

**La gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols
(GCES),
une nouvelle méthode de lutte antiérosive testée par le projet PRODAP dans
une zone semi-aride montagneuse du Cap-Vert
(Godim, Ribeira Seca, île de Santiago)**

Compte rendu de mission du 17 au 29 mai 1994 en appui au PRODAP-FIDA

Eric ROOSE

**Directeur de Recherche en Pédologie
au Centre ORSTOM de Montpellier, 34032, France**

1 - LE PROJET PRODAP

C'est un projet de recherche et développement rural en zone semi-aride de montagne (financement FIDA + Coopération française).

Contrairement aux nombreux projets de "DRS-CES" qui visent avant tout la protection de l'environnement au Cap-Vert, la GCES tente de trouver les moyens adéquats pour répondre aux besoins des populations rurales, tout en assurant à moyen terme une gestion conservatoire des ressources naturelles. Il s'agit donc d'un programme de recherche et de développement pour appliquer en milieu semi-aride montagnard à forte densité de population une nouvelle stratégie participative de gestion de terroir où la lutte antiérosive n'est qu'une partie du programme de développement rural.

Notre intervention consiste en un appui à la recherche (programme, méthodes et état des lieux au départ de l'expérimentation), au développement (évaluation des réalisations et propositions d'améliorations) et à la formation continue des chercheurs et techniciens, un an après le démarrage réel du projet sur le terrain.

Le volet recherche du projet a été confié à l'Institut d'Investigation sur le Développement Agraire (INIDA) et à la Coopération française :

- coordination des programmes : MM. Oumar BARRY et Bernard SMOLIKOWSKI ;
- production en fonction de l'eau disponible : Coopération INIDA + CIRAD-CA (Forest, Bertrand, LOPES) ;
- GCES en milieu semi-aride : Coopération : PRODAP (Bernard SMOLIKOWSKI) + INIDA (Antonio QUERIDO) + ORSTOM (Eric ROOSE) ;
- aspects socio-économiques de l'érosion : PRODAP (Michel QUERBES) ;
- les systèmes agraires et la formation : CNEARC (Michel BROCHET).

2 - LE MILIEU

* Le PRODAP est concerné par le bassin versant de la Ribeira Seca situé au S.E. de l'île de Santiago (latitude 16° Nord) qui comporte une zone aride de basse altitude (P = 150 à 250 mm) une zone semi-aride de moyenne altitude (Godim : P = 250 à 400 mm) et une zone sub-humide d'altitude (San Jorge : P = 400 à 700 mm).

Pour démarrer, le projet a choisi d'installer l'essentiel de ses dispositifs de démonstration et de recherche près de Godim, dans une zone destinée à la fois à une agriculture de subsistance et à un élevage domestique peu intensif. Malgré des pluies erratiques de 280 mm en moyenne ces (*Ziziphus mauritania*, *Prosopis juliflora*) et des cultures associées (maïs + divers haricots + pois d'Angole) pouvant produire pendant les années humides 1 tonne/ha de grains et 2,5 t/ha de résidus fourragers, commercialisables. En période sèche, il ne reste en vert que le pois d'Angole (*Cajanus cajan*) et quelques épineux. Le PRODAP tente d'introduire des plantes pérennes telle que le *Leucaena leucoïdes*, le *Pennisetum purpureum* et des arbres fruitiers (*Manguifera indica*, *Phyllatus acidus*, *Tamarindus indica*, *Anacardium*, *Anona*, *Ziziphus mauritania*).

* Tout le paysage est cultivé, y compris les pentes très raides (20 à > 60 %) et rares sont les zones en jachère. Le paysage régional est dominé par les dykes résiduels de volcans (altitude jusqu'à 1300 mètres), les coulées basaltiques et la formation d'ORGAOS, formation volcanique conglomératique continentale très épaisse. Cette formation d'ORGAOS a donné naissance à un paysage de collines allongées, de crêtes étroites érodées jusqu'à la roche altérée, de versants convexes à sols peu épais et de versants concaves à sols épais gris foncés (voir étude pédologique de BERTRAND, 1993).

Il s'agit de sols isohumiques châtons (voir figure 2) comportant un mince horizon granuleux très poreux et perméable (10 à 40 cm), un horizon argileux fissuré (20 à 80 cm) reposant sur la roche conglomératique altérée sur une grande profondeur. A la base des collines sur des pentes moyennes de 15 à 35 %, se développe un horizon argileux fissuré verticale qui coïncide souvent avec le développement des ravines (largeur 3 à 5 m, profondeur 1 à 2 mètres).

- **Les pentes des versants** restent fortes car les sommets correspondent à des basaltes résistant à l'altération, car les sols des versants sont résistants à l'érosion (très argileux, bien structurés et caillouteux) et parce que la dynamique d'érosion verticale par les oueds (Ribeira) paraît plus active que la dynamique des versants. Localement les Ribeira ressemblent à des canyons encombrés de colluvions caillouteuses, où les populations ont développé des jardins irrigués multiétagés très intensément exploités.

- **La pédogenèse** se marque par une profonde argilification des altérites, une légère ferruginisation des minéraux ferromagnésiens (couleur brun rouge) et une pénétration profonde de l'humus. En surface, un horizon brunâtre poudreux se développe sous culture qui pourrait provenir d'un début de dégradation. La fertilité des sols semble bonne. Les résultats de quelques analyses de profils par le CIRAD (BERTRAND, 1993) indiquent que le pH est quasi neutre (pH 7 à 8), que le taux de matière organique est moyen à médiocre (1 à 2 %), et la minéralisation poussée (C/N = 6 à 10 %) : on peut s'attendre à une carence azotée.

Le phosphore total est abondant... mais est-il assimilable ? Les taux de calcium, magnésium et potassium échangeables sont satisfaisants. La capacité d'échange de base est bonne (CEC = 40 à 50 méq/100 g). On peut donc s'attendre à une forte proportion de smectites, argiles gonflantes qui laissent le sol profondément fissuré en saison sèche.

La fertilité du sol est donc bonne mais sa **capacité de stockage de l'eau** pose un problème. Les résultats du laboratoire indiquent que l'eau utile pour les plantes (pF 2,5 - pF 4,2) est faible (7 à 10 %) alors que sur le terrain, les réserves d'eau semblent abondantes. La présence de maïs dans une zone où il ne pleut que 300 mm et de quelques plantes pérennes à feuillage vert 8 mois après la dernière pluie significative semble indiquer que le réservoir hydrique des sols profonds (plus de 80 cm) est important et pas totalement épuisé par les cultures sarclées. On pourrait donc tenter d'introduire des arbres fruitiers et des arbustes fourragers dans ces paysages actuellement très dénudés, non seulement dans les vallées (\pm irriguées) mais sur une large partie des versants raides. La réussite des plantations de *Prosopis* (65.000 ha) semble montrer que les limites de croissance des végétaux proviennent plus du manque d'alimentation en eau que de la capacité de stockage en eau du sol.

3 - LE SYSTEME DE CULTURE

Le système de culture traditionnel semble bien adapté au milieu montagnard semi-aride (cycles de 70 jours). Il s'agit essentiellement de cultures d'auto-subsistance (maïs - haricots - pois d'Angole), en association dans le même poquet (3 graines de maïs entourées de 4 à 6 graines de divers haricots ± hâtifs rampant ou s'enroulant autour du maïs), pouvant servir de fourrage en particulier lors des années déficitaires. Le pois d'Angole est généralement associé à faible densité : il continue à produire en saison sèche.

Le travail du sol est réduit au minimum : création d'une plate forme à l'endroit du poquet tous les mètres. En effet, le travail est peu utile sur ces sols où la densité apparente est de 1,2 (la porosité naturelle de 55 %) et serait dangereuse sur des pentes de 30 à plus de 60 %. Le fumier est peu abondant, abandonné en tas sur le bord d'un versant raide, en plein soleil : les pertes d'azote doivent être importantes ! Il est souvent vendu à des maraîchers de la Ribeira et très rarement utilisé sur les champs en culture pluviale (risques si les pluies s'arrêtent trop tôt).

Deux mois après plantation sur un versant concave (parcelles d'érosion de Godim) la culture couvrait 66 % du sol et le paillis (1,5 t/ha) encore 17 % de plus. De 80 à 85 % de la surface du sol était couverte de mottes tandis que 2 à 5 % était tassées, fermées par une mince pellicule de battance. Sept mois plus tard, toute trace de croûte de battance a disparu suite au piétinement (lors des récoltes progressives), le paillage et les résidus de culture sont encore présents (+ de 20% de couvert). Dans ce système extensif (production 1 t/ha de graines et 2,5 t/ha de pailles), on ne risque pas d'épuiser rapidement le stock de nutriments du sol : il serait cependant utile de tester la réponse à un léger apport d'azote (20 kg/ha de N à la floraison si les pluies sont favorables), de phosphore assimilable (10 unités/ha) et/ou de fumier (3 t/ha localisés au poquet).

4 - LE SYSTEME D'ELEVAGE

L'élevage est assez extensif mais partout présent : quelques vaches, des chèvres et des cochons en enclos pendant une partie de l'année mais divaguant en fin de saison sèche. Actuellement, il dégrade sans doute plus le paysage (tassement, éboulement du sol, dégradation de toute biomasse) qu'il ne participe à l'entretien de la fertilité du sol : le fumier peu pailleux, reste en tas au bord du versant et semble peu valorisé en dehors des périmètres irrigués (valeur fertilisante à préciser).

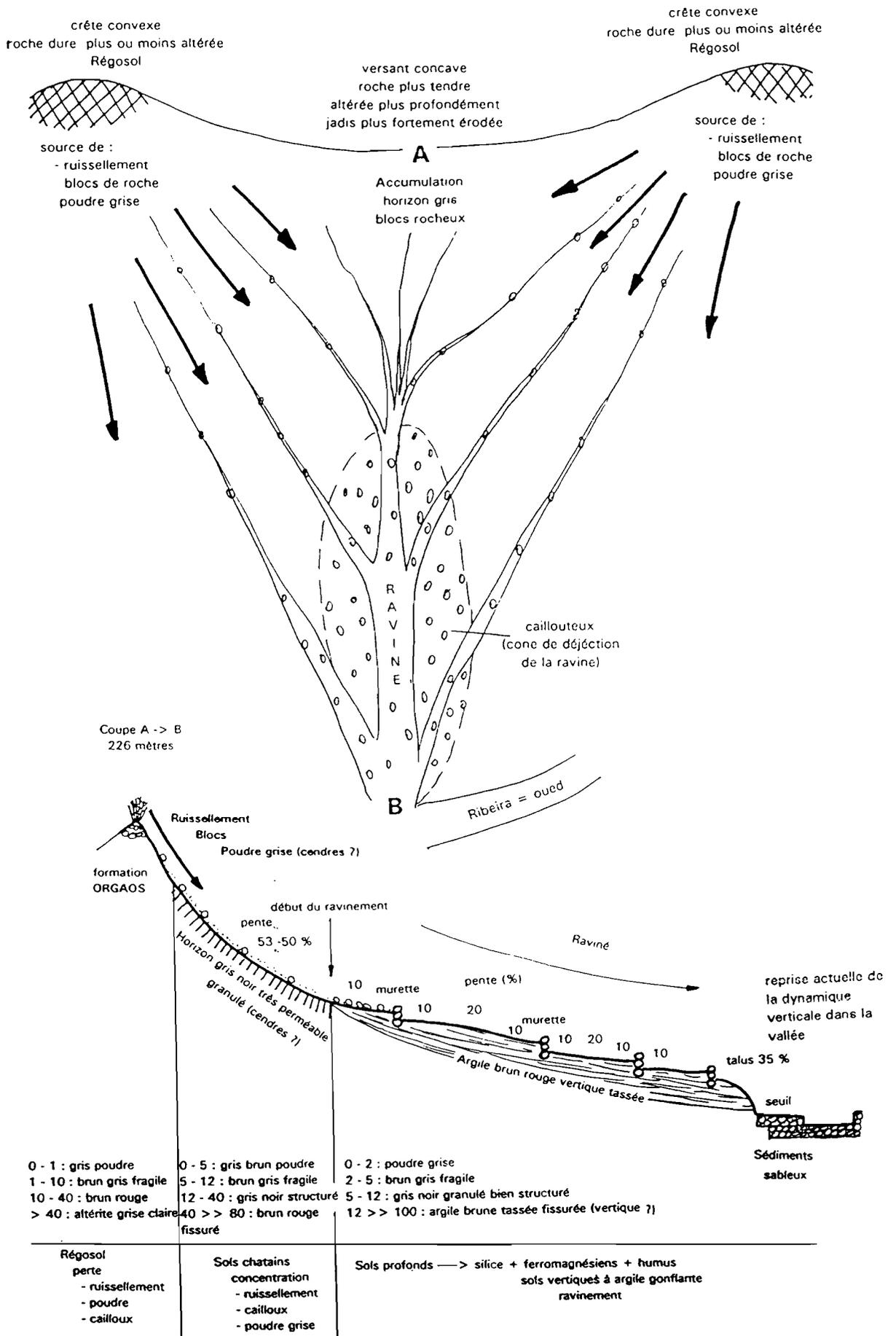
5 - DIAGNOSTIC SUR LES TYPES D'EROSION (fig. 3)

L'observation détaillée des manifestations de l'érosion sur les parcelles aménagées par le PRODAP a permis de poser le diagnostic suivant qu'il faudra vérifier expérimentalement (voir figure 2).

a) Au sommet des collines et des crêtes, la couverture pédologique est décapée pratiquement jusqu'à l'horizon d'altération de la roche.

b) On observe peu **d'érosion en nappe** sur les pentes raides (pente 20 à 60 %) : à peine 5 % de pellicules de battance dans les zones concaves en saison humide, mais les manifestations sont effacées en saison sèche par fissuration et décapage de l'horizon granulaire lors des récoltes. Les mesures d'érosion en parcelles de 100 m² sous cultures n'ont atteint que 1 à 3 t/ha en 1993 pour les pluies d'octobre. Par contre, sur les replats, les achadas et glacis, on observe beaucoup d'encroûtements (MANNAERTS, 1984).

Figure 3 : Organisation de la couverture pédologique : Godim versant sur formation d'ORGAOS



c) On observe une forte **érosion mécanique sèche** par le piétinement sur les versants raides lors des récoltes (éboulement de 2-5 kg sur 50 cm à chaque pas) (à mesurer).

d) On peut observer localement des **glissements de terrain** impressionnants soit anciens et stabilisés, soit récents suite aux sapements de berges par les rivières ou le long des routes de montagne.

e) **L'érosion linéaire** et l'énergie du ruissellement concentré sont remarquables. Les rigoles apparaissent vers 30 m, et les ravines vers 50 m sous les crêtes concaves (lien avec la nappe d'argile verticale et le changement de pente de 50 à 30 %). Ce ruissellement qui s'accumule tout au long des versants, des bas de versant et des vallées a creusé des canyons dans les plateaux structuraux basaltiques, encombrés de sédiments plus ou moins grossiers charriés lors des crues violentes à des époques plus humides ou encore observées de nos jours lors des averses exceptionnelles de fréquence décennale.

Apparemment, l'énergie érosive des pluies sur les versants est bien plus faible que l'énergie du ruissellement dans les vallées. Il en découle des sols \pm décapés sur les pentes de plus de 50 %, des sols profonds sur les versants de 15 à 40 %, des ravines profondes dès que le bassin versant dépasse quelques dizaines d'hectares et des crues violentes qui emportent des masses considérables de sédiments (qui gênent la création de barrages collinaires) lors des averses exceptionnelles.

6 - DIAGNOSTIC SUR L'ORIGINE DU RUISSELLEMENT

- Le paysage est marqué par les preuves de l'existence du ruissellement : Ribeira profondes, ravines moyennes incisant les versants concaves de plus de 50 mètres, rigoles étalées sur tous les versants cultivés de plus de 30 mètres.

- Pour mieux gérer les eaux de surface, il nous faut tenter de comprendre l'origine du ruissellement. On peut distinguer 3 cas possibles :

* soit l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol : c'est le cas des croûtes de battance sur les glacis et pentes faibles limoneuses ;

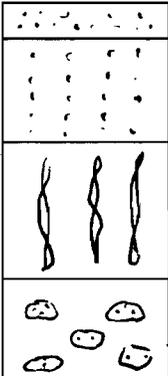
* soit le volume des pluies dépasse la capacité de stockage du sol (roche à faible profondeur, chemins et sols compactés, profils peu épais) ;

* soit certaines zones du paysage (rochers, crêtes à sol décapé, routes) déversent leurs eaux excédentaires sur la zone aval du paysage cultivé ou engorgent les bas de pente par drainage hypodermique des versants.

- L'observation détaillée des versants cultivés de Godim, montre qu'il y a peu de trace de ruissellement sur les fortes pentes (50 %) des versants, que les rigoles apparaissent plus nombreuses à la première rupture de pente (45-25 %) et que le regroupement de ces eaux provoque des ravines un peu plus bas, là où apparaît la couche d'argile gonflante (à 50 mètres des crêtes).

- Des observateurs comme MANNAERTS (1982-1986) ont trouvé à l'aide de dispositifs, Muntz à double anneau que sur les plateaux basaltiques (achadas), l'infiltration stabilisée variait de 90 à 30 mm/h selon l'humidité préalable du sol. Sur les fortes pentes, cette méthode est inadaptée.

- Pendant cette mission, nous avons donc tenté de préciser la capacité d'infiltration des différents horizons du profil à l'aide d'un cylindre de 10 cm de diamètre, d'observer la forme des taches d'infiltration de 100 mm et de préciser l'humidité du sol à saturation et du sol (Méthode Roose).

	Horizons	Infiltration de 10 mm	Cap. infiltration corrigée	Perméabilité
0	poudreux brun dégradé	60-90 secondes	100-200 mm/h	forte
3	granuleux gris noir très stable	5 à 10 secondes	1400 mm/h	très forte
20	argileux brun rouge fissuré	8 à 15 secondes	1200 mm/h	très forte
40 à 60				
80	altérite vers 80 cm	5 à 6 minutes	30 mm/h	réduite

- On a constaté qu'en fin de saison sèche, les 40 à 60 cm supérieurs des sols sont très filtrants mais que la présence de poudre de l'horizon dégradé ou de pierres ou de l'altérite du conglomérat ORGAOS ralentissent cette infiltration.

- Il est probable qu'en saison humide, les fissures profondes se ferment (s'il pleut assez) et que les poudres superficielles libèrent du limon qui colmate l'horizon granulaire très poreux (à vérifier).

- Il est aussi probable que près des crêtes où tout le sol est décapé et que l'altérite apparaît, l'infiltration soit fortement ralentie en saison des pluies.

- Par ailleurs, on a mesuré la porosité des horizons granuleux de surface (0-20 cm) dans des cylindres de 0,5 litres. On a obtenu une densité apparente de 1,2 (donc sols très légers) correspondant à **une porosité totale de l'ordre de 55 %** (= très forte). (Si la densité réelle est voisine de 2,6 : à vérifier).

- On a aussi irrigué une rigole (20 x 50 cm) de 100 litres d'eau (infiltrée en 15 minutes !). On a prélevé le profil aussi vite que possible après irrigation (près de la saturation) et 24 heures plus tard (= voisin de la capacité au champs).

Niveau prélevé	H ₂ O % à saturation	H ₂ O % après 24 heures	Profil sec au 24/5/94
0-10 cm	54 % ± 2	36,3 ± 1	8,7
20 cm	41 % ± 2	32,2 ± 1	24,5
40 cm	55,5 % ± 2	32,6 ± 1	24,3
60 cm	38,5 ?	35,4 ± 2	27,0
80 cm	50,0 ± 3	31,3 ?	30,5
nombre de mesures	2 à 10	2 à 3	3 par niveau

On constate que l'horizon granulaire desséché (8 % d'eau) fait office de mulch réduisant l'évaporation du sol, mais que les argiles sous-jacentes ont gardé pas mal d'eau (24 à 30 %) 8 mois après la dernière pluie !

On voit aussi qu'en 24 heures, le sol perd 10 à 20 % de son poids correspondant à la macroporosité (10 à 20 % x 1,2 = 12 à 24 %).

Enfin, le sol à capacité au champ contient 32 à 36 % d'eau (= microporosité + eau de constitution). On devrait soustraire de ces chiffres, l'humidité au point de flétrissement pour obtenir l'eau utile aux plantes (7 à 10 % x 1,2 = 9 à 12 % d'après BERTRAND).

- Or le ruissellement ne se déclare que pour des pluies de plus de 30 à 60 mm tombant sur sol humide : c'est donc probablement plus par saturation localisée que par forte intensité des pluies que naissent les phénomènes de ruissellement.

En conséquence, l'action positive du paillage n'est donc forte que sur sols suffisamment profonds pour stocker le complément d'eau infiltrée.

7 - LES MESURES EXISTANTES (biblio)

- Il existe déjà plusieurs études du ruissellement sur parcelles et sur bassins versants de taille diverse, mais les protocoles et les dispositifs ne sont pas toujours satisfaisants et les résultats sont rarement publiés voir indisponibles. Les études suivantes font référence : MANNAERTS (1980 à 1986), Projet Espace INIDA/CIRAD-CA Montpellier (1991-92-93), Lacosta INIDA (1993), PRODAP (1993) et UNSO/PRECONS (1993). Il serait utile de faire une synthèse de ces observations et de monter une base de données pour le Cap-Vert.

7.1. Deux types de pluie

- Au moment du changement de saison, on observe des orages violents mais brefs, provoquant des dégâts sérieux mais localisés.

Les longues averses fines de Mousson ont des intensités relativement faibles qui saturent toute une région : les dégâts sont alors généralisés et bien plus graves car il s'agit de crues violentes qui peuvent détruire tous les aménagements dans les vallées (Ribeira).

7.2. Le ruissellement est relativement peu abondant sur les versants raides

Aucun aménagement de versant ne peut absorber complètement des averses de plus de 80 mm. Si les sols sont décapés ou rocheux, le ruissellement apparaît pour les averses de plus de 30 mm/jour. La forêt (claire) de Prosopis, retarde le ruissellement et réduit les débits de pointe et les transports solides.

Sur des pentes de 20 à 60 % :

- * sur sol nu, le ruissellement moyen annuel (KRAM) atteint 20 à 30 % (Max. 40 %)
- * sous cultures (maïs + haricot), KRAM = de 5 à 20 %
- * culture + demi-lunes ou murettes ou paillis : réduction du ruissellement de 3 à 5 %
- * forêt protégée, KRAM = 3 à 10 % sur versants raides
jusqu'à 40 % sur les glacis à pente douce.

- Le ruissellement est fort sur les plateaux basaltiques et les glacis colluviaux ; il ravine ensuite les versants raides sous-jacents.

- A Godim, le ruissellement en nappe pourrait naître sur les hauts de pente décapés et dégradés par la culture, puis raviné plus bas sur des pentes de 40 à 30 % et les sols colluviaux. Il faudra donc améliorer l'infiltration des glacis à pente faible/moyenne et dissiper l'énergie du ruissellement qui transite sur les pentes fortes tous les 5 à 12 mètres suivant les pentes et suivant la distance observée de la concentration des eaux en rigoles (30 mètres à Godim sur une pente de plus de 50 % ; 5 à 10 mètres sur glacis). Une autre voie pourrait être d'améliorer le taux de stockage de l'eau (et des nutriments) en améliorant le taux de matières organiques du sol (voir plus loin).

7.3. L'érosion en nappe

- Des pertes en terre de 30 à 100 t/ha/an ont été observées sur sol nu sur des pentes de 30-35 %. (Erosion relativement faible car égale à environ 1/10 de l'érosion en Côte d'Ivoire sur des sols ferrallitiques et pentes de environ 20 %) : sous culture traditionnelle (maïs associé à haricots), les pertes en terre sont réduites à 1-5 t/ha/an.

L'érosion en nappe est donc relativement faible, même sur les fortes pentes lorsque la culture couvre bien le sol et/ou lorsqu'il y a un pavé de cailloux. On peut d'ailleurs se demander si les pierres ne protègent pas mieux le sol lorsqu'on les laisse étalées à la surface du sol plutôt que de les rassembler \pm adroitement en murettes. L'expérience montre que les murettes et croissants pierreux construits sur de vastes espaces sur des pentes fortes et des zones peu cultivées, s'ils ne sont pas bien entretenus et renforcés par la végétation, ne sont plus guère efficaces une fois la dépression remplie de sédiments. Des méthodes très valables lorsqu'elles sont construites avec soin et entretenues pour des cultures à haute valeur ajoutée, s'avèrent peu efficaces lorsqu'elles sont étendues à de vastes surfaces exploitées extensivement. On peut donc se demander s'il ne vaut pas mieux privilégier la qualité des aménagements, à la quantité ?

7.4. L'érosion linéaire

- Dans tous les paysages basaltiques, l'érosion linéaire paraît très active mais nous manquons d'études sérieuses sur le ravinement au Cap-Vert et sur les transports solides au niveau des bassins versants. C'est un sujet difficile qui exige des moyens importants et de longues périodes d'observation car les ravines ne fonctionnent que lors des averses exceptionnelles.

- De nombreux seuils en pierres sèches ont été installés sur les ravines secondaires et dans les petites vallées : mais on n'a pas suivi la vitesse de sédimentation.

8 - PROPOSITIONS CONCERNANT LA RECHERCHE

- Le rôle de la recherche est ici de tester des méthodes applicables rapidement pour le programme de développement rural. Il faut donc étudier des techniques adaptées à la fois aux conditions écologiques très diversifiées et aux conditions humaines (socio-économiques). Pour atteindre cet objectif, nous avons proposé de préciser d'abord le fonctionnement de la couverture pédologique (description de la toposéquence, variations latérales, typologie des processus d'érosion, prélèvements des échantillons de sol sur le profil de référence et l'horizon de surface des 8 parcelles d'érosion), d'évaluer les différents processus d'érosion et la dynamique des eaux de surface pour mieux définir les meilleures méthodes de gestion de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols.

- Deux idées maîtresses se dégagent de l'observation des paysages de SANTIAGO :

* une très **grande diversité** en fonction des situations écologiques, mais aussi à l'échelle d'un versant,

* d'où la nécessité de traiter des problèmes à **différentes échelles**.

- C'est pourquoi on a envisagé différents dispositifs expérimentaux :

* **sur 100 cm² : anneau de mesure de la capacité d'infiltration** des différents horizons du sol et de la dynamique de l'eau dans le profil.

Proposition : étendre les mesures aux sols peu épais des surfaces convexes, aux zones humides des bas de pente (battance) et en saison des pluies ;

* **sur 1 m² : simulation de pluies** de fréquence rare (1/10) sous divers états de surface sur différents sols de la toposéquence. **Prévoir** en fin de saison des pluies 1995 ;

* **sur 4 m² : observation du ruissellement** et du rendement en maïs en fonction de la disponibilité en eau durant le cycle cultural : analyse de la variabilité spatiale du ruissellement.

Proposition : **étendre dès 1994 à la zone semi-humide de San Jorge** avec le concours de l'INIDA ;

* **sur 4 m² randomisés** : influence du paillage sur les rendements en fonction de leur position topographique : analyse de la variabilité spatiale de la production de maïs.

Proposition : tester aussi un léger apport d'azote et de phosphore à la floraison lorsque la saison des pluies semble favorable ;

* **sur 100 m², parcelle de mesure du ruissellement et de l'érosion en nappe et rigole.**

Proposition : 1) évaluation de l'érodibilité du sol, de l'efficacité de divers couverts végétaux cultivés, des risques de perte en terre + eau + évaluation des rendements dans le système témoin régional et de l'efficacité des méthodes d'amélioration par le paillage, par les haies vives et les microterrasses en escalier.

2) extension en zone semi-humide avec l'INIDA car les méthodes de lutte antiérosive n'ont pas forcément la même efficacité dans les zones à 300 ou 600 mm de pluie ;

* **sur des microbassins de 1 à 10 ha** : effet des aménagements GCES sur toute la longueur du versant et sur le ravinement présent en bas de pente.

Proposition : si les moyens manquent pour mettre en place les seuils PARSHALL et les fosses de sédimentation pour mesurer les débits liquides et solides, il devrait être possible dès le début de la campagne 1994 de construire des seuils ordinaires (H = 1,5 mètres) et de cuber à chaque crue les sédiments déposés et le volume d'eau ruisselé (grâce à l'observation de "délaissés de crue" d'évaluer la vitesse et la surface mouillée des débits de pointe de crue (grâce à des galets colorés numérotés en fonction de leur diamètre et à une échelle à godets).

- Grâce à des séries de piquets (fer à béton de 12 mm enfoncés de 60 cm dans le sol), il sera possible de suivre chaque année les déformations de la couverture pédologique sous l'effet de l'érosion mécanique sèche, du creeping et des haies vives (développement des talus) ainsi que la sédimentation devant les seuils dans les bassins versants aménagés ou non. Quoique moins précise, cette méthode globale devrait permettre de suivre annuellement les grands mouvements de sol par le ravinement et les glissements lents de terrain.

- Enfin, la déformation lente de la couverture pédologique peut aussi être observée périodiquement en remplissant un trou de sondage (Ø 3 à 4 cm) avec un tuyau souple d'irrigation des jardins (Ø 2 cm) rempli de sable d'une autre couleur que le sol (mais même densité).

- Le dispositif de base (8 parcelles de mesure R + E) a été installé en zone semi-aride et comprend maintenant 8 parcelles de 20 mètres de long sur une pente de 53 %.

1) Témoin régional (5 x 20 m) maïs associé à haricots en poquets en sol peu profond près d'une crête convexe.

2) T.R. + paillage (1,5 t/ha/an) en résidus de culture (maïs).

3) T.R. + P + banquette → haie vive de Pennisetum + Leucaena.

4) idem sans paillis.

5) Témoin international (2,5 x 20 m) : sol nu travaillé, sarclé → érodibilité des sols.

6) Témoin régional : 2ème répétition sur sol profond en zone concave.

7) Culture pure de pois d'Angole (Cajanus Cajan) pérenne : effet du couvert pérenne d'une légumineuse.

8) Microterrasse en escalier : replat de 50 cm en maïs/haricot + ados enherbé (Pennisetum).

- En dehors des mesures expérimentales de la production de la biomasse en fonction du bilan hydrique et de l'érosion, il serait hautement souhaitable de développer l'étude des aspects économiques de l'érosion :

* pertes dues à l'érosion (perte d'eau, de nutriments et aussi de rendements) ;

* pertes de capacité de production du sol (par baisse de la capacité de stockage en eau et en nutriments des sols artificiellement ou naturellement décapés) ;

* coût des techniques culturales et des structures antiérosives ; * rentabilité des méthodes de LAE .

- Enfin, il est nécessaire de bien comprendre le milieu humain, ses contraintes sociales. Comment les paysans ressentent les problèmes d'environnement en fonction de leur disponibilité en terre, en crédit, en main d'oeuvre, en intrants divers. Comment les gens \pm démunis cherchent à y porter remède. Quels sont les blocages qui empêchent les gens de profiter pleinement des techniques proposées et quels remèdes souhaitent-ils ? Quelle est la responsabilité de l'Etat qui cherche à distribuer des salaires et la liberté des gens de prendre en main leur propre environnement ?

- Ces mesures doivent être complétées par l'observation et les enquêtes menées chaque année sur l'évolution et l'efficacité des aménagements réalisés en milieu paysan (150 ha en 1994) (rôle des stagiaires du CNEARC).

Il faut noter que toutes ces recherches collent étroitement aux questions posées par le développement et doivent permettre d'améliorer le choix et l'efficacité des méthodes antiérosives proposées aux paysans.

9 - PROPOSITIONS AU NIVEAU DU DEVELOPPEMENT

Il s'agit de passer de la lutte contre l'érosion à des activités de développement rural qu'on a appelées la "gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols" de manière à valoriser la terre et le travail des paysans tout en stabilisant le milieu : l'intensification de la production peut améliorer la gestion durable des ressources naturelles.

9.1. *La gestion de l'eau*

a) En milieu sahélien, la gestion de l'eau est encore plus importante pour l'avenir des paysans que la lutte antiérosive.

Il s'agit de capter les eaux de pluie (des citernes de 10-20 m³ sous les maisons) ou les eaux de ruissellement (citerne de 50-100 m³ le long des routes pavées ou des parois rocheuses) pour alimenter les familles, le bétail et/ou irriguer un petit jardin potager/fruitier intensif.

De nombreux seuils ont été construits dans les ravines qui ont captés 5 à 20 m³ de sédiments entre lesquels sont stockés 40 % d'eau dont 20 % d'eau libre. Ces aménagements coûteux pourraient être valorisés par la création de jardins fruitiers (comme en Haïti).

Les grands aménagements de versants par des 1/2 lunes, microbassins et murettes ont déçu nos espoirs : ils ne réduisent le ruissellement que de 3 à 5 % et se dégradent très vite en créant des ravines, s'ils ne sont pas entretenus.

Dans les vallées profondes, on ne peut créer de barrage collinaire, car l'évaporation est trop forte (5 à 10 mm/jour), les berges sont souvent perméables et surtout les risques de colmatage rapide par les sédiments sont élevés.

On pourrait suggérer de piéger les sédiments dans les canyons derrière des seuils imperméables qui vont capter les sédiments et une grande quantité d'eau. Cette eau pourrait être valorisée en créant en amont un jardin de fruitiers (= oasis linéaire) et en aval une prise d'eau pour usages domestiques.

b) L'absorption presque totale des pluies sur les versants est possible grâce à un paillage du sol à l'aide de résidus végétaux ou d'un tapis de cailloux, qui réduit à néant l'énergie de battance des pluies et du ruissellement. Actuellement, il y a concurrence entre le paillage et l'affouragement du bétail : il faut étudier si le bénéfice sur la production de grain l'emporte sur celui de la production animale.

c) La dispersion de l'énergie de ruissellement (fig. 4)

Cette nouvelle approche consiste à étaler la nappe de ruissellement, et à freiner sa progression à la fois par des techniques culturales (paillage et travail grossier) et par des haies vives combinées à des talus enherbés. Hjulström a démontré que si le ruissellement ne dépasse pas 25 cm/seconde, il ne peut creuser des rigoles/ravines.

Le projet PRODAP étudie sur une forte pente (53 %) à Godim (P = 280 mm) la possibilité de stabiliser les versants à l'aide d'une haie vive de *Leucaena leucocephala* (ou *Ziziphus mauritania* en situation plus défavorable) et de *Pennisetum purpureum* ou *Panicum maximum* pour stabiliser les talus qui se forment rapidement par le travail du sol. Les premiers résultats semblent très prometteurs tant pour bloquer l'érosion que pour produire des fourrages d'excellente qualité en saison sèche. Des arbres fruitiers tous les 8 mètres valoriseront la terre amoncelée le long du talus (hauteur du talus = 1,5 m maximum).

Nous proposons de simplifier cette structure un peu complexe en creusant une simple banquette forestière (= triangulaire) stabilisée par 2 rangs de *Pennisetum* sur le talus et 2 rangs de *Leucaena* sur la plate-forme (en quinconce tous les 25 cm). Pour éviter que les eaux de ruissellement s'amoncellent et débordent de cette petite banquette, nous proposons de cloisonner ces banquettes tous les 8 mètres par une butte qui servira à planter les arbres fruitiers en maintenant leur collet hors de la zone d'inondation et de sédimentation.

Nous proposons également de réhabiliter les citernes et les murettes existantes en situation favorable.

Enfin, il faudrait tester des seuils légers pour stabiliser les petites ravines qui détruisent les meilleures terres. Ces seuils doivent être assez simples pour être mis en place par les paysans riverains (grillage à maille 1 à 3 cm renforcé par des pieux en fer cornières et tendeurs, sans attendre les grosses interventions de l'Etat.

9.2. La gestion de la biomasse

- D'une part, les sols sont souvent pauvres en matières organiques et d'autre part, l'élevage mobilise toute la biomasse. On propose donc de consacrer 10 % de la surface des champs pour créer une haie vive complexe (pas besoin de grand fossé pour démarrer). Une partie de cette biomasse peut servir de fourrage (en saison sèche) et l'autre de paillage (1 à 2 t/ha devraient suffire pour réduire de 20 à 40 % l'érosion).

- L'utilisation de la biomasse par le bétail ou pour le compost, demande beaucoup de travail (double transport de 3 à 10 tonnes/ha/an). Il convient de valoriser le fumier existant et de le protéger du soleil par la plantation d'arbres fruitiers en créant une ambiance forestière ombragée autour de la fosse fumière.

- L'enfouissement des pailles entraîne une fixation de l'azote du sol (déjà très pauvre en N) dans la masse microbienne. Il vaut donc mieux lui préférer le paillage qui permet en outre de réduire considérablement les risques d'érosion.

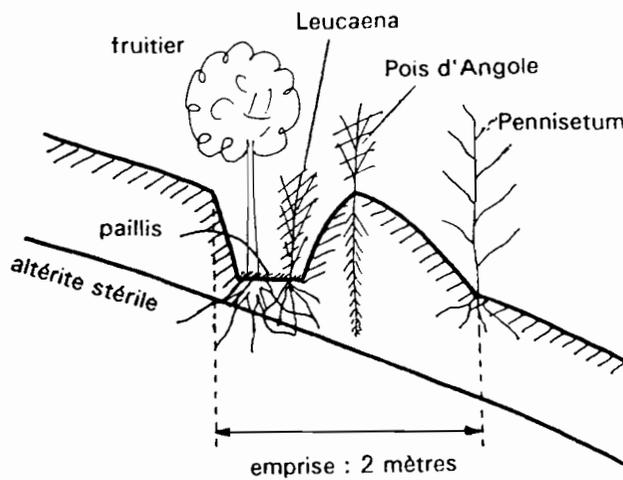
- La gestion des adventices permet de récupérer environ 1 tonne/ha de biomasse pour le paillage ou pour l'affouragement du bétail ;

- Les haies vives apportent 3 à 5 t/ha/an de fourrage/paillage/bois de bonne qualité soit une remontée biologique d'environ 50 kg d'azote, 10 kg de phosphore, 20 kg de Ca + Mg + K). Si on combine les arbres fruitiers aux haies vives, on peut compter sur 5 t/ha/an d'apport de litière de bonne qualité.

On peut envisager l'évolution des vallées en jardins multiétagés (oasis linéaire) et les versants en forêts claires (*Prosopis* éclaircis à 200 plants/ha et pâturages ou cultures intercalaires) ou en bocage (fruitiers + haies vives).

Figure 4 : Les structures antiérosives proposées

Prodap : fossé isohypse d'absorption totale



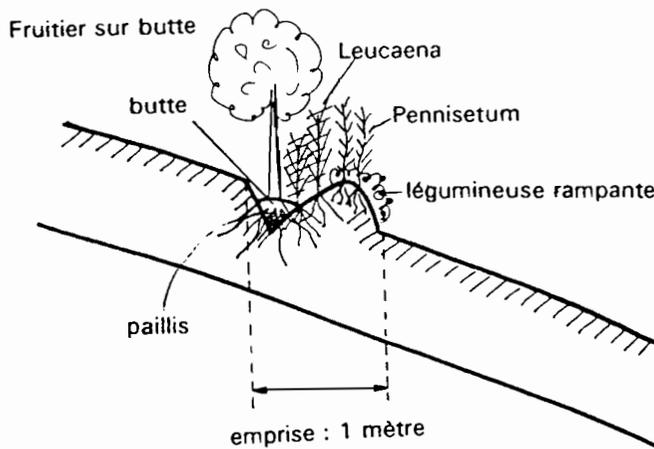
Avantage :

- fossé d'absorption totale du ruissellement pour alimenter les arbres fruitiers et les arbustes fourragers

Inconvénients :

- risque de drainage vers un point bas et ravinement
- risques de glissement si la pente est > 65 %
- les arbres sont plantés dans l'horizon B, pas loin de la roche altérée
- risque de pourriture du collet enfoui sous la terres éboulée

Proposition : terrasse forestière cloisonnée

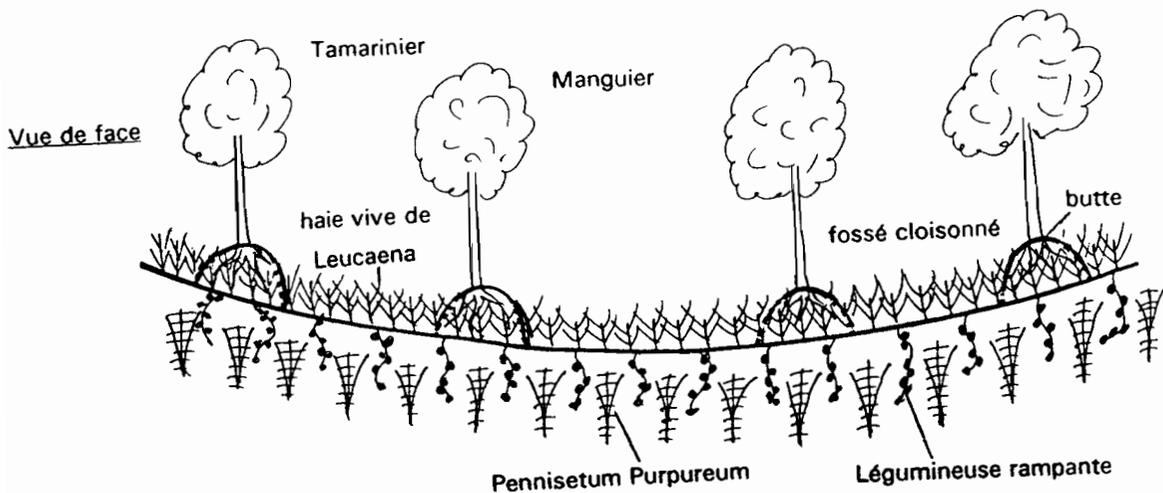


Avantages :

- terrasse forestière plus simple
- les herbes protègent le haut du talus
- les arbustes sont plantés au point de jonction fossé / horizon A
- les arbres fruitiers plantés sur butte vont cloisonner l'ouvrage
- méthode plus rapide et moins chère :
- moins de terre bouillante à fixer, talus plus petit
- réduit les risques de ravinement et de glissement

Inconvénient :

- stocke moins d'eau



9.3. La gestion des nutriments

Le Cap-Vert a la chance de disposer de très bons sols issus de basalte (voir BERTRAND, 1993 ; De Witte, 1989) :

- * le pH est correct (6 à 8),
- * le carbone et l'azote sont liés ($C/N = 8$) et très faibles ($H_2O = 0,5$ à 1%), il faut améliorer l'humus du sol par apport de fumier amélioré ou de paillage. On peut envisager d'utiliser de petites doses de 10-20 unités de N et P sur les sols suffisamment profonds ;
- * le potassium quant à lui est généralement suffisant sauf pour les cultures intensives exigeantes (bananier, patates douces et pommes de terre) ;
- * le phosphore est présent massivement dans ces sols issus de basalte, mais il n'est peut-être pas assimilable : il faut donc nourrir directement la plante cultivée. Pour éviter que le phosphore reste piégé dans le sol, on peut enfouir du superphosphate dans le fumier. On risque d'augmenter la biomasse, mais de réduire la récolte de grain si les pluies s'arrêtent trop tôt.

En milieu sahélien, il est difficile de rentabiliser les engrais minéraux, cependant on peut tenter d'injecter 10 à 20 unités de N et P au semis dans le poquet, ou à la floraison tout au moins les années où les pluies semblent suffisantes.

10 - CONCLUSIONS

10.1. Ce premier contact avec l'île de Santiago du Cap-Vert nous a permis de constater l'énorme effort consenti pour lutter contre l'érosion et la désertification :

- * reboisement de 65000 ha de Prosopis, Parkinsonia, Acacia holocericea, Ziziphus mauritania et d'autres arbres fourragers en zones arides dédiées à l'élevage ;
- * fixation des ravines, des versants et des vallées par des seuils de pierres souvent remarquables ;
- * aménagement des versants par des cordons de pierres, des murettes ou des croissants.

Le temps est venu de soigner un peu plus la qualité des travaux et de valoriser ces aménagements : planter des fruitiers et fourragers derrière les seuils, créer des pôles de développement intensif autour des citernes, intensifier l'élevage en stabulation, améliorer et valoriser le fumier.

10.2. L'occasion nous a été donnée de discuter des problèmes sur le terrain (formation continue) et d'exposer la nouvelle stratégie participative (GCES) testée par le PRODAP. Des stages de formation sont organisés chaque année dans ce domaine (gestion de terroir) au CNEARC à Montpellier (M. BROCHET). Le texte de la conférence Scope/Cills devrait être distribué largement pour permettre aux cadres du Ministère de l'Agriculture de disposer d'un document de référence. Des orientations pratiques pour les essais du PRODAP sont fournis dans ce texte. Mais c'est un effort d'éducation "de la maternelle à l'université" qu'il faudrait pour que les citoyens respectent et entretiennent leur environnement.

10.3. Le Cap-Vert a bénéficié d'une aide internationale abondante qui lui a permis de redistribuer des salaires lors des périodes de sécheresse. Ces fronts de travail ont été utilisés à aménager des versants. Cependant, ces aménagements mécaniques ne sont efficaces que s'ils sont entretenus et valorisés par des aménagements biologiques. Or, maintenant que les paysans sont habitués à recevoir des salaires pour construire des murettes, ils refusent de les entretenir sans paiement. Ces aménagements de versants sont donc en danger et il faut envisager leur mise en défens et d'entreprendre d'autres travaux plus rentables dans les vallées. Les haies vives expérimentées au PRODAP devrait permettre aux paysans, à la fois de stabiliser les versants et d'augmenter leur production fourragère.

10.4. Avec la récession mondiale, les sources de financement ont commencé à tarir. Il va donc falloir choisir :

- * apprendre aux paysans à protéger leurs terres ;
- * réserver à l'Etat, les gros travaux avec forte valorisation comme l'aménagement des ravines, la maîtrise des torrents et la valorisation de l'eau stockée.

10.5. Jusqu'ici le Cap-Vert a appliqué des stratégies de DRS + CES, conservation de l'eau et du sol, d'équipement rural qui rapportent peu aux paysans : d'où leur peu d'enthousiasme pour entretenir les ouvrages.

Il faut maintenant lancer une stratégie de développement rural pour obtenir une forte participation paysanne. Pour cela, il faut développer l'intérêt du paysan, intérêt qui ne pourra se créer que si les propositions permettent de valoriser la terre et le travail par une meilleure gestion à la fois de l'eau, des matières organiques et des nutriments.

10.6. Non seulement les techniques proposées doivent être adaptées aux conditions physiques (très diverses dans les îles) mais aussi aux conditions humaines. Il faut donc s'orienter vers une diversification des méthodes d'aménagement des terres.

Le projet PRODAP, lancé par le FIDA, la Coopération Française et l'Etat du Cap-Vert, s'attache à tester ces méthodes et à faire évoluer les techniques en milieu paysan, avec l'appui des paysans.

Mais les choses ne pourront évoluer sans une volonté politique farouche de gérer l'environnement de ce pays (exemples : droit foncier, droit forestier, organisation du marché des produits, ...).

Remerciements : Nous tenons à remercier la Direction du PRODAP de nous avoir confié cette mission et tout particulièrement M. O. BARRY, B. SMOLIKOWSKI, les collègues du PRODAP, les collègues forestiers dont B. DELAITE du CILLS/CEE et les responsables du projet UNSO pour leur accueil chaleureux. Enfin nous remercions le Chef de la Mission Française de Coopération avec qui nous nous sommes entretenus.

Références bibliographiques

- BARRY (O.), SMOLIKOWSKI (B.), ROOSE (E.),** 1993 - Réflexions sur la lutte antiérosive au Cap-Vert. Essais d'adaptation d'une nouvelle stratégie de développement rural dans les zones d'agriculture pluviale : la GCES. Cas du Projet PRODAP dans l'île de Santiago. Communication Atelier Scope "Gestion durable des terres en zone semi-aride de l'Afrique", Dakar, 15-19/01/93, 35 p.
- BERTRAND (R.),** 1993 - Etude des sols dans les paysages du haut bassin versant de la Ribeira Seca (Cap-Vert). CIRAD-CA, Montpellier, 45 p. + Annexes.
- LIMA (J.C.), SMOLIKOWSKI (B.), LOPEZ (J.M.),** 1993 - Intensification des systèmes de cultures vivrières en pluvial. Techniques culturales et d'aménagements pour une meilleure valorisation de la ressource pluviométrique à Santiago (Cap-Vert). Protocole et dispositifs d'étude PRODAP/INIDA/CIRAD-CA à Montpellier, 14 p. + Annexes.
- LOPEZ (J.M.), SPENCER (J.), MONTEIRO (C.),** 1993 - Suivi de la Campagne agricole 1992 au Cap-Vert dans le cadre du projet "Espace". CIRAD Montpellier, 28 p. + Annexes.
- MANNAERTS (Ch.),** 1981 - a) Caractérisation physique et chimique des sols de Santiago. b) Mesures d'infiltration sur quelques sols de la zone semi-aride de l'île de Santiago (Cap-Vert). FAO, Note technique n° 2 : 112-147, n° 3, Projet GCP/CVI/002/Bel : 149-177.
- MANNAERTS (Ch.),** 1983 - Utilisation des eaux de ruissellement par des peuplements forestiers en zone aride et semi-aride de l'île de Santiago (Cap-Vert). FAO, GCP/GVI/002/Bel, Note technique n° 1 : 115-110.
- MANNAERTS (Ch.),** 1984 - Etudes hydrologiques et pédologiques du projet de reboisements forestiers (Santiago : Cap-Vert). FAO, GCP/GVI/002/Bel, Rome, 70 p.
- MANNAERTS (Ch.),** 1986 - Contribution à l'évaluation de l'érosion des sols au Cap-Vert. Influence des plantations forestières. FAO, GCP/GVI/015/Bel, Rome, 43 p.
- MANNAERTS (Ch.),** 1986 - Etude des paramètres hydrologiques sur un système de trois petits bassins versants contigus. Influence de l'aménagement forestier. Résultats des mesures des profils hydriques. (FONTES, Ile Santiago, Rép. Cap-Vert). FAO, GCP/GVI/015/Bel, document 6, 24 p.
- MONTMASSON (F.),** 1990 - Dynamique et situation actuelle du système agraire de l'île de Santiago (Rép. Cap-Vert). Mémoire DAA Agriculture comparée, INAPG Paris, 286 p.
- ROOSE (E),** 1991 - La gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols : une approche participative à la gestion de terroir. Cours ORSTOM- CNEARC Montpellier, 283 pages
- SMOLIKOWSKI (B.),** 1994 - Projet de développement de l'agriculture et de l'élevage à base communautaire (PRODAP/FIDA). Programme de recherche appliquée à la production végétale et à la Protection de l'Environnement : PRAIA, 27 p. + Annexes.
- ZUBRZYCKI (A.),** 1992 - Système de suivi-évaluation du projet S.J. Baptista. (Ile Santiago, Cap-Vert), 29 p.

**Le volet "Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse
et de la fertilité des Sols (GCES)"
du programme de recherche et de développement rural
dans une zone semi-aride du Cap-Vert (île Santiago)**

Compte rendu de la Mission Roose (18 au 29/5/94)
en appui au projet PRODAP-FIDA

1 - OBJECTIFS

- a) Faire le point sur les actions du projet dans le domaine de la GCES.
- b) Réaliser sur le terrain expérimental (région de Godim) un premier diagnostic des processus d'érosion en zone semi-aride de montagne.
- c) Revoir les dispositifs en place : proposer des améliorations et préciser les protocoles de mesures.
- d) Discussion sur le programme de recherche et propositions sur les compléments à apporter.
- e) Restitution des propositions concernant le programme de recherche et les actions de développement devant les dirigeants du PRODAP, de l'INIDA et de la Mission Française de Coopération.

2 - REALISATION EN 13 JOURS DE MISSION

- 3 jours de voyage : Montpellier → Dakar → Praia et retour.
- 3 jours de discussion du programme de recherche et des protocoles expérimentaux avec INIDA, PRODAP, Mission Française de Coopération.
- 1 jour de visite des réalisations du projet forestier PRECONS (Benoît Delaite) et du projet PRODAP.
- 1 jour de rédaction et restitution.
- 5 jours de terrain pour décrire en détail la couverture pédologique autour du dispositif de recherche, prélever les échantillons de sol au démarrage des essais expérimentaux, mesurer la capacité d'infiltration sur des pentes de 53 %, analyser la typologie des manifestations de l'érosion dans le paysage et visiter les réalisations du PRODAP en matière de GCES.

3 - PERSONNALITES RENCONTREES

PRODAP-FIDA

- M. Oumar BARRY, Directeur du projet.
- M. Bernard SMOLIKOWSKI, agronome conseiller technique principal du projet, coopération française.
- M. Michel QUERBES, agronome socio-économiste, responsable du volet recherche GCES, coopération française.
- Mme Arlinda NEVES, vulgarisatrice principale.

INIDA (Institut d'investigation sur le Développement Agraire)

- M. José LEVY, agronome physiologiste, Président de l'INIDA.
- M. Joaon SPENCER, climatologiste.
- M. Antonio QUERIDO, agronome responsable du programme de recherche GCES.
- Melle DIVA, documentaliste.

Mission de Coopération Française à Praia

- M. Alain LERAVALLEC, chef de mission.
- M. Pierre KIERNEN, conseiller.

4 - RESUME DES CONCLUSIONS

- 4.1. L'originalité du projet PRODAP-FIDA est de *lier étroitement la recherche au développement rural et à la protection de l'environnement*, dans une zone semi-aride de montagne à forte densité de population. Notre rôle a été d'évaluer les réalisations du projet et de proposer des améliorations tant pour le volet recherche que pour le volet développement.
- 4.2. En ce qui concerne le développement, il ne s'agit plus d'imposer aux ruraux des méthodes de lutte antiérosive pour protéger la ressource hydrique (justification pour distribuer des salaires), mais d'instaurer un dialogue avec les paysans pour développer des systèmes de culture et d'élevage qui valorisent mieux la terre et le travail, tout en améliorant la gestion des ressources naturelles (l'eau, la fertilité du sol et la biomasse). Cette nouvelle stratégie tente de responsabiliser les paysans vis-à-vis de leur environnement.
- 4.3. Ce programme de recherche, directement impliqué dans le développement, profite d'une bonne coopération entre le PRODAP-FIDA (qui assure la coordination), l'INIDA (Institut Cap-Verdien de recherche sur le développement rural), le CIRAD-CA (régionalisation de la capacité de production en fonction du bilan hydrique), l'ORSTOM (GCES) et le CNEARC (formation) grâce à l'intervention du Ministère français de la Coopération. Nous avons proposé que le responsable INIDA qui suit le programme sur le terrain puisse soutenir une thèse sur ce sujet en France : prévoir son financement et son encadrement scientifique (1 mission de 15 jours par an pendant 3 ans).
- 4.4. La durée du programme de recherche doit s'étendre **au strict minimum sur trois campagnes (jusqu'à juin 1996), avec prolongations en cas de pluies déficitaires**, si l'on veut atteindre des résultats scientifiquement crédibles tant pour les risques érosifs que pour la régionalisation de la production et l'efficacité et la rentabilité des méthodes de lutte. En effet, à cause du financement complexe, la majorité des dispositifs ne seront fonctionnels qu'en juillet 1994, les conditions pluviométriques sont très variables d'une année à l'autre et les dispositifs antiérosifs biologiques (haies vives) ne seront pleinement efficaces qu'au bout de 2 ans.
En outre, il serait extrêmement utile que Michel QUERBES, économiste, puisse développer une recherche sur les contraintes sociales et les aspects économiques de l'érosion tandis que Bernard SMOLIKOWSKI assurerait à la fois la coordination du projet et le suivi des mesures délicates sur les versants montagneux difficiles d'accès.
- 4.5. Un certain nombre de propositions sont développées dans le rapport technique (en annexe) concernant à la fois les dispositifs de gestion de l'eau à développer (citernes, haies vives fourragères, arboriculture derrière les seuils) et les mesures expérimentales des risques des divers types d'érosion et de l'efficacité des méthodes nouvelles de gestion de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols.