie décennale est de 70 mm)(d'après Lamachère, comm. écrite) ;
- * la majorité des banquettes de plus de 5 ans sont bien tassées, peu érodées quoique peu couvertes et ont encore 120 cm de haut ;

* la présence fréquente de « passages » sauvages (animaux) ou organisés au bulldozer pour laisser passer les engins motorisés, les gens et leurs animaux : dans le meilleur des cas, il reste un bourrelet tassé de 20 à 70 cm ;

* l'emprise de cette digue dépasse les 4 m théoriques dans le cas des digues de 150 cm;

* Or dans les zones à petits propriétaires, nous avons observé que les digues ont été entamées par les charrues, ce qui signifie que le paysan souhaite réduire au minimum la surface consacrée aux travaux de CES. **Il est souhaitable dans ce cas de chercher à réduire la taille des bourrelets, ce qui permettrait de réduire aussi son emprise.**

* Les pentes du bourrelet sont théoriquement de 1/1 à l'amont et 1/2 à l'aval pour tenir compte de la pression de la lame d'eau accumulée lors des crues. Nous avons souvent observé, en particulier sur les bourrelets récents, que les pentes sont égales ou même plus fortes à l'aval, ce qui théoriquement entraîne un risque de glissement en cas de crue brutale avant que le bourrelet soit suffisamment tassé ;

* Pour éviter le risque d'empiètement sur le bourrelet par l'agriculteur lors des labours, il est prévu une « **consolidation du bourrelet** » qui consiste à planter au tiers aval et amont du bourrelet, une ligne d'arbustes (*Acacia cyanophylla*, ou rarement *Prosopis juliflora*, oliviers, figuiers), ou des plantes fourragères (*Opuntia inermis*, *Atriplex halimus*, *Medicago arborea*). Nous avons observé que le pâturage direct anéantit les cactus inermes, réduit la croissance des autres plantes fourragères, mais ne gêne pas trop les *Acacias cyanophylla*.

* On peut se demander **pourquoi on n'a pas cherché à couvrir le bourrelet pour le protéger contre l'énergie des gouttes de pluie et l'érosion ?** En réalité, nous n'avons pas observé de dégâts graves d'érosion, mais localement le recouvrement total par les cactus (*Opuntia inermis*) et le développement naturel du *Cynodon dactylon*, très efficace pour stabiliser les pentes pâturées, mais concurrent redoutable qui risque d'envahir les champs cultivés voisins. On pourrait proposer la légumineuse bisannuelle sulla (*Hedisarum chamosum*) ou le diss (*Ampelodesmo mauritiaca*), herbacée pérenne : la sécheresse des 3 années antérieures a peut-être été un obstacle à leur extension.

Le fossé. Pour former le bourrelet, le bulldozer décape une zone de 6 m de large et 20 à 50 cm de profondeur. Pour décompacter cette zone où il a manœuvré, il passe encore trois dents à 40 cm de profondeur .

*On peut craindre que ce décapage entraîne **une nette diminution de la fertilité**, surtout sur les sols superficiels, mais en réalité ce fossé peut se recharger en sédiments humifères en quelques crues si l'érosion en nappe continue sur l'impluvium (cas le plus fréquent) ; par contre sur les sols caillouteux ou sur croûte calcaire ce fossé reste nu très longtemps (indice qu'il est inutile d'y construire des banquettes).

*On aurait pu craindre que les cultures souffrent **d'engorgement** : l'enquête a montré que l'inondation après les grosses averses ne dure que 2 à 5 jours, que le blé pousse mieux dans cette zone (surtout en année sèche), et que l'olivier est capable de supporter >15 jours d'inondation (d'après Alouani BOUZID). En général, l'engorgement ne semble pas un inconvénient fondamental pour les oliviers et figuiers mais pourrait être à prendre en compte pour certains arbres fruitiers (amandiers, pêchers, ?).

*L'enquête et nos observations ont montré que seule cette zone de fossé améliore la production de biomasse des herbes, l'état végétatif et le rendement en fruits des oliviers, ...en période sèche depuis 3 ans : nous ignorons ce qui peut se passer en année humide ou au cours d'averses de fréquence décennale. Les banquettes fonctionnent comme une irrigation localisée d'appoint, même en année humide. **La**

sécurité de produire quelque chose en année sèche, voilà probablement le meilleur argument qui pousse le paysan des zones semi-arides à demander à l'Etat d'installer des banquettes mécaniques sur ses terres, pourvu qu'il reste maître de la gérer à sa guise. Ceux qui ne disposent pas de banquettes, aménagent des cuvettes sous les oliviers, mais l'effet est moins spectaculaire sur les fruits que sur la survie des arbres.

*Nous présenterons quelques propositions pour élargir la zone qui bénéficie d'un apport de ruissellement : mais on ne peut l'étendre trop sous peine de supprimer cet aspect de production sécurisée en année très sèche.

La zone aval du bourrelet. Nous espérons que sur certains sols une partie des eaux accumulées devant le bourrelet pourrait, par drainage hypodermique, irriguer une certaine zone en aval. Sur les sols sableux très perméables, il n'en est rien. Sur des sols perméables en surface et nettement moins filtrants en profondeur (cas des sols bruns à croûte calcaire), une mince bande de <1 mètre donne un peu plus de blé en année sèche (mais ne compense pas la perte de surface cultivable des bourrelets), ou favorise un peu une rangée d'oliviers toute proche (<3m). Sur bourrelet fraîchement construit, Albergel a observé qu'une lame d'eau non négligeable diffusait à travers la terre peu tassée du bourrelet : les effets sur la teneur en eau du sol sont observables mais l'influence sur les rendements des cultures reste localisée et temporaire, peu détectables sur les bourrelets de plus de 5 ans.

La zone de l'impluvium (70% de la surface). On espère que le paysan va labourer son champs en courbe de niveau, réduire de ce fait le taux d'érosion en nappe de 50% et capter une partie du ruissellement (inchangé) sous ses arbres fruitiers. Mais dans la majorité des cas observés, la gestion de sa terre reste extensive : faible densité des arbres mal entretenus, trop peu de fumier et d'engrais, pâturage extensif, faible utilisation des acacias, mais pâturage direct et destruction des cactus inermes qui devaient consolider les bourrelets.

En résumé dans les zones visitées, nous n'avons pas observé de banquette mécanique en situation catastrophique, mais certains écarts par rapport aux normes et une tendance à étendre cette technique en dehors des situations recommandées. A voir leur évolution lente (sur 5 à 18 ans) vers des terrasses progressives de plus en plus stables, la durée de vie de la majorité pourrait bien dépasser 25 ans en espérant des progrès dans la valorisation des différentes parties et surtout de l'impluvium. Les résultats des observations de l'équipe d'Albergel, Nasri et Lamachère (Hydrological Processes, 2002) sur l'impact de l'aménagement en banquettes d'un petit bassin versant sont rassurants sur l'efficacité antiérosive, mais inquiétants sur l'avenir du lac collinaire en aval qui ne reçoit de ruissellement que lors des averses de fréquence rare. Il pourrait être utile de réduire la taille des digues ou les surfaces traitées en banquettes d'absorption pour maintenir une bonne distribution des eaux de surface entre les paysans de l'amont et de l'aval. L'équipe de Bourges, Dridi, Collinet et al., a montré sur le bassin du Haffouz (670 km²) que la présence de banquettes couvrant 17% de la surface du bassin a réduit le ruissellement à l'exutoire de 17% (la retenue collinaire de 13% !) et les transports solides de 40%. Les banquettes sont plus efficaces que les barrages pour augmenter l'infiltration des eaux : elles peuvent stocker sur place des lames de 85 mm de pluie et réduisent dès lors l'agressivité du ravinement en aval. Elles sont souhaitables sur pentes moyennes (5 à 15%) et en situation d'habitat dispersé alors que les lacs collinaires sont mieux adaptés aux pentes fortes avec des terres fertiles irrigables en aval.

1.3. Fonctionnement des banquettes : bilan hydrique et effets sur le rendement des oliviers

La mise en place d'obstacles à l'écoulement naturel du ruissellement crée des situations écologiques très variées qu'on pourrait mieux valoriser en étendant la zone humide, en intensifiant la valorisation des eaux disponibles, en associant des arbres fruitiers avec des cultures annuelles plus rentables que les céréales classiques (légumineuses, fourrages, etc.). Pour y voir clair, nous allons tenter de schématiser le bilan hydrique (très grossièrement) pour une situation courante : il sera possible ultérieurement de peaufiner l'analyse pour en découvrir toutes les nuances.

L'impluvium reçoit 400 mm de pluie, mais en perd 25% par ruissellement (soit 100mm), sans plus rien recevoir de l'amont puisqu'il est protégé par un bourrelet imperméable. Le stock d'eau maximal a diminué (300 mm), ce qui limite sa production (10-25 q/ha de céréale selon l'abondance des pluies), à part au contact direct du bourrelet d'où des arbres pourraient recevoir du drainage hypodermique dans certains cas.

Le fossé par contre reçoit aussi 400 mm de pluie, mais il stocke en plus la lame de ruissellement provenant de l'impluvium (100mm x 23m/concentrés sur 6m=383 mm).

*Si l'**absorption est totale**, le fossé recevra 400 + 383 mm = 783 mm ce qui rend possible des productions plus rentables que le blé (ex. légumineuses associées aux oliviers à forte densité)

*Si le stockage est partiel, le fossé ne pourra valoriser par ex. que

$$400 \text{ mm} + (383 - 100) = 683 \text{ mm}$$

*Si le sol est perméable jusqu'à un horizon peu perméable, on pourrait observer du drainage hypodermique qui va nourrir la zone aval du bourrelet.

*Enfin si la banquette a été construite pour **assurer la diversion** de la majorité du ruissellement, le bilan du fossé sera $P = 400 + (383 - 283)$ soit 500 mm disponibles sur place et 283 mm pour le barrage en aval. En Algérie ce genre de banquette n'a pas amélioré le rendement des céréales sur les impluvium (Monjengue, 1993)

Le bourrelet reçoit également 400 mm de pluie et probablement du drainage oblique venant du canal. C'est aussi une zone de haute potentialité de production car il accumule les horizons humifères du canal voisin (en réalité pas très riches en général) et pas mal d'eau. On ignore la quantité perdue par ruissellement sur ses versants raides.

En conclusion, ce bourrelet crée un « oasis linéaire »,

***où la sécurité de la production est assurée même pour les années les plus sèches ;**

*où la valorisation de l'eau disponible appelle la diversification des cultures en bandes et permet la culture de plantes plus exigeantes et plus rentables (ex : cultures fourragères, légumes secs, vigne), la densification de l'arboriculture à enracinement profond sur les zones humides combinée avec des cultures intercalaires (oignons, poivrons, etc) ;

***où l'intensification de la production pour être optimisée exige en compensation des exportations, des fumures organiques et minérales raisonnées ;**

*zone favorisée sur 30% de la parcelle et que l'on est tenté d'étendre à l'amont (cuvettes sous les arbres, labour grossier en courbe de niveau pour les céréales) et à l'aval du bourrelet (deuxième fossé ou cuvettes pour les arbres), mais en perdant alors la sécurité d'une production minimale en année très sèche.

On comprend mieux pourquoi cette technique doit être réservée aux terres riches et profondes, si on veut tirer le meilleur parti des eaux de ruissellement piégées.

1.4. Typologie des banquettes selon le mode de gestion des eaux de surface

En Tunisie, « le génie créateur de dizaines de générations n'a cessé d'inventer et d'affiner une panoplie de techniques permettant de survivre en milieux semi-arides » (Ennabli, 1993). Il est donc utile de présenter un essai de typologie des banquettes tenant compte des zones écologiques et de quatre modes de gestion des eaux (Roose, 1994).

A. Captage du ruissellement en région aride (*Pluie < 200 mm, ou longue saison sèche*)

Les MESKAT sont des champs sur versants organisés en impluvium nu et tassé (pâturé) au bas duquel une « tabia », gros bourrelet de terre, recueille le ruissellement et l'oriente par des canaux vers les cuvettes où poussent des oliviers. Le ruissellement déborde de cuvettes en cuvettes et donne un complément d'irrigation à chaque arbre. La zone d'impluvium a évolué de 2/3 de la surface du champs à l'origine, à 1/3 actuellement sous la pression de la population.

Les JESSOURS sont des aménagements de bas fonds en zone aride formés d'une tabia (grosse digue en terre et cailloux) qui recueille le ruissellement et sa charge solide pour y développer progressivement un champs valorisé par quelques arbres (oliviers, palmiers et figuiers) et des cultures fourragères, des céréales, des légumes secs en années favorables; les exutoires sont traditionnellement situés en bordure de la tabia sur la colline (Bonvallet, 1986).

B. Absorption totale des eaux de surface (*sur sols perméables et pluviosité < 400 mm*)

Dans les zones semi-arides (Pam < 400 mm), et sur sols faiblement pentus sablo-argileux perméables, les populations sahéniennes ont développé des digues en terre pour piéger l'abondant ruissellement qui se forme sur les glacis en pentes faibles en période humide et chaude. Cette méthode a été introduite en zone méditerranéenne sur des pentes plus fortes (5 à 20%) avec des pluies concentrées en automne et au printemps en période froide. Les sols étant souvent nus à ces périodes, ces banquettes d'absorption totale débordent, forment des ravines où s'engouffre le ruissellement accumulé derrière les bourrelets. On s'oriente maintenant vers des éléments de banquettes d'absorption partielle qui comportent moins de risques en cas de débordement par des exutoires organisés en quinconce à l'intérieur du périmètre de CES.

C. Diversion des eaux excédentaires du champs vers des exutoires naturels ou aménagés

Quand les pluies sont si abondantes qu'on considère qu'elles vont ruisseler sur les champs cultivés fragilisés, on l'évacue sur des banquettes de diversion vers un exutoire aménagé avant qu'il n'atteigne des vitesses lui permettant de griffer la surface du sol en rigole et ravines. Ces banquettes, très fréquentes en Algérie dans des zones semi-humides (500 à >1000 mm), intéressent peu les paysans, mais alimentent les barrages. Inventées par Bennett aux USA en 1930 pour réduire la dégradation des sols limono-argileux sur loess, elles posent beaucoup de problèmes en Algérie où les sols, les pluies et le milieu socio-économique sont très différents. Cette technique transforme souvent l'érosion en nappe primitive en ravinement dans les exutoires mal protégés ou aux endroits de débordement des banquettes. (Heusch, 1991; Roose, Arabi, Brahamia, Chebbani, Mazour, Morsli, 1993).

D. La dissipation de l'énergie du ruissellement.

Contrairement aux banquettes de diversion qui concentrent les eaux de surface dans des canaux où la moindre erreur provoque des débordements et ravinements, il s'agit d'étaler les eaux de ruissellement pour profiter de la rugosité de la surface du sol et des structures semi-perméables (cordons de pierres, bandes enherbées, haies vives) pour ralentir le ruissellement, dissiper son énergie et lui permettre d'atteindre lentement le réseau de drainage

sans accélérer le temps de concentration. Cette stratégie permet une meilleure infiltration, mais surtout rallonge le temps de parcours des eaux de surface, réduit le débit de crue et diminue considérablement les transports solides dans l'ensemble du bassin versant. (Roose, 1994 ; Bergaoui et Camus, 1995).

E. Les banquettes d'absorption partielle

Dans la zone centrale de la Tunisie où les pluies sont variables de plus de 600 mm en années humides à moins de 200 mm en années sèches, on peut trouver tous les cas de figure. Il est donc sage de développer un modèle de banquette qui capte assez de ruissellement pour assurer un minimum de production en année très sèche, mais qui permet le débordement des pluies les plus abondantes de fréquence rares ($> 1/10$) vers l'oued et les barrages.

La forme, les limites et le fonctionnement des banquettes mécaniques ont été décrits plus haut. Rappelons qu'elles peuvent stocker presque la totalité des averses moyennes et grosses et ne débordent que 2 à 5 fois l'an.

Pour une pente de 10%, un sol perméable, et 300 m linéaire/ha de fossé,

* la banquette mécanique stocke $300 \text{ m} \times 6 \times 0,3 = 540 \text{ m}^3/\text{ha}$ soit 54 mm

* la banquette manuelle stocke seulement $300 \text{ m} \times 0,8 \times 0,5 = 120 \text{ m}^3/\text{ha}$ soit 12 mm

A ces lames d'eau stockée, il faut rajouter la pluie d'imbibition (P_i varie de 20 mm sur sol sec à 3 mm sur sol détrempé) et l'infiltration dans le fossé durant la pluie (10 mm/h en humide), soit environ 85 mm d'après Dridi et al (2002).

Pour valoriser ce stock potentiel d'eau il faut limiter la banquette mécanique aux terres profondes et riches et les grandes parcelles, tandis que les banquettes manuelles trouveront mieux leur place dans les sols plus caillouteux, plus résistants, chez les petits propriétaires et dans les parcelles isolées où elles vont évoluer en terrasses progressives grâce à la végétalisation des bourrelets.

Vu leur faible capacité de stockage et de résistance à l'érosion hydrique et éolienne, il vaut mieux choisir des ados vigoureusement végétalisés sur des sols sablo-limoneux très fragiles : leur fréquence rapprochée leur permettra de dissiper l'énergie du ruissellement et de faire évoluer rapidement le versant vers un système de terrasses progressives stabilisées.

1.5. Fertilisation raisonnée pour valoriser les apports d'eau de ruissellement

L'amélioration des conditions hydriques, par irrigation ou complément de ruissellement, augmente généralement la production de biomasse, mais dans la limite étroite du potentiel génétique des végétaux cultivés et de la disponibilité en nutriments des sols. Or beaucoup de sols méditerranéens sont carencés en phosphore assimilable, en azote et en certains micro-éléments.

La valorisation des apports d'eau, variables selon les années doit donc s'accompagner de l'ajustement et du fractionnement des apports en nutriments minéraux et de l'optimisation des apports organiques (amélioration des fumiers, cultures fourragères, jachère cultivées en légumineuses plutôt que jachère nue, agroforesterie, compostage des déchets familiaux et urbains). Il est important de rechercher une meilleure association entre la culture et l'élevage. Un effort devrait être fait pour mieux valoriser les compost de litière des étables et les résidus des ménages, cendres, etc... qui actuellement sont exposées au soleil (pertes d'azote) et aux pluies (lessivage des bases).

2. Recommandations

Suite aux observations et discussions sur une trentaine de sites choisis par les coordinateurs du projet sur les trois gouvernorats en fonction de la diversité des pluies, des toposéquences, de la dégradation et de l'usage des terres, et en fonction

- *de la bonne tenue des banquettes mécaniques ces vingt dernières années,
- *des demandes paysannes et de l'étendue des problèmes urgents d'érosion,
- *de la disponibilité en matériel lourd et en personnel qualifié,
- *de la volonté de l'Etat tunisien de se désengager en faveur des communautés rurales,
- *de l'évolution des stratégies de CES vers plus de participation et plus d'intensification de l'agriculture, nous proposons les recommandations suivantes :

1. La réalisation des contrats de mise en place des banquettes mécaniques pour limiter les transferts de sédiments et réduire les risques d'inondations des plaines, mais

- *en respectant les normes : restriction aux seuls sols profonds perméables de 5 à 15% de pente (<20 à 30 % des surfaces des bassins), restriction des hauteurs des bourrelets à 120 cm à la réception, adaptation optimiste des écartements entre bourrelets de la formule de Bugeat en fonction de la résistance des sols bien structurés, des systèmes de culture couvrants, de la capture du ruissellement par les cuvettes des oliviers ;
- *en organisant l'intensification de la mise en valeur du fossé et du bourrelet, le renforcement de la fumure organique et minérale, la diversification des cultures en bandes tenant compte de la disponibilité supplémentaire en eau, la densification de l'arboriculture associée aux cultures intercalaires fourragères, le renforcement des exutoires et passages divers ;
- *en proposant des schémas de gestion des résidus organiques, de rotation, de cultures fourragères et des nouvelles cultures...
- *en proposant des cultures fourragères couvrantes et pluriannuelles pour protéger et valoriser les bourrelets.

2/ Quant aux sols caillouteux peu profonds à faible réserve hydrique sur fortes pentes, incapables de valoriser ces aménagements lourds, nous suggérons de s'inspirer des méthodes traditionnelles de capture du ruissellement pour restaurer la végétation (cuvettes de divers types) ou des méthodes de dissipation de l'énergie du ruissellement qui augmentent la rugosité de la surface du sol (mulch de cailloux, cordons ou murettes de pierres, haies vives de cactus/agaves).

3/ Les sols bruns calcaires sur croûte à faible profondeur méritent un sous-solage/rippage à 60 cm pour casser cette croûte, puis un épierrage en bandes avant plantation d'oliviers. Enfin les sols argileux ou vertiques sur marnes bénéficieront de techniques douces comme les ados végétalisés, des bandes enherbées et des haies vives en bout de parcelles.

4/ Une fois l'espace cloisonné en respectant les courbes de niveau, il reste à renforcer les exutoires, stabiliser les pistes et passages divers pour permettre aux gens de circuler et au ruissellement excédentaire de rejoindre calmement le drainage naturel. Toute canalisation des eaux raccourcit le temps de concentration, augmente le débit de pointe lequel gère les transports solides, déstabilise les berges, provoque les inondations et l'envasement accéléré des barrages.

5/. Mise en place d'un observatoire permettant de comparer en vraie grandeur les coûts, l'efficacité antiérosive (indicateurs), la faisabilité et l'acceptabilité par les bénéficiaires, les avantages et les inconvénients des différentes techniques, l'évolution du rendement des cultures et de la fertilité des sols sur les versants de ces trois gouvernorats. Le dialogue entre les techniciens CES, les paysans et les chercheurs peut être très enrichissant pour diversifier le choix des techniques de CES.

6. Les actions de CES pourraient enrichir la biodiversité très réduite dans cette zone semi-aride dégradée, avant que des pestes déciment les plantations et mettent en danger la durabilité des projets de développement rural intégré.

3. Annexes

3.1. Liste des personnalités rencontrées

FAO à Rome :

Jean Bonnal, SDAR
 Mme Sally Bunning, AGLL
 F. Dauphin, TCI ;
 J.M. Bisson, TCI ;
 M. Achouri, FORC
 M. Bonnet, IRAM
 M Parvis Koohafkan, chef AGLL

DG/ACTA à Tunis:

M Habib Farhat , DG /ACTA et directeur national
 M.Mohamed Boufaroua, directeur CES à la DG/ACTA
 M.Anatar Issam, sous directeur à la DG/ACTA
 M. Guedouin Salaheddine, sous directeur à la DG/ACTA

FAO à Tunis :

M. M. Sinaceur, représentant de la FAO en Tunisie
 M. Massimo Marino, CTP.
 Mme Sylvie Tourette, Chargée socio-économie,
 M. Jalel El FALEH, coordinateur national, CES, hydrologue
 M. Pietro Chiappini Carpena, expert international.

Kairouan :

M. Abdellaoui Thameur chef d'arrondissement CES au CRDA de Kairouan
 M.Alouani Bouzid, coordinateur régional,
 M. Brahim Harrathi, ingénieur CES
 M. Abdellatif Rabhi, animateur
 Mme Nejiba Abdellaoui, Animatrice
 Mlle Samia Bellali, animatrice

Siliana :

M. Hédi Mettichi, CRDA de Siliana
 M. Kamel Dridi, chef arrondissement CES-CRDA de Siliana
 M. Ahmed Rajah, coordinateur régional FAO,
 Mme Samira Rezgui, animatrice,
 M. Daabouch Khaireddine, ing. Adjoint CES

Zaghouan :

M. Ridha Ben Chaabene, CRDA de Zaghouan
 M. Bettaieb Moujahed ; chef arrondissement CES-CRDA
 M. Hassen Chourabi, coordinateur Régional FAO.
 M. Abdelamjid Ben Mohamed, ingénieur CES

1.2. Liste des documents consultés

Albergel J., Mansouri M., 2000. Influence de l'aménagement en banquettes sur les crues d'un petit bassin versant en Tunisie Centrale. Bull. Réseau Erosion, 20 : 153-165.

Albergel J., Mansouri T., Zante P., Ben Mamou A., Abdeljaoued S., 2002. Matière organique dans les sédiments des barrages collinaires en zone méditerranéenne semi-aride Tunisienne. Bull. Réseau Erosion, Montpellier, 22, 11 p., sous presse.

Aubert G., 1986. Réflexions sur l'utilisation de certains types de banquettes de DRS en Algérie. Cah. ORSTOM Pédol. 22, 2 : 147-151.

Bergaoui M., Camus H., 1995. Impact des travaux antiérosifs sur les crues et les transports solides de 3 micro-bassins semi-arides tunisiens. Bull. Réseau Erosion 15 : 362-381.

Bergaoui M., Camus H., Nouvelot J.F., 1996. Quantification du transport solide sur les micro-bassins de Tebaba (Tunisie centrale). Bull. Réseau Erosion 16 : 257-275.

Bergaoui M., Albergel J., 2000. Effets des aménagements en pierres sèches sur la forme des crues de l'oued Zioud, Tunisie. Bull. Réseau Erosion 20 : 23-38.

Bonvallet J., 1986. Tabias et jessour du Sud Tunisien. Agriculture dans les zones marginales et parade à l'érosion. Cahier ORSTOM Pédol. 22, 2 : 163-172.

Boufaroua M., 1996. Conservation des eaux et des sols dans la zone du projet de développement de l'Agriculture au plateau de Sidi M'Haddeb (Tunisie). Bull. Réseau Erosion n° 16 : 169-180.

Chaabi A., 1988. Méthodes d'évaluation de l'érosion sur un versant traité en banquettes dans une zone semi-aride sous pluies naturelles ou simulées. Mémoire INA Tunis.

Cherif B., Mizouri M., Aouina M., Khaldi R., Laribi M., 1995. Guide de conservation des eaux et du sol. PNUD-FAO Projet TUN86/020, 273 p.

Collinet J., Zante P., Attia R., Dridi B., Agrebaoui A., 2002. Analyse expérimentale de l'érosion aréolaire sur le bassin versant du lac collinaire de Fidh Ali (Tunisie). Min. Agri. Tunis, Direction des Sols, IRD Tunis, 55 p.

Delhoume JP., Barbery J., 1985. Etude du milieu semi-aride du Djebel Semmama : ruissellement et érosion en zone montagneuse en Tunisie centrale : résultats des campagnes 1975-78.

Ennabli N., 1993. Les aménagements hydro-agricoles traditionnels en Tunisie. INRAT, Dept. GREF, Tunis, 255 p.

Etude de création du lac collinaire de l'oued Aïn SNOUBER. Version définitive, septembre 2000, CNEA Zaghuan, 150 p.

- Etude technique et socio-économique du lac collinaire El Brahmia, El Atoa, Kairouan. Rapport final, octobre 2000. Projet DRI/GRN/Progr. 1998.ACE Engineering,
- Fauk R, Makhlof E., Bachta M., Lamary M., Marouani A., 1991.** Evaluation sur les techniques de CES en Tunisie. PNUD, FAO, Dept. CES Tunis, 90 p.+ annexes.
- Heusch B., 1986.** Cinquante ans de banquettes de DRS-CES en Afrique du Nord : un bilan. Cah. ORSTOM Pédol. 22, 2 : 153-162.
- Heusch B., 1995.** Pourquoi la banquettes CES diminue les rendements et augmente l'érosion. Bull. Réseau Erosion 15 : 317-325.
- Kouri L., Vogt H., Gomer D., 1997.** Analyse des processus d'érosion linéaire en terrain marneux sur le bassin versant de l'oued Mina, Tell Oranais, Algérie. Bull. Réseau Erosion 17 : 64-73.
- Mando A., Kieppe & Stroosnijder, 1999.** Effets des bandes d'Andropogon sur le ruissellement et l'humidité du sol. Bull. Réseau Erosion 19 : 153-154.
- Nasri S., Hamza A., Sfar F., 1997.** Contribution à l'étude de la dynamique érosive dans le bassin versant de l'oued Ettieur (Haffouz, Tunisie). Bull. Réseau Erosion 17 : 314-332.
- Nasri S., 2002.** Hydrological effects of water harvesting techniques. A study of tabias, soil contour ridges and hill reservoirs in Tunisia. Lund University, Sweden, report n° 1030, 104 p.
- Nasri S., J. Albergel, R. Berntsson, J.M. Lamachère, 2002.** Impact of soil contour ridges on runoff and erosion in a small hillside catchment (El Gouazine, central Tunisia). Hydrological Processes, submitted. 17-32.
- Programme de CES dans les gouvernorats de Kairouan, Siliana et Zaghuan, 1991 .** Plan d'opérations du programme. Coopération Italie-Tunisie, 64 p.
- Roose E., M. Arabi, K. Brahamia, M. Chebbani, M. Mazour, B. Morsli, 1993.** Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Cah. Orstom Pédol. 28, 2 : 289-308.
- Roose E., 1994.** Introduction à la Gestion Conservatoire de l'Eau et de la fertilité des Sols (GCES). Bull. FAO des SOLS, FAO ROME ,n° 70, 420 p.
- Roose E., Chebbani R., Bourougaa L., 1999.** Ravinement en Algérie : typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Bull. Réseau Erosion ORSTOM n°19 ;122-138.
- Roose E. & Sabir M., 2000.** Stratégies traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans le bassin méditerranéen : classification en vue d'un usage renouvelé. In « Séminar Internat. , Montpellier « Hydrologie des régions méditerranéennes » Doc . Techn. Hydrologie, Unesco, Paris n° 51 : 101-109.
- Roose E., 2001.** 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/IRD. IRD, Montpellier, 23 + 12 p.
- Selmi S., 1997.** Intervention de l'Etat en milieu rural et réaction des collectivités locales face à la gestion d'une ressource rare (l'eau). Les lacs collinaires dans le semi-aride tunisien. Bull. Réseau Erosion 17 : 176-185.
- Snane M., Ennabli N., Mechergui M., Chaabi A., 1989.** Impact des banquettes à rétention totale sur la fertilité et l'érosion des sols à l'amont du barrage de l'oued SILIANA, zone semi-aride de Tunisie. Land & Water Use, Dodd & Brace eds., Balkema, Rotterdam, 779-784.
- Stratégie nationale de la conservation des eaux et du sol, 1990-2000.,** Min. Agriculture, Dir. CES, Tunis, 1993, 29 p.+ annexes
- Tunisie. Projet de développement agricole intégré de Siliana. Rapport de préévaluation, 1995.** FIDA, 36 p.
- Wischmeier W. & Smith D., 1965.** Predicting rainfall erosion losses from cropland. Agriculture handbook n° 282, 47 p., USDA-ARS, Washington DC.USA.

3.3. Schéma de valorisation d'une banquette mécanique

La banquette mécanique peut se partager en 4 zones du point de vue hydrique :

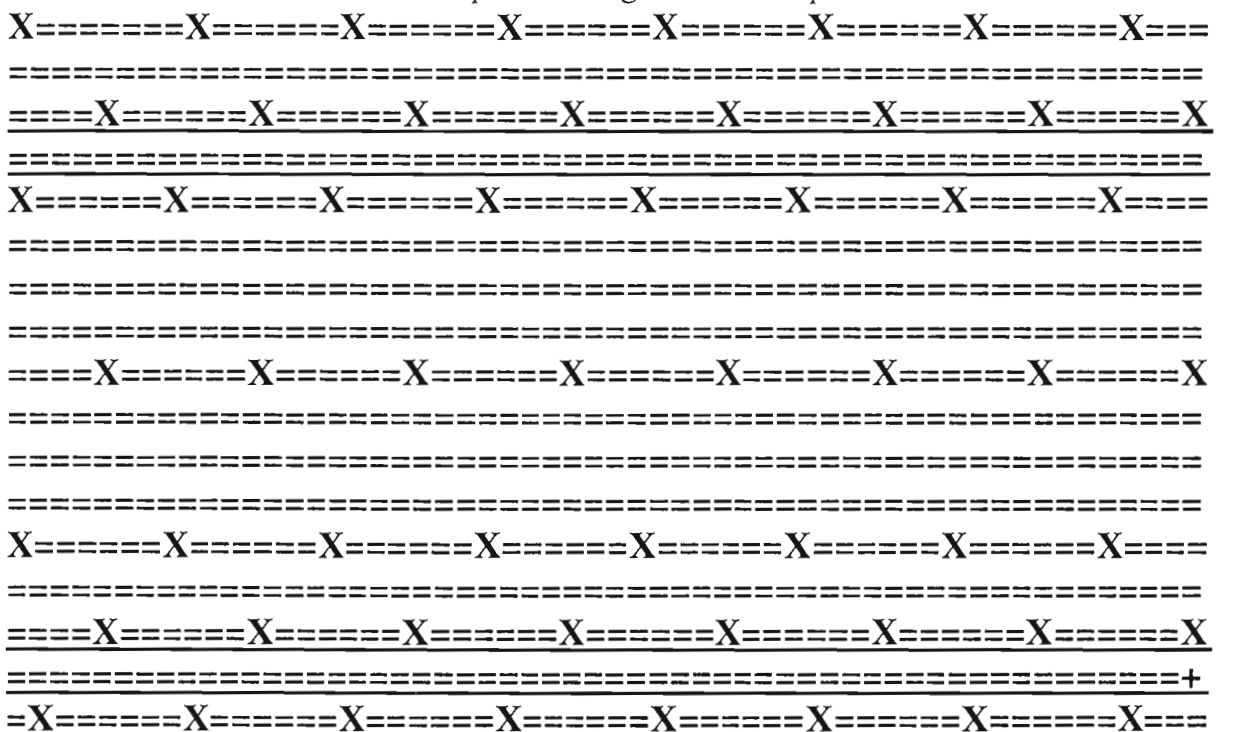
- 1/ le fossé : large de 6 mètres , reçoit les eaux de ruissellement de l'impluvium,
- 2/ le talus reçoit la pluie et un apport latéral des eaux du fossé,
- 3/ l'impluvium à l'amont du fossé, zone cultivée entre les bourrelets, qui ne reçoit plus que la pluie moins le ruissellement,
- 4/ la zone de l'impluvium à l'aval et proche du bourrelet qui pourrait recevoir un appoint d'eau par drainage à travers le bourrelet lors des grosses averses.

Les observations sur le terrain ont montré que seuls les arbres proches du bourrelet ou dans le fossé étaient en meilleur état et produisaient plus de fruits que ceux situés sur l'impluvium. On peut donc suggérer l'organisation de deux bandes de culture en fonction des apports probables d'un supplément d'eau (et de nutriments).

- 1/ Bande de culture intensive autours du bourrelet :oliviers à 6m en quinconce .
 - * une ligne à l'aval du bourrelet à moins de 3 mètres du centre du bourrelet,
 - *deux lignes à l'amont du bourrelet, profitant des eaux de ruissellement.

On peut imaginer que dans cette zone on profite des années où les pluies sont favorables pour y cultiver des légumineuses (pois, lentilles, fèves, etc) ou des fourrages. Il faut évidemment réajuster la fertilisation en fonction des rendements espérés.
- 2/ Bande de culture extensive constituée de deux lignes d'oliviers à 12 m (avec cuvette ou petit ados de terre) et de céréales ou de cultures fourragères peu exigeantes (Sulla, trèfle méditerranéen ?)

Dans le schéma sous-jacent, les bourrelets sont représentés par = entouré de ligne grasse, les arbres par X, et les distances entre = sont équivalentes à 3 mètres. La distance entre bourrelets est de 33 m. Les espaces entre arbres peuvent être cultivés durant la croissance des arbres. La distance entre bourrelets peut être augmentée si on prévoit des cuvettes entre arbres



3.4. Données hydrologiques de base pour la Tunisie centrale

Poste Pluviométrique	Pluie annuelle médiane (mm)	altitude (m)	Pluies journalières (mm)				Période
			½	1/10	1/50	1/100	
Sidi Bou Zid	262	345m	36	96	-	-	1962-85
Nabeul	391	2m	56	100	145	168	1950-85
Kairouan	307	66m	42	69	95	105	1901-80
Siliana	404	431m	42	72	95	138	1953-85
Zaghouan	478	232m	57	100	138	154	1907-75
Makhtar	504	637m	44	83	132	160	1907-75

D'après une communication écrite de Lamachère, 2002.

Noter

- * qu'il n'y a pas de liaison entre la pluie annuelle moyenne et la pluie journalière de fréquence donnée,
- * plus on se rapproche de la côte et plus la pluie journalière est forte,
- * l'importance des vents humides dominants en montagne ...

Selon Dridi, Bourges , et al ... BRE 20 : 192-203.

- BV Merguellil 1200 km²,
- Pluie annuelle moyenne = 450 mm
- Lame ruisselée = 25 à 30 mm, $K_{ram} = <10\%$, $K_{rmax} = 65\%$
- Surface couverte par banquettes = 17 %
- Pluie journalière 1/100= 105mm
- $K_{rmax} = 30$ à 40% des plus grosses averses
- Capacité de rétention des banquettes mécan.= 85 mm, plus que la pluie de fréquence décennale.
- Si 17% de surface couverte de banquettes, réduction du ruissellement de 17% et déficit de 40% de sédiments par rapport aux années avant aménagement,
- Baisse du ravinement en aval.
- Si la population est dispersée et les pentes faibles , les banquettes mécaniques seraient plus efficaces qu'un lac collinaire pour infiltrer l'eau sur place.

Selon Bergaoui et Albergel, BRE 20 , 2000.

Sur Oued Zioud, Jbel Semama, Pam = 350 mm, sols bruns calcaires

En 1989, aménagements en pierres sèches sur versant et bas fond seuils en pierres sèches ...

Temps de montée est passé de 10 à 70 min

Lame ruisselée journalière = $X = 0,16$ à 8mm/averse, soit 3%

Pour les plus fortes averses le volume écoulé a peu changé, mais le débit de pointe a beaucoup diminué ; la forme des crues est plus plate et plus durable,

Et les transports solides ont diminué de 50 à 90%

Bonne corrélation transport solide = f(intensité pluie, l'intensité du débit de pointe et le volume ruisselé).

Selon Nasri Slah,(thèse 2002)

Volume du canal = 0.6 volume des bourrelets

Si banquettes mécaniques, l'oued ne reçoit plus de ruissellement pour des pluies de moins de 80 à 90 mm

Pluie 1/10 = 90 mm avec intensité de 60mm/h durant 60min. et >80 mm/h durant 30 minutes

3.5. La diversité biologique dans le projet

D'après Nasri, Hamza et Sfar, le facteur C du modèle de prédiction USLE (Wischmeier, 1978) varie de la façon suivante :

Forêt sèche C = 0.09

Parcours forestier C = 0.20

Parcours dégradé C = 0.45

Céréales C = 0.63

Arboriculture+ céréales.. C = 0.57

Arboriculture+ sol nu ... C = 0.90

Paillage C = 0.02

Jachère nue C = 1

Les arbres fruitiers en eux même n'arrêtent pas beaucoup l'énergie des gouttes de pluie ni l'énergie érosive, mais ils peuvent orienter les techniques culturales perpendiculairement aux pentes et valoriser au mieux les eaux infiltrées grâce à leur enracinement abondant et profond.

Nous avons été frappé par la pauvreté de la flore observée dans les milieux cultivés :

Arbres : *Pinus halepensis*, *Cupressus sempervirens* et *C.bleu*, *Juniperus oxyphillus*, *Casuarina sp.*, *Eucalyptus camaldulensis* et *E. gonfocephala...*, *Quercus kermès*, *palmier humilis* et quelques palmiers dattiers, pistachier lentisque

Peupliers et saules, laurier rose, *Tamarix aphilla* dans les zones humides

Arbres fruitiers poussant dans le fossé: oliviers, figuiers, voir grenadiers, pistachier,

Espèces fourragères : *Acacia cyanophilla* et *Prosopis juliflora*,

Sulla (Hedisarum chamosum), *dyss (Ampelodesmo mauritiaca)*, *Cynodon dactylon*,

Medicago arborea, *Atriplex numularia/A. halimus*, *Opuntia inermis*.

Haies vives : *Cactus piquant*, *Agave*, *Acacia eburnea*, *Ziziphus* , amandiers serrés .

Il manque d'espèce fourragère basse couvrant le bourrelet et le protégeant contre l'érosion .

On pourrait penser au *sulla*, au *cynodon* (très envahissant) ou le trèfle méditerranéen bisannuel.

Les australiens possèdent des espèces valables pour les zones semi-arides pâturées.

3.6. Coût des diverses techniques de CES

Dans le projet ITA, le financement des diverses actions est partagé entre l'ITA (50 à 100%), le CRDA (33 à 100%), le FOSDA (0 à 25%) et la population (0 à 50%).

Sur la fiche jointe provenant de Kairouan (mis à jour en 2001), les gros travaux mécanisés sont pris en charge par l'ITA ou le CRDA (correction des ravins). On peut craindre que la population ne soit pas très motivée par leur entretien puisque ces aménagements sont « l'affaire du projet ».

Par contre la population est payée pour le cloisonnement de l'espace (haies de cactus) (50%), les cordons en pierres sèches (50%), la consolidation des aménagements (50%), le terrassement des banquettes manuelles (50%), les plantations arboricoles (50%), les cuvettes individuelles (25%) et l'épierrage (20%). La main d'œuvre est familiale : le projet injecte donc de l'argent frais dans l'économie locale ce qui doit être apprécié dans ces zones déshéritées. Mais les bénéficiaires investissent aussi pour l'amélioration foncière de leur terre. Il semble donc que ces aménagements, très proches des techniques traditionnelles de gestion des eaux de surface et de lutte antiérosive, peuvent motiver les paysans qui connaissent déjà leur fonctionnement. Il est souhaitable d'étendre ces techniques sur toute la zone des sols caillouteux, peu aptes à être traités mécaniquement.

Mais certaines de ces techniques pourraient, sans grandes difficultés remplacer partiellement (ex. cuvettes ou haies de cactus sur gros billon, permettant de capter une partie du ruissellement et donc d'augmenter l'espacement entre les bourrelets des banquettes mécaniques) ou totalement les banquettes mécaniques, à terme.

Dans la fiche synthétique qui nous a été remise, il n'est pas possible de comparer le coût des banquettes mécaniques (payés aux entreprises), des banquettes manuelles, des cordons de pierres, affichées au même prix (350 DT/ha) car il n'est pas précisé si le coût des consolidations et autres plantations nécessaires sont comprises ou non. Depuis octobre 2002, le coût de la main d'œuvre est passée à 4DT par jour de travail... Mais nous ignorons l'augmentation du coût des machines, pétrole et personnel qualifié.

Par contre, les cuvettes individuelles (empierrées ?)(175DT), cloisons biologiques (haies de cactus ?)(125 DT), défonçage et épierrage (180 DT) sont deux fois moins chères...

Voilà un argument intéressant en faveur de la limitation des banquettes mécaniques aux zones capables de supporter un tel investissement ... de l'Etat, sans contre partie des bénéficiaires...

Il est évidemment bien plus facile de faire gérer par un entrepreneur un gros chantier mécanisé plutôt que de devoir suivre de près de très nombreux petits chantiers dispersés chez de multiples paysans.

Coût unitaires des aménagements sur le terrain

VERSION REVUE ET CORRIGEE 06/12/2001

	Activités	Unités	Coût Unitaire en DT	Ref	Mode d'exécution	Encadrement	Contributaires financiers	Procédures de paiement
B.2 Aménagements CES au niveau d'un ensemble d'exploitations								
B2.1	Lacs collinaires	Unités	238,000	Prodoc	Entreprise	A/CES	Ita 100 %	Feuille d'attachement, décomptes et virement
B2.2	Epanchage de crues	Unités	23,000	Prodoc	Entreprise	A/CES	Ita 100 %	Feuille d'attachement, décomptes et virement
B2.3	Terrassement Mécanique	ha	0,350	FOSDA	Entreprise	A/CES	Ita 100 %	Feuille d'attachement, décomptes et virement
B2.4	Protection des ouvrages	Unités	140,000	Prodoc	Entreprise	A/CES	Ita 100 %	Feuille d'attachement, décomptes et virement
B2.5	Correction des ravins	ha	0,370	DG/ACTA	Régie CRDA - A/CES	A/CES	CRDA 100 %	Feuille d'attachement et de paie
B.3 Actions au niveau de l'exploitation								
B3.1	Equipement Hydraulique	Unités	7,000	Prodoc	Fournisseur	A/PI A/GR	Ita 65 %, 10 auto financement et 25 % FOSDA	
B3.2	Citernes d'eau enterrées	Unités	5,600	FOSDA	Familial	A/PI A/GR	Ita 65 %, 10 auto financement et 25 % FOSDA	
B3.3	Cloisonnement de l'espace	ha	0,125	FOSDA	Familial	A/CES	Ita 50 %, Population 50 %	Feuille d'attachement et de paie
B3.4	Cuvettes individuelles	ha	0,175	DG/ACTA	Familial	A/CES	Ita 75 %, Population 25 %	Feuille d'attachement et de paie
B3.5	Cordons en pierres sèches	ha	0,350	FOSDA	Familial	A/CES	FOSDA 50 % Population 50%	Feuille d'attachement et de paie
B3.6	Consolidation des aménagements	ha	0,250	FOSDA	Familial	A/CES	FOSDA 50 % Population 50%	Feuille d'attachement et de paie
B3.7	Fixation par plantation	ha	0,800	DG/ACTA	Régie CRDA - A/CES et Familial	A/CES	Ita 67 %, CRDA 33 % *; Partage sur base territoriale	Feuille d'attachement et de paie
B3.8	Contrôle du jujubier	ha	0,280	Prodoc	Régie avec engins du CRDA	A/CES	CRDA 80 %, Population 20 %	Feuille d'attachement et de paie
B3.9	Défonçage et éperrage	ha	0,180	FOSDA	Régie CRDA - A/CES et Entreprise	A/CES	Ita 80 %, Population 20 %	Feuille d'attachement et de paie
B3.10	Terrassement manuel	ha	0,350	FOSDA	Familial	A/CES	Ita 50 %, Population 50 %	Feuille d'attachement et de paie
B.4 Actions de mise en valeur								
B4.1	Plantations arboricoles	ha	0,900	DG/ACTA	Familial	A/PV A/CES	CRDA 50 % Population 50%	
B4.2	Amélioration pastorale		0,800	OEP	Familial ou en Régie	OEP A/F	Ita 100%	
B4.3	Assolement	ha	0,170	Prodoc	Familial	A/PV	Ita 100%	
B4.4	Acquisition de citernes et bêtes de trait	Unités	0,600	Prodoc	Fournisseur	A/PI A/GR	Ita 65 %, 10 auto financement et 25 % FOSDA	
B.5 Soutien aux activités complémentaires								
B5.1	Apiculture, petit élevage	Unités	0,140	Prodoc	Fournisseur	OEP	Ita 90 %, Population 10%	

* Pour Kairouan la contribution financière est la suivante Ita 85%, CRDA 15%

Coût unitaire des aménagements sur le terrain
(mis à jour à Kairouan, le 6/12/2001)

3.7. Les techniques traditionnelles de GCES observées dans les trois gouvernorats

Dans le cadre de cette courte mission, il nous a aussi été demandé d'introduire des éléments de discussion en vue d'une évolution progressive ou d'une diversification des techniques de CES faisant appel à des moyens mécaniques lourds que seul l'Etat peut organiser, vers des techniques simples, peu coûteuses et plus faciles à mettre en place par les paysans.

C'est pourquoi nous avons posés quelques questions à nos interlocuteurs sur les techniques traditionnelles de gestion de la fertilité des sols et sur la gestion traditionnelle des eaux de ruissellement connues avant que s'organisent les projets des ingénieurs de l'Administration. La liste jointe n'est certainement pas exhaustive, mais nous la livrons comme un point de départ d'une discussion d'avant garde sur les possibilités de s'inspirer des techniques traditionnelles pour aménager l'eau des versants (et les nutriments qu'elle mobilise) au bénéfice de la communauté rurale qui l'exploite, de les améliorer avec nos technologies modernes et de s'en inspirer pour réfléchir à l'utilisation des terres dans un milieu socio-agro-écologique semi-aride régional.

37.1. Les stratégies de gestion de la fertilité des sols du versant.

1.1. Les parcours en sommet de colline caillouteuse

Ces terres étant difficilement cultivables et peu profondes étaient initialement sous une végétation arbustive (matorral) qui s'est dégradée d'autant plus profondément que les autres parcours ont été progressivement mis en culture. Par ailleurs leur régénération est très lente du fait du climat semi-aride mais aussi de la roche calcaire qui, lors de l'altération laisse très peu de résidus terrigènes. Sous le piétinement des animaux (pression aux pattes de 2,5 à 5 kg/cm²) le sol résiduel s'est tassé. Le (sur)pâturage a réduit progressivement le couvert végétal qui protège de la battance des pluies et la litière qui nourrit l'humus du sol et accélère son altération. Au bout d'un siècle ces zones fonctionnent dorénavant comme des impluvium où ne survivent que quelques plantes pérennes profondément enracinées dans des poches de terres ou dans les fissures entre cailloux .

Vouloir y recréer une forêt pour produire de la cellulose est une gageure : tout au plus pourrait-on profiter d'une mise en défens temporaire (3-5 ans) pour enrichir le parcours d'arbustes fourragers bien adaptés plantés dans des cuvettes (éléments de gradin) captant le ruissellement et les nutriments apportés par les pluies et le bétail.

Une autre orientation consiste à considérer ce milieu comme un impluvium et valoriser le ruissellement en aval sur des sols à potentiel plus élevé, ou capter ces eaux de surface dans des citernes : le « surpâturage devient alors un mode efficace de gestion des eaux ».

1.2. Les jachères pâturées ou nues après céréales

Pour ne pas épuiser trop rapidement le stock du sol de nutriments assimilables par les cultures (en particulier le phosphore et l'azote), les paysans ne disposant pas de fumier en suffisance , ni d'engrais minéraux complémentaires n'ont qu'une possibilité de « régénérer la fertilité de la terre » c'est de la mettre au repos pour qu'elle restaure d'elle même son stock en eau et en nutriments. La pluie apporte quelques kg d'azote et de bases : le vent peut aussi jouer un rôle favorable (dépôt de loess) ou au contraire accélérer l'érosion des particules légères (MO, argile et limons).

Le passage des troupeaux peut laisser quelques kg de MO riche en N et bases, mais il appauvrit la terre de centaines de kg de chaumes et d'adventices résiduelles.

Cette méthode traditionnelle extensive n'est plus applicable en culture intensive où les exportations intensives de grains et de paille doivent être compensées par des apports minéraux calculés en fonction des potentialités de production locale (profondeur exploitable du sol et carences en P et N) et des pluies saisonnières (fractionnement des apports d'engrais en fonction des eaux disponibles).

La rotation avec des légumineuses (sulla, trèfle méditerranéen, lentilles, fèves, etc) peut être intéressante pour apporter de l'azote au système, mais il lui faut impérativement un apport de phosphore pour permettre un développement satisfaisant.

La jachère nue mise au point aux USA sur des terres bien structurées, ne permet que très rarement d'accumuler de l'eau dans le profil des terres semi-arides du Maghreb, trop sensibles à la battance et donc au ruissellement.

1.3. Le fumier, le compost et les cendres du foyer

Toute ferme dispose d'un petit troupeau de moutons, chèvres ou plus rarement de vaches, ânes ou chevaux. Ces animaux sont menés au parcours où ils prélèvent une biomasse peu abondante, mais très variée. Le complément est assuré par les pailles (raison de l'extension des cultures céréalières) et par la vaine pâture des terres libérées des récoltes. Les animaux à l'engrais bénéficient d'un complément de verdure (herbes des bords de chemins ou adventices arrachées aux champs par les femmes), de branchages en vert ou en sec (ramenés des parcours par les femmes) et plus rarement de concentrés achetés au marché.

Les animaux parcourant les champs durant la journée y dispersent leurs fèces qui, exposées au soleil, perdent une bonne partie de l'azote sous forme gazeuse. Mais la nuit, les animaux sont rassemblés dans un parc ou une étable où il est possible de produire du fumier. Généralement, comme il manque de litière, une partie de l'azote est perdue sous forme ammoniacale gazeuse. De plus ce fumier non décomposé est exposé au soleil pour qu'il perde « son brûlant » : en réalité il perd encore de l'azote, à moins qu'on y mélange des matières carbonées et les cendres du foyer (source de potasse et d'oligo-éléments). Le plus souvent il est accumulé en plein soleil en bord de ravine et rapporté au champs (6 kg de MS par olivier) dès le printemps, avant qu'il soit décomposé. De gros progrès sont possibles pour mieux gérer cette source d'humus et de nutriments (N 1 à 3% selon les animaux et leur gestion, K + Ca + Mg 1 à 5%, P ~ 0,1%), mais il est clair que les sols carencés en phosphore vont limiter la production de grains et de paille, donc la possibilité de disposer d'un bon fumier, lequel est lui aussi carencé en P car les animaux en ont prélevé une partie : on ne peut donc échapper à une fumure complémentaire en phosphore si on veut valoriser au mieux les eaux disponibles pour la production végétale. Nombreux sont les paysans tunisiens qui utilisent le gaz pour se chauffer et pour la cuisine, à l'exception du four à pain préchauffé au feu de sarments. La production de cendre est donc limitée mais celles-ci reflètent la composition minérale des plantes : même si le feu entraîne la perte de carbone et d'azote, les cendres sont une source d'appoint minéral non négligeable que l'on peut recycler en le mélangeant au fumier en voie de compostage.

37.2. Les techniques traditionnelles de gestion des eaux sur les versants

A. Capture du ruissellement et agriculture sous impluvium

2.1. Les cuvettes . Dans la zone des 250-450 mm, on peut capter une partie des eaux de ruissellement sur le versant lui-même en disposant des cuvettes autour des arbres . Ces « micro-catchment » de dimension très variables peuvent capter et stocker de 40 à 3000 litres par arbres soit 0.8 à 80 mm de pluie (si 200 arbres/ha). Les cuvettes peuvent avoir des

dimensions très variables (1 à 7m de rayon et 10 à 50 cm de profondeur) en fonction du développement du couvert et de l'aridité du terroir. **A la limite, sur les sols caillouteux les banquettes mécaniques peuvent être remplacées par un réseau de cuvettes si les arbres sont suffisamment rapprochés et le piégeage de l'eau continu sur toute la surface** : nous en avons vu un exemple à Kairouan. Le talus en terre est fragile et peut être renforcé d'un manteau de pierres. La demi-lune peut être modifiée pour s'adapter à la mécanisation : il suffit de monter des ados de terre à l'espacement choisi pour les arbres à l'aide d'une charrue à soc (1 à 3 passages) et de cloisonner ensuite l'espace attribué à chaque arbre. Ce dispositif a l'avantage de ramener à chaque arbre l'eau de ruissellement de l'impluvium calculé pour optimiser la production, au lieu de concentrer ce ruissellement dans le fossé des banquettes (=16% de la surface aménagée en bannette mécanisée sur une pente de 10%). Plus la zone est aride plus l'impluvium doit être grand, plus la densité des arbres diminue : à Kairouan on trouve des espaces entre oliviers variant de 7x7 m à 25 x 20 m. selon l'exposition aux pluies.

2.2. Les meskat. Il s'agit d'une zone de piedmont parcourue par le troupeau et qui ruisselle beaucoup, terminée par une tabia, levée de terre de 50 cm qui piège le ruissellement et l'érosion. Cette levée rassemble les eaux de ruissellement vers une terrasse progressive en aval où des oliviers ont été plantés sur cuvettes. Les eaux de surface débordent d'une cuvette vers la suivante et dévalent tranquillement vers le bas du versant. Le bétail entretient le sol dénudé et tassé, capable de donner un bon ruissellement.

2.3. Plantation d'arbre dans une fosse. Une technique de plantation des oliviers très répandue dans cette région semi-aride est de creuser une fosse de 1m³, d'y mélanger 10 kg de fumier avec la terre du fond, et de reboucher la moitié du trou avec la terre humifère de surface, le restant étant répandu à l'aval en demi-lune. Le jeune plant (2 ans de pépinière) est alors planté au fond d'une fosse d'un de 0.5 m³ qui capte les eaux de ruissellement et maintient une ambiance humide favorable. A la longue, cette fosse évolue en cuvette qui s'élargit avec le couvert de la canopée.

La méthode des **éléments de banquettes** est très voisine mais s'applique dans les sols caillouteux où on creuse une fosse allongée et aussi profonde que la roche le permet pour y planter 2 arbustes fourragers ou forestiers.

2.4. Les citernes, « majel ou magden ». Une autre technique très développée dans la zone de Kairouan est le creusement de citernes de quelques dizaines ou centaines de m³ dans une cuvette argileuse (dans les marnes), soit dans des abris sous roche calcaire, soit dans le sol avec revêtement des faces avec du mortier ou des pierres imperméabilisées à la chaux. L'eau captée provient de la pluie ruisselant sur une dalle rocheuse, du ruissellement sur une zone imperméable comme une piste ou des toitures. Ces eaux servent à abreuver les troupeaux et irriguer des petits jardins.

B. La dissipation de l'énergie du ruissellement

2.5. Les cordons de pierres et murettes. Sur des versants assez raides et caillouteux, on monte une murette (avec des pierres allongées en moellons) ou on accumule un cordon de pierres quelconques (sans travail de construction) sur un petit gradin en courbe de niveau. Derrière cet obstacle perméable, les eaux de ruissellement, le vent et les travaux du sol accumulent progressivement des sédiments où vont se développer des arbres (oliviers, amandiers ou arbres forestiers) et des arbustes fourragers. C'est une version intéressante de ralentissement du ruissellement ou encore de dissipation de l'énergie du ruissellement qui

aboutit à l'étalement des crues des oueds, à la réduction du débit de pointe et des transports solides (Bergaoui, Camus, Albergel, etc).

2.6. Les haies vives sur ados en bordure des parcelles .

Le long des drailles (chemins qui relient le village aux parcours), toutes les parcelles sont clôturées de haies vives de cactus, agaves ou acacias épineux pour les protéger du bétail et autres maraudeurs. Mais il arrive que ces haies soient situées perpendiculairement à la pente principale. On note alors la présence d'un talus formé par l'érosion aratoire (essentiellement) et par érosion hydrique et /ou éolienne. Ces talus enherbés et stabilisés par les racines des arbustes et les cailloux peuvent atteindre 1mètre de dénivelée en 5 à 10 ans avant de se stabiliser : ils participent à la consolidation du versant en rompant l'énergie du ruissellement, en transformant de longues pentes en une succession de secteurs moins inclinés concaves et de talus raides mais protégés.

Ces obstacles perméables ne retiennent pas beaucoup d'eau, contrairement aux banquettes, mais ralentissent le ruissellement, et comme les cordons pierreux étalent les crues, réduisent les débits de pointe et les transports solides.

2.7. Les gradins à talus enherbés ou empierrés. Localement des gradins horizontaux ont été taillés dans le sol épais et consolidés par des herbes, des arbustes et renforcés localement par des revêtements de pierres. Comme dans les cas précédents, ces talus ont permis de cultiver des pentes fortes, d'accumuler des sols épais et d'irriguer . Cette technique coûteuse en heure de travail et d'entretien ne se justifie qu'en cas d'irrigation et de production particulièrement rentable (jardins potagers/fruitiers/vigne)

2.8. Les ravines aménagées. Les ravines sont des zones particulières à écologie très contrastées (versants exposés ou non au soleil et aux vents, fond très humide à certaines saisons). Elles ont fait l'objet de plantations une fois leur impétuosité maîtrisée en y aménageant des cuvettes pour des arbres (oliviers, acacia cyanophilla, autres), des seuils en pierres sèches ou des barrages végétaux en touffes. En Algérie, une équipe de l'INRF et de l'ORSTOM a étudié les arbres et végétaux se développant dans ces différentes niches écologiques. Ces ravines, une fois stabilisées par de petits seuils en grillage pourraient créer des « oasis linéaires jardinées ».

2.9. Les « Jessours ». Dignes de terre renforcées de pierres pour l'exutoire organisé sur les flancs de colline, les jessours piègent les eaux de ruissellement et les sédiments des vallées en milieu aride. On peut les observer dans les Matmata, à quelques dizaines de km de la zone du projet en milieux encore plus arides que ceux qu'on a traversés.

2.10. Les digues d'étalement des crues des oueds. Dans la vallée, une digue de terre (hauteur = 2m) avec fusible est construite pour barrer l'oued et étaler les eaux sur la terrasse récente. Ce système permet une irrigation des terres peu pentues voisines de l'oued en même temps qu'un limonage enrichissant en MO . A quelques km de Kairouan, nous avons pu en observer : les oliviers sont productifs même en année sèche, mais seulement là où les arbres sont situés dans les zones inondées...

En conclusion, les aménagements actuels se sont déjà largement inspirés de ces méthodes traditionnelles, en particulier sur les terres caillouteuses de haut de versant.

Un effort pourrait encore être fait pour améliorer ces techniques, intensifier leur utilisation et adapter la fertilisation organique (très limitée par le manque de fourrages et perte d'éléments volatiles) et minérale (surtout P et N). La systématisation des grandes cuvettes permettrait de

mieux valoriser les eaux de ruissellement sur toute l'étendue des oliveraies, d'augmenter l'écartement entre bourrelets, ou même de les supprimer en faveurs de cordons de pierres ou de haies de cactus sur ados.

Ces techniques étant connues depuis longtemps en milieu semi-aride pourraient faire tache d'huile si elles étaient proposées et encouragées plus systématiquement à la place des banquettes mécaniques.

3.8. Liste des photos

1. TD7 repoussant la terre de surface et les herbes pour construire le bourrelet : le sous-solage doit favoriser un bon contact entre la surface du sol et les matériaux du bourrelet. Noter que le matériaux constituant le bourrelet est hétérogène et que, de plus le bourrelet a été accumulé devant la zone sous-solée au lieu de sur cette zone : on comprend que dans certains cas les premières eaux s'infiltrent à travers le bourrelet.

2. Le TD7 tasse la partie amont du bourrelet lui donnant une pente plus faible qu'en aval , ce qui théoriquement peut entraîner un glissement du bourrelet sous la pression du ruissellement

3. Banquette manuelle en voie de destruction par suite d'un débordement. Noter que la topographie du canal avait déjà été corrigée. Un cloisonnement pourrait réduire les risques d'accumulation localisée du ruissellement dans le canal et une amélioration de la surface du sol permettrait de réduire ce ruissellement, mais pas celui de la piste .

4. Les ados construits manuellement sur lithosols caillouteux et renforcés par une double haie de cactus pourraient stabiliser les segments de pente couverts partiellement de cailloux .

5. Les bas de pente colluvionnaires caillouteux reçoivent beaucoup d'eau des versants raides et peuvent être valorisés par des plantations arborées sur grandes cuvettes renforcées d'un manteau de pierres . Noter l'apport de « fumier » ou plutôt poudrette (déjections sans litière).

6. Idem , mais ici combinaison de cuvettes (gros entretien) et de diguettes en terre (ados) qui renforcent la capture du ruissellement et facilitent l'entretien mécanique du dispositif.

7. Les éboulis caillouteux sur forte pente n'ont plus grand chose à perdre par érosion : les murettes ou cordons pierreux ne servent donc qu'à concentrer le ruissellement et sa charge solide pour implanter une ligne de végétation pour enrichir ce parcours extensif. Des lignes de cactus épineux ou des cuvettes ont le même rôle sur des pentes moins fortes .

8. Le sous-solage d'un sol à croûte calcaire superficielle permet d'installer des oliviers qui vont profiter de l'humidité sous la croûte. Noter le peu de dépôts de sédiments dans le fossé devant le cordon pierreux . Sur ces sols gris caillouteux, l'érosion en nappe est particulièrement faible : il n'est pas utile d'investir dans des banquettes mécanisées de 120 cm de bourrelet.

9. L'impact de l'aménagement en terrasses mécanisées est limité aux zones voisines du bourrelet et du fossé où s'accumulent les eaux. Une action de densification des plantations et d'extension du fossé pourrait amener à une bande de culture intensive qui profite du ruissellement sur le reste du champs (70%). Un autre scénario propose la redistribution du ruissellement dans des grandes cuvettes autour des arbres de tout le champs .

10. L'action de fixation des ravines par des seuils en gabions est spectaculaire . Cependant, on peut noter qu'au bout de quelques crues, le seuil est plein (terre et matières organiques) et les sédiments les plus fertiles vont pouvoir continuer leur course vers la plaine et la mer : on a réduit temporairement les transports solides mais pas celui de la dégradation des terres.

1. TD7 repoussant la terre de surface et les herbes pour construire le bourrelet : le sous-solage doit favoriser un bon contact entre la surface du sol et les matériaux du bourrelet. Noter que le matériaux constituant le bourrelet est hétérogène et que, de plus le bourrelet a été accumulé devant la zone sous-solée au lieu de sur cette zone : on comprend que dans certains cas les premières eaux s'infiltrent à travers le bourrelet.



2. Le TD7 tasse la partie amont du bourrelet lui donnant une pente plus faible qu'en aval , ce qui théoriquement peut entraîner un glissement du bourrelet sous la pression du ruissellement

3. Banquette manuelle en voie de destruction par suite d'un débordement. Noter que la topographie du canal avait déjà été corrigée. Un cloisonnement pourrait réduire les risques d'accumulation localisée du ruissellement dans le canal et une amélioration de la surface du sol permettrait de réduire ce ruissellement, mais pas celui de la piste .



4. Les ados construits manuellement sur lithosols caillouteux et renforcés par une double haie de cactus pourraient stabiliser les segments de pente couverts partiellement de cailloux .

5. Les bas de pente colluvionnaires caillouteux reçoivent beaucoup d'eau des versants raides et peuvent être valorisés par des plantations arborées sur grandes cuvettes renforcées d'un manteau de pierres . Noter l'apport de « fumier » ou plutôt poudrette (déjections sans litière).



6. Idem , mais ici combinaison de cuvettes (gros entretien) et de diguettes en terre (ados) qui renforcent la capture du ruissellement et facilitent l'entretien mécanique du dispositif.

7. Les éboulis caillouteux sur forte pente n'ont plus grand chose à perdre par érosion : les murettes ou cordons pierreux ne servent donc qu'à concentrer le ruissellement et sa charge solide pour implanter une ligne de végétation pour enrichir ce parcours extensif. Des lignes de cactus épineux ou des cuvettes ont le même rôle sur des pentes moins fortes .



8. Le sous-solage d'un sol à croûte calcaire superficielle permet d'installer des oliviers qui vont profiter de l'humidité sous la croûte. Noter le peu de dépôts de sédiments dans le fossé devant le cordon pierreux . Sur ces sols gris caillouteux, l'érosion en nappe est particulièrement faible : il n'est pas utile d'investir dans des banquettes mécanisées de 120 cm de bourrelet.

9. L'impact de l'aménagement en terrasses mécanisées est limité aux zones voisines du bourrelet et du fossé où s'accumulent les eaux. Une action de densification des plantations et d'extension du fossé pourrait amener à une bande de culture intensive qui profite du ruissellement sur le reste du champs (70%). Un autre scénario propose la redistribution du ruissellement dans des grandes cuvettes autour des arbres de tout le champs .



10. L'action de fixation des ravines par des seuils en gabions est spectaculaire . Cependant, on peut noter qu'au bout de quelques crues, le seuil est plein (terre et matières organiques) et les sédiments les plus fertiles vont pouvoir continuer leur course vers la plaine et la mer : on a réduit temporairement les transports solides mais pas celui de la dégradation des terres.