

**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 d'une 3ème mission en appui au PRODAP
(8 au 28/05/1996)**

**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 financé par le FIDA et la Mission de 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 de développement 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 avant et après l'expérimentation), au développement (évaluation des réalisations et propositions d'améliorations) et à la formation continue des chercheurs et techniciens.

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

- coordination des programmes : MM. Oumar Barry et Bernard Smolikowski ;
- modélisation de la production en fonction de l'eau disponible : Coopération INIDA + CIRAD-CA (MM Forest, Bertrand, Lopes, Perez) ;
- GCES en milieu semi-aride : Coopération : PRODAP (Smolikowski + Querbes) + INIDA (Antonio Querido) + ORSTOM (Eric Roose) ;
- aspects socio-économiques de l'érosion : PRODAP (Michel Querbes) ;
- les systèmes agraires et la formation : CNEARC (Michel Brochet).

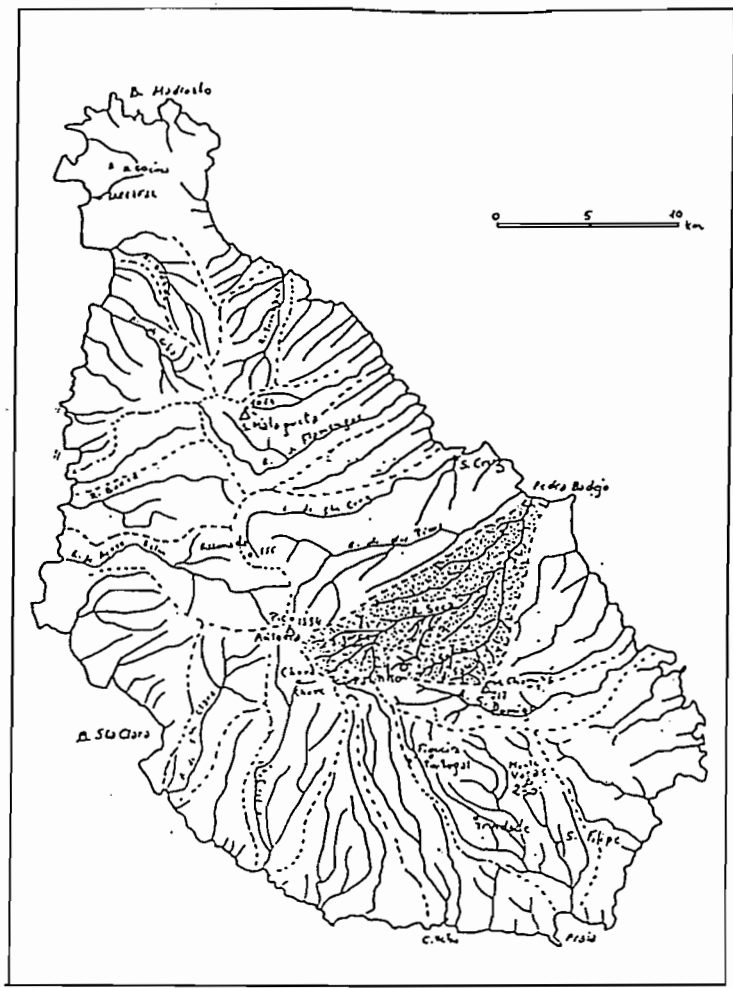


Fig. 1 : Situation du bassin de Ribeira Seca dans l'île de Santiago (Cap-Vert)

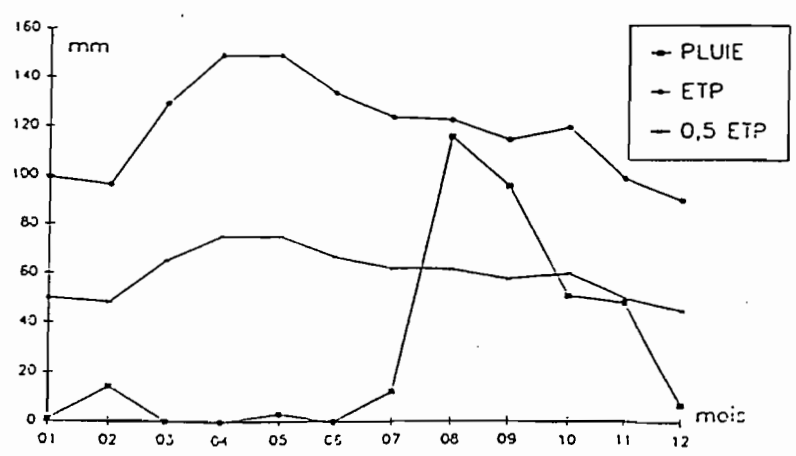


Fig. 2 : Pluie et demande climatique à Sao Domingo
Fonds Documentaire ORSTOM
Moyennes mensuelles 1984-1989

Cote :
Ex :

2 - OBJECTIFS DE CETTE TROISIEME MISSION D'APPUI

Nous intervenons en appui méthodologique au volet de lutte antiérosive de ce projet qui adapte aux conditions régionales des montagnes semi-arides de la vallée de Godim, la nouvelle stratégie de gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES).

Les deux premières missions (1993 et 1994) ont permis :

- a) de discuter des méthodes de lutte antiérosive à développer sur les versants raides en culture extensive (la haie vive agroforestière productrice de fourrage de qualité) ;
- b) de définir la topo séquence où sont installés les dispositifs permanents de mesure du ruissellement, de l'érosion et des états de surface ;(voir figure 1)
- c) de proposer des méthodes d'évaluation des risques érosifs à différentes échelles (100 cm², 1 et 4 m², 100 m² et petits bassins versants).

Les objectifs de cette troisième mission sont les suivants :

- a) faire le point sur l'état d'avancement des actions de GCES vulgarisées ;
- b) appuyer l'étude sur la dynamique de l'eau et l'érosion sur les topo séquences d'un versant (variation spatiale de la capacité d'infiltration du sol en fonction de la pente et du système de culture) ;
- c) appuyer l'étude de l'effet des pailles sur le ruissellement et l'érosion à l'aide d'un simulateur de pluies ;
- d) proposer des recommandations sur les recherches complémentaires ou à poursuivre durant les trois années à venir ;
- e) exposer les conclusions de la mission concernant les techniques de LAE à vulgariser.

3 - LES MOYENS DE LA MISSION

Sur les 21 jours de mission, 4 jours ont été consacrés au voyage depuis Montpellier, 4 jours à des tournées pour visiter des aménagements antiérosifs, 12 jours à des mesures de terrain concernant la capacité d'infiltration des sols sur forte pente à l'aide de deux simulateurs de pluies, l'un sophistiqué mis au point par l'ORSTOM (Asseline et Valentin, 1979), l'autre manuel plus adapté aux fortes pentes (Roose, 1996). Enfin, nous n'avons disposé que d'un jour pour la rédaction de ce rapport et la présentation des résultats au cours d'une conférence débat avec les techniciens concernés.

Nous tenons à remercier la Mission de Coopération française (Mr. Bossis) d'avoir financé cette mission ; les directeurs du PRODAP (Mr. Barry) et de l'INIDA (Mr. Levi) de l'avoir permise et MM. B. Smolikowski, M. Querbes et A. Querido de nous avoir accueilli et accompagné tout au long de cette mission, malgré la présence simultanée de la mission d'évaluation du FIDA.

4 - EVALUATION DES RISQUES D'EROSION

L'observation des manifestations du ruissellement et de l'érosion sur les paysages visités et dans les parcelles aménagées par le PRODAP a permis de poser le diagnostic suivant après deux années de pluviosité déficitaire et une année normale comportant deux pluies importantes successives (80 et 70 mm à 10 jours d'intervalle) (figure 3).

Au sommet des versants, le sol est décapé pratiquement jusqu'à l'horizon d'altération de la roche sédimento-volcanique (Orgaos) peu perméable.

- **L'érosion en nappe** sur les pentes raides (pente 20 à 60 %) est relativement peu active :
 - *1 à 5 t/ha en année moyenne sous la culture extensive de maïs et de haricots,
 - *à peine 40 t/ha en année érosive sur le système de culture traditionnel,
 - *moins de 30 t/ha en cas de haie vive tous les 10 mètres,
 - *moins de 2 t/ha si on laisse 1,5 t/ha/an de paille (40 % de sol couvert par la litière).

L'état de la surface du sol reste d'ailleurs ouvert (moins de 10 % de surface encroûtée après les grosses pluies), relativement couvert (25 à 40% de canopée \pm 40 % de paille) et recouverte de terre fine (30 à 75 % de la parcelle). Entre les périodes pluvieuses, le vent et le soleil ont le temps de dessécher l'horizon poudreux de surface et de reconsolider la structure et la porosité de l'horizon superficiel.

- **L'érosion mécanique sèche** produite par le piétinement sur les versants raides et par le travail très limité du sol (préparation des terrassettes, semis, sarclage et récoltes) a été modeste (1 à 4 t/ha/an) en 1995 sur des pentes de 50 % : elle peut atteindre 10 à 40 t/ha/an au Rwanda sur des pentes comparables où on travaille beaucoup plus le sol pour maîtriser les adventices. Sur les versants raides des zones semi-arides, il est souhaitable d'éviter de travailler les sols : ils sont bien aérés naturellement et les adventices sont moins agressives qu'en région humide.

- **L'érosion linéaire** et l'énergie du ruissellement concentré sont remarquables. Les rigoles apparaissent dans les champs cultivés à 20 mètres du sommet et les ravines vers 50 mètres sous les crêtes des versants concaves, en liaison avec le changement de pente (de 50 à 30 %) et la manifestation de l'horizon d'argile vertique.

Ce ruissellement relativement modeste (K_{rmax} de 1 à 10 % lors des fortes pluies de 1995) sur les fortes pentes (50 %) s'accumule et s'accélère dans les rigoles tout au long des versants, sur les pistes et dans les vallées pour creuser des ravines et des canyons impressionnants dans les plateaux basaltiques : ceux-ci sont encombrés de sédiments grossiers charriés jadis à une période plus humide ou encore de nos jours lors des averses exceptionnelles qui créent des crues violentes. Apparemment l'énergie érosive des pluies sur les versants (la battance) est bien plus faible que l'énergie du ruissellement sur les versants concaves et surtout dans les vallées dès que le bassin versant dépasse quelques dizaines d'hectares. Les fortes averses de 1995 ont laissé des traces profondes de ravinement sur les collines autour de Praia.

- Localement, on peut observer des **glissements de terrain impressionnants** soit anciens et stabilisés pour la majorité, soit récents et dus au sapement des berges par les oueds ou le long des routes de montagne.

- L'influence des aménagements antiérosifs mécaniques (banquettes, murettes en pierres, demi-lune et même haies vives) est très modeste surtout en absence d'entretien ; par contre la couverture biologique des versants maintient une bonne infiltration : la litière et les herbes

basses réduisent considérablement les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants et peut être même les crues dans les Ribeira, tout au moins pour les averses de moins de 90 mm .

5 - EVALUATION DES ACTIONS DE GCES

L'objectif du PRODAP est de passer de la lutte antiérosive conventionnelle (généralement mécanique) à une stratégie de développement rural participatif appelé " la gestion conservatrice 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 (Roose, rapport 1994).

Deux ans après nos propositions, quelles sont les observations et les suggestions nouvelles que nous pouvons faire ?

5.1 - La gestion de l'eau

5.1.1 - Les études sur parcelles d'érosion, confirmées par les simulations de pluies, ont montré que les sols sont très perméables, que le ruissellement ne se manifeste que pour des pluies de plus de 40 à 60 mm selon l'humidité préalable du sol et l'aménagement de la surface et qu'il ne dépasse guère 5 à 10 % des pluies les plus fortes sur les versants très pentus (voir rapport Smolikowski et al., PRODAP janvier 1996).

5.1.2 - Le volume d'eau dont on peut améliorer l'infiltration sur les versants est donc réduit et l'action des haies vives, tout comme celui des demi-lunes, cordons de pierres ou murettes, est très limitée (gain de 1 à 5 % du ruissellement au bénéfice des jeunes arbres). La croissance de production de grains et de biomasse est, elle aussi, modeste si on immobilise 1,5 t/ha/an de biomasse à la surface du sol. Malgré l'excellente capacité de stockage en eau du sol, il est peu réaliste d'espérer une intensification de la production agricole (pluies trop faibles) sur les versants, mais on peut tenter une meilleure gestion de la biomasse pour l'élevage (**introduction d'arbustes fourragers** qui restent verts en saison sèche).

5.1.3 - Par contre, dans les parties concaves des versants et surtout dans les vallées, à mesure que le bassin versant s'accroît, le volume d'eau disponible (sur 2 à 4 % du territoire) augmente considérablement.

S'il est difficile de stocker toutes les eaux lors des crues violentes, il est possible d'en stocker une partie derrière **les seuils - souvent admirablement construits - mais très rarement valorisés**.

Distinguons d'abord, les murettes de pierres à bord horizontal construit sur les ravines secondaires sur les versants. Rapidement comblées de sédiments, **ces murettes sans aile** construites pour contrer le flux du ruissellement sont rapidement contournées par les eaux de ruissellement concentré. Je propose ou bien de les compléter par des ailes plus élevées que le déversoir central et de prévoir un enrochement pour dissiper l'énergie de chute, ou bien de les remplacer par des dispositifs perméables en grillage beaucoup moins chers (en Algérie 30 % du prix des murs en pierres sèches) plus légers et plus efficaces (voir figure 11, en annexe).

5.1.4 - Les seuils moyens (H = 250 cm, longueur 5 à 20 m), apparemment construits très épais (pour pouvoir être surélevés) dans les ravines et les vallées secondaires, captent en 1 à 3 ans, 5 à 50 m³ de sédiments sableux (plus de 60 % de sables grossiers en moyenne sur l'un d'eux) stockent 40 % d'eau dont 20 % d'eau libre récupérable après chaque pluie dans un drain pour usages domestiques (élevage). Ces aménagements très coûteux pourraient être valorisés par la **création de jardins fruitiers multiétagés de ravine** (comme en Haïti).

L'existence de milliers de ces seuils laisse présager une modification sérieuse du marché des fruits au Cap Vert, surtout si l'on prend soin de combiner les espèces précoces et tardives et de greffer des variétés améliorées et diversifiées.

5.1.5 - Enfin dans les grandes Ribeira, il est peu raisonnable d'envisager des lacs collinaires vu la forte évaporation et la masse des sédiments transportés lors des crues violentes. On pourrait par contre capter ces sédiments et une grande quantité d'eau derrière des seuils imperméables. Cette eau pourrait être valorisée en aval par une prise d'eau pour l'élevage, maraîchage, jardins fruitiers et autres usages domestiques.

5.1.6 - Le stockage de l'eau dans les citernes : l'une des propositions de 1994, consistait à réhabiliter les citernes construites à des époques plus humides. Seules quelques exploitations lancées dans un petit élevage moderne ont bénéficié d'une aide pour la récupération des eaux de pluie dans une citerne. Cet investissement pourrait aussi changer les conditions de vie (hygiène/santé + petit jardin de case) des exploitants les plus modestes, tout en réduisant le ruissellement sur les parties habitées imperméables du bassin versant. Les expériences menées dans ce sens en Haïti et au Burundi ayant été très positives sur l'amélioration du milieu de vie rural, nous ne pouvons que les encourager - même s'il pleut moins souvent au Cap Vert qu'en Haïti.

Un effort de recherche de techniques bon marché est souhaitable pour réduire l'importance des investissements et améliorer la fourniture d'eau potable de qualité.

5.1.7 - La dissipation de l'énergie de ruissellement

Il existe 4 modes de gestion des eaux de ruissellement (voir Roose/FAO, 1994) :

- la capture du ruissellement et l'agriculture sous impluvium en zone aride,
- l'absorption totale des eaux de surface en zone semi-aride sur sols perméables,
- la diversion des eaux excédentaires sur les versants cultivés vers des exutoires aménagés,
- et enfin la dissipation de l'énergie du ruissellement grâce à des microbarrages semi-perméables (ex : haies vives) et à la forte rugosité des terres cultivées (ex : paillage).

Cette nouvelle approche consiste à étaler la nappe de ruissellement et à freiner sa progression sur le versant par des techniques culturales (paillage et travail grossier) et par des haies vives combinées avec des talus enherbés.

Le PRODAP étudie sur fortes pentes (30 à 50 %), en zone semi-aride, la possibilité de stabiliser les versants à l'aide d'une haie vive de *Leucaena leucocephala* (ou *Ziziphus mauritiana* en situation défavorable) et de diverses graminées (*Pennisetum purpureum*, *Panicum maxima*, *Vetiver*, *Sorghum*, *Cajanus cajun*, etc.). Des arbres fruitiers plantés sur butte tous les 8 mètres devaient valoriser l'eau et la terre accumulées dans les segments de banquette : trois ans plus tard, rares sont les arbres survivants.

Ce système un peu compliqué, immobilise 10 à 20 % de la surface cultivable, mais contrairement aux dispositifs antiérosifs conventionnels, produit 300 kg/ha de biomasse riche en azote (dont 40 kg de bois) stockés sur pied et mobilisable en saison sèche au moment où le fourrage disponible est réduit à de la paille sèche.

D'après les résultats des parcelles d'érosion, après 3 ans de plantation, la haie vive a réduit de 25 % le ruissellement et l'érosion observés sur le témoin cultivé. Plantés à 80-100 cm

d'écartement, les arbustes taillés trop haut, ont du mal à retenir la terre, les feuilles et les pailles qui circulent sur ces fortes pentes (50 %) : **je suggère donc de les planter à 50 cm en double ligne en quinconce ou à 30 cm en ligne simple.** Je propose également de **simplifier la banquette.**

*En creusant trop la banquette, on plante dans l'altérite stérile.

*Au bout de 3 ans, on observe 30 cm de sédiments qui enterrent les arbustes.

*Enfin le fossé étant bouché par les sédiments, les eaux débordent rapidement lors des averses de plus de 40 mm. Les observations sur la parcelle de démonstration ont montré que **les Leucaena poussaient aussi bien serrés à 30 cm et plantés sans banquettes.** Pour ne pas trop changer les habitudes, on pourrait garder une "banquette forestière" en légère contre-pente de 50 cm où planter les Leucaena tout en réduisant le talus fragile à pente plus forte que le terrain. Le pois d'Angole y pousse bien mais le protège trop peu (forme érigée). Le sorgho n'est pas permanent, le vetiver y survit difficilement, les autres graminées pérennes disparaissent en année sèche. Faute d'avoir trouvé une graminée pérenne pour le couvrir, il faut donc supprimer le talus trop fragile, et y développer **une légumineuse pérenne basse à enracinement profond comme la Doliche** ou le pois d'Angole à condition de le tailler très bas chaque année.

A part quelques poughères, ziziphus et philantus acidus, les arbres fruitiers ont disparu... alors que subsistent des vieux manguiers plantés à une période plus arrosée. Il faudrait que les fermiers leur accordent plus de soins à la plantation (trous de 40 x 40 x 40 cm + 1 ou 2 poignées de fumier) et à l'entretien pour avoir l'espoir de **régénérer un parc d'arbres fruitiers sur les versants.** Peut-être que quelques eucalyptus ou neem pourraient être essayés ou l'Acacia albida fournissant des gousses très appréciées du bétail (mais comme le ziziphus, sa croissance est très lente).

Les Leucaena portent déjà des graines dès l'âge de 4 ans pour peu qu'on néglige la taille : c'est une preuve d'une grande possibilité d'extension, mais aussi un risque d'envahissement des terres cultivées. **Les repousses annuelles devraient être taillées plus vigoureusement** et ne laisser que 2 à 4 yeux chaque année sans quoi on va rapidement observer une zone d'ombrage défavorable pour le maïs. Tous les 5 à 10 m on pourrait laisser pousser un Leucaena en arbre pour produire des perches.

Le Leucaena leucocephala est aujourd'hui **bien implanté sur 600 ha - mais mal géré** par les paysans, peut-être spécialement cette année où, les pluies de 1995, étant relativement abondantes, il reste un excès de paille sur les champs fin mai. **Il manque aux paysans un bon outil** (un fort sécateur/une scie) pour couper proprement les branchettes (chercher un forgeron régional ou louer le matériel au projet).

5.2. La gestion de la biomasse

5.2.1. Etat des lieux.

***Les sols des régions semi- arides sont pauvres en matières organiques** : 1 à 2% de carbone organique pour 60% de teneur en argile + limons : ceci pourrait être à l'origine d'une déstabilisation de la structure de la surface du sol lors des fortes averses.

*En année moyenne, la production de grain atteint 400 à 1500 kg/ha et 1 à 1.5 t/ha/an de paille (maïs haricots). **La production de grain est très irrégulière et suffit à peine à nourrir la population rurale une année sur 3.** L'amélioration de la production de grains ne justifie pas économiquement l'épandage de paille qui augmente l'infiltration sur les versants.

***La paille est généralement séchée sur pied et valorisée par l'élevage sur l'exploitation, ou vendue et exportée vers les villes.** En fin de saison sèche, on peut observer des excédents de paille sur les champs une année sur 3 : l'usage de cet excédent comme paillis pourrait alors se justifier (aucun transport).

***La qualité des pailles fourragères (mélange de fânes de maïs et de haricots) pourrait encore être améliorée par l'apport de fourrages d'arbustes légumineuses en vert (pois d'Angole, Leucaena, etc.).** L'enfouissement des pailles exigerait un travail du sol non rentable (et dangereux pour l'érosion sur ces fortes pentes).

***L'élevage familial valorise au mieux cette biomasse (économiquement), mais il entraîne une exportation des nutriments des sols de versant,** une réduction de la restitution de matières organiques aux sols et une concentration des nutriments dans les terres entourant l'habitat. Le fumier produit est entassé en bordure de ravine, souvent en plein soleil : il ne représente finalement que 30 à 40% de la masse de nutriments et de matières organiques mobilisées par la production. Il semble peu utilisé sur la ferme : **le plus souvent le fumier est vendu et exporté vers les terres des vallées où sont concentrées les cultures maraîchères.**

***L'abattage systématique des arbres et arbustes** et le commerce de charbon de bois en période économique difficile sont des indices d'un **manque d'énergie de la région.** La plantation de haies vives de Leucaena tous les mètres n'a répondu que partiellement aux besoins de biomasse : 250 kg/ha de fourrage vert (apprécié en saison sèche) et 40 kg de petit bois de chauffe.

5.2.2. Propositions

***L'élevage extensif** sera toujours nécessaire pour valoriser la biomasse sur les versants. Il pourrait être renforcé par un élevage familial valorisant tous les déchets familiaux et faisant appel à un minimum d'apport externe à l'exploitation.

***La production de fumier devrait être améliorée** par la constitution, à proximité de l'habitat, d'une fosse fumièr /compostière/poubelle où seront entassés tous les déchets de l'étable (stabulation au moins durant la nuit), des champs et de la famille (en particulier les cendres et les eaux usées) ; cette biomasse devrait pouvoir fermenter dans une ambiance humide à l'abri du soleil, sous un bouquet d'arbres fruitiers.

***Ce fumier pourrait être valorisé pour implanter un jardin fruitier autours des cases ,** dans les bas-fonds et derrière les seuils aménagés dans les ravines.

***Contrairement à de nombreux pays tropicaux, on n'a pas observé de jardin de case au Cap Vert. Les eaux usées du ménage (20 à 50 litres par jour) pourraient être utilisées pour arroser 10 à 30 arbres autours de la maison** jusqu'à ce qu'ils aient atteint un enracinement suffisant. La réhabilitation et la **construction de citernes** devrait favoriser le développement de jardins de case très productifs.

***La réintroduction d'un parc arboré sur les versants** serait utile pour augmenter la production de bois et surtout de biomasse fourragère en particulier durant les années sèches. Dans les conditions actuelles de pâturage extensif et de pluviosité déficitaire, cela demanderait un effort particulier pour protéger les essences qui poussent naturellement et pour implanter dans des fosses suffisamment grandes des légumineuses fourragères à croissance rapide (prévoir quelques poignées de fumier pour le démarrage du réseau racinaire). On pourrait imaginer par exemple un parc arboré à faible densité (40 à 100 tiges à l'hectare), composé d'un mélange de Leucaena divers, de Ziziphus mauritiana, de Prosopis juliflora, d'Acacias albida, d'Eucalyptus et de Phillatus acidus.

5.3. Gestion de la fertilité des sols

5.3.1. Diagnostic

***Les sols châtaîns et bruns vertiques des versants semblent assez fertiles.**

Le ph est correct et l'acidification n'est pas à craindre. Le rapport C/N de 8 montre que la minéralisation des matières organiques est rapide, mais le taux de matière organique est trop faible. Le taux de bases échangeables est suffisant. Aucun résultat analytique ne prouve que les taux de phosphore assimilable et d'azote minéral soient suffisants pour assurer le maximum de production en année de pluviosité favorable.

***Dans ces zones semi-arides , il est difficile de valoriser la fumure minérale sur les versants non irrigués. Tout au plus peut-on suggérer d'expérimenter une petite dose de N et P assimilable à apporter au stade floraison, seulement en année humide.**

***La fumure organique elle-même devrait être valorisée de préférence sur les cultures arborées, les jardins fruitiers, les jardins de case, les jardins de ravine et les cultures maraîchères.**

Un gros effort pourrait être entrepris pour améliorer la production et la qualité du fumier.

6 - APPROCHE METHODOLOGIQUE

***Le PRODAP se veut être un projet de recherche en vue du développement rural.**

Dans ces zones semi-arides montagneuses où le ravinement est partout présent, il était nécessaire d'affiner le diagnostic de l'origine du ruissellement et de l'érosion sur ces sols fertiles, très perméables, cultivés sur des pentes très fortes (jusqu'à plus de 50%).

6.1. Le diagnostic

***Conventionnellement, les conservationnistes interviennent de façon d'autant plus intensive que la pente (%) est raide. Or les mesures des hydrologues ont montré que le ruissellement est très fort sur les pentes moyennes à faibles des "achadas"(plateaux basaltiques) dont les sols sont le plus souvent sensibles à la battance des pluies.**

Qu'en est il au juste dans la vallée de Godim sur les sols châtaîns des versants raides?

***Le diagnostic visuel effectué lors de la 1ère mission semblait montrer le décapage des versants par l'érosion en nappe, l'érosion mécanique sèche et surtout la grande efficacité de l'érosion linéaire (rigoles et ravines à partir du 1/3 de versant).**

***Depuis 3 ans , l'équipe a développé une approche méthodologique pour évaluer de façon quantitative la diversité des risques de ruissellement et d'érosion dans l'espace , à différentes échelles.**

6.2. Les méthodes quantitatives à divers échelles

*** Mono-cylindres de 100 cm², pour l'étude de la capacité d'infiltration et de stockage de l'eau des différents horizons des sols du versant de Godim.**

Les mesures ont montré que le profil des parcelles d'érosion est très perméable mais que le micro-horizon poudreux de surface et surtout l'altérite qui affleure au 1/3 du versant le sont beaucoup moins, même en saison sèche. Leur macroporosité fonctionnelle varie de 10 à 24%. La capacité au champs de ces sols argilo-limoneux atteint 32 à 36%, tandis que le point de flétrissement serait de 10%. Leur capacité de stockage en eau serait donc très élevée, ce qui explique partiellement la présence de cultures de maïs en cette zone semi-aride (Pluie = 200 à

Figure 4 : Forme des taches d'humectation en fonction des caractéristiques hydrodynamiques des horizons du sol : a) sol sableux très perméable ; b) sol sablo-argileux ; c) sol peu perméable, tassé ou battu par la pluie ; d) horizon perméable sur un horizon moins poreux avec tendance au drainage oblique.

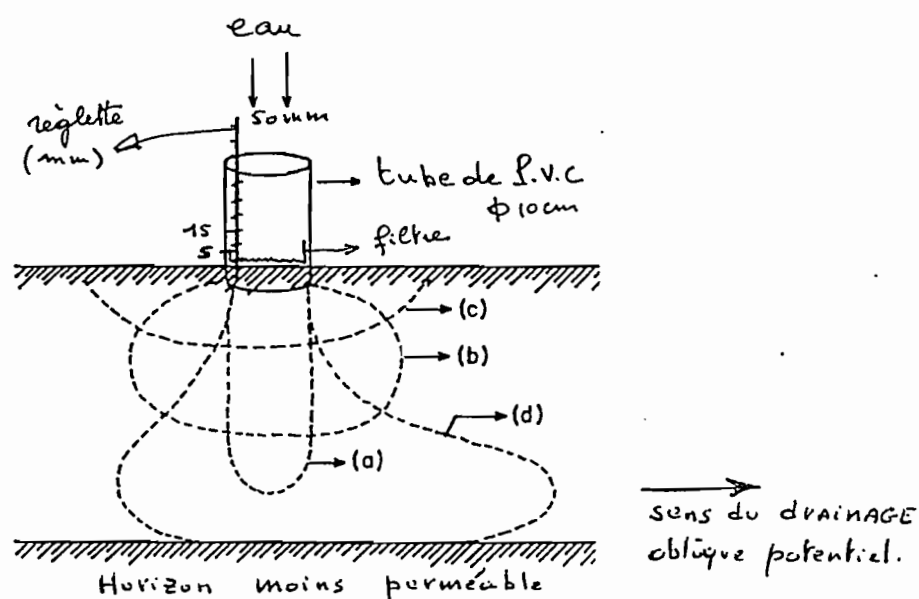
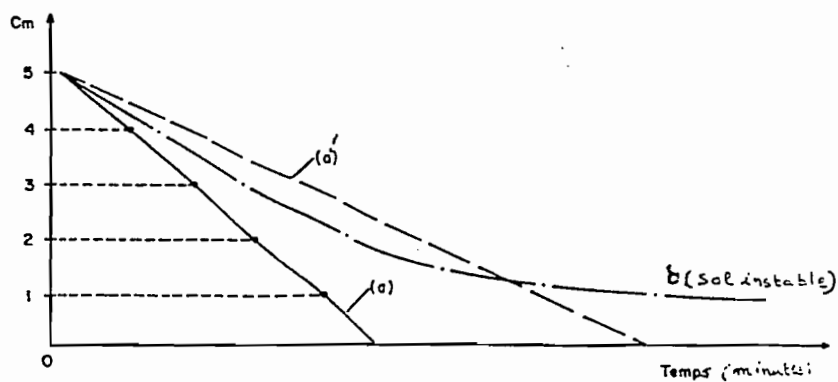


Figure 5 : Dynamique de l'infiltration, a) sur un horizon sableux sec, a') après humectation, b) sur un horizon peu stable à l'eau.



400 mm) et la présence de feuillages verts sur les pois d'Angole et divers arbustes à enracinement profond 8 mois après la fin de la dernière pluie.

*** Parcelles de 4 m², dispersées par couple sur l'ensemble du versant pour vérifier la variabilité des risques d'érosion et de ruissellement, ainsi que l'effet du paillage sur les rendements sur l'ensemble du versant.** Les pluies importantes ayant été très rares, l'effet favorable du paillage suite à une réduction du ruissellement a finalement été modeste.

*** Simulation de pluies de fréquence 1/10 sur 1m², sur pentes >35%**(Asseline et Valentin, 1979). Pour vérifier la capacité d'infiltration au cours d'une pluie de fréquence rare (les seules qui ruissellent), et pour estimer l'influence d'un paillage (1.5t/ha/an), l'équipe a procédé à 3 tests de pluie de 60 mm/heure pour déterminer la pluie d'imbibition(PI) nécessaire pour le démarrage du ruissellement, le taux final d'infiltration (Fn), le coefficient de ruissellement et la charge en suspension (test de stabilité de la surface du sol). Les résultats de la campagne de simulation de pluies seront publiés par Smolikowski, Querbès, Pérez, Roose et Querido, mais les 1ers résultats confirment l'impact positif du paillage sur la pluie d'imbibition et sur le taux d'infiltration final, donc sur l'infiltration des pluies, pour des pentes de 16 à 35 %.

*** Simulation de pluies de 100 mm à l'aide d'arroseurs manuels à rampe sur 1m², sur pentes de 16 à 55%.** Le simulateur de pluie de Asseline exige 3 à 4 techniciens, 600 litres par test d'une heure, l'absence de vent ou la protection d'une bâche et pose des problèmes d'adaptation sur des pentes de plus de 30%. C'est pourquoi nous avons profité de cette campagne de simulation pour comparer les résultats obtenus avec un simulateur simplifié au maximum. Il s'agit d'un arrosoir à rampe pour herbicide qu'un technicien promène à 50 cm au-dessus de la parcelle de 1m² définie par le même cadre que pour le dispositif classique. On arrose le plus uniformément possible la surface de la parcelle et on interrompt l'irrigation tant qu'un ruissellement franc se manifeste : ce ruissellement est récolté et floculé (test de stabilité de la terre de surface) tandis qu'on recycle sur la parcelle un volume égal d'eau claire. Le temps mis pour infiltrer chaque 10 litres (donc 10 mm) est chronométré.

Les résultats disponibles montrent que l'effet de battance de la pluie simulée est généralement plus faible pour le simulateur manuel que pour le simulateur conventionnel de l'ORSTOM (hauteur de chute = 4 mètres) : la cause probable vient d'une énergie plus faible de l'arrosoir à rampe (chute de 50 cm, mais gouttes plus grosses). Cependant, ils confirment l'effet favorable du paillage sur la pluie d'imbibition et sur la capacité d'infiltration finale après 60 mm de pluie. De plus ils montrent clairement que la capacité d'infiltration de la surface du sol augmente lorsque la pente passe de 16 à 50% .

Ce mini- simulateur simplifié peut donc servir de test pour comparer différents traitements, à faible coût (1 cadre de 1m², 100 litres d'eau par test de 100 mm, 1 technicien pendant 1 heure). Il présente cependant l'inconvénient d'une intensité variable mal maîtrisée au cours de la pluie et ne permet pas d'estimer la pluie d'imbibition avec précision. La mise au point du protocole et du dispositif (pour réduire l'intensité de l'irrigation) continue.

*** Les parcelles de mesure du ruissellement et de l'érosion (100 m²),** ont permis d'observer l'évolution des états de surface, l'effet des haies vives, du paillage et des cultures les plus courantes sur la production de biomasse, le ruissellements et l'érosion en nappe, ainsi que l'érosion mécanique sèche sous la pression des outils et du passage des ouvriers.

*** Les petits bassins versants stabilisés par des seuils (10 à 100 ha).** Un certain nombre de ravineaux et de vallées secondaires ont été aménagés avec des séries de seuils susceptibles de capter 5 à 50 m³ de sédiments. Pour autant que l'on dispose d'un seuil non encore totalement colmaté à l'aval, on peut estimer les transports solides de ce bassin versant depuis la

construction des seuils (1993 à 95), en évaluant le volume des sédiments captés en amont de chaque seuil (par sondages jusqu'au sol en place, souvent l'altérite) et en multipliant ce volume par le rapport entre le taux de sable grossier des sédiments et le même taux dans les horizons érodés du sol (sur 20 cm par exemple). La comparaison des résultats sur n micro-bassins versants devrait permettre de modéliser les transports solides en fonction des pentes, de l'occupation des sols et des pluies significatives (plus de 30 mm).

*** Modélisation à l'échelle régionale des risques d'érosion.**

Les facteurs de l'érosion ayant été estimés sur les parcelles d'érosion et au simulateur de pluies, on peut tenter d'évaluer les transports solides sur les micro-bassins en fonction des pluies, de la pente % et du couvert végétal.

On pourrait ensuite tenter de généraliser de proche en proche ce modèle de transport solide à l'aide d'un SIG permettant de situer dans l'espace les risques de pluies significatives, la pente et le couvert végétal (ou l'occupation des sols). Cette carte des risques d'érosion (ou de ruissellement si on l'applique aux volumes ruisselés) pourrait alors servir d'aide à la décision concernant l'aménagement du territoire.

7 - CONCLUSIONS

*Le PRODAP développe un projet de recherche en vue du développement intégré d'une zone rurale de montagne semi-aride à forte population.

*Par ses recherches, il tente de mettre au point un référentiel technique permettant non seulement d'améliorer la productivité de ces versants très pentus mais aussi de les stabiliser en vue d'une agriculture durable.

*Les résultats des expérimentations sous pluies naturelles ou simulées, à diverses échelles, ont montré qu'en années déficitaires et normales, les risques de ruissellement et d'érosion en nappe sont très limités sur les versants raides, tant qu'on n'observe pas de pluies de plus de 60 mm/jour.

*Sur ces versants raides, la dissipation de l'énergie du ruissellement par le paillage discontinu réduit les risques d'érosion en nappe à moins de 2 t/ha/an: le paillage est donc une technique élégante pour stabiliser le paysage. Cependant, le système actuel de culture ne permet de dégager un excédent de production de paille qu'après une année suffisamment pluvieuse, soit 1 année sur 3.

*Les haies de *Leucaena* ont réduit les risques d'érosion de 25%. Son efficacité pourrait être améliorée en veillant à tripler sa densité de plantation, en réduisant le volume de terrassement, en paillant sa base et en couvrant le talus avec une légumineuse pérenne. Le *Leucaena* a démontré son adaptation aux rudes conditions locales en fournissant en saison sèche un complément de fourrage vert, riche en protéines et en se reproduisant aisément par graines.

*Par contre, le dispositif conventionnel en terrasse devrait être simplifié : réduire le volume du terrassement et du talus instable, difficile à protéger. Très rares sont les arbres fruitiers introduits sur les terrasses qui survivent au bout de 3 années. Ou bien il faut se résoudre à supprimer l'espoir d'un parc peu dense sur les versants, ou bien, il faut mieux soigner leur plantation (trous plus grands, fumure organique, protection contre le bétail).

*Trois actions nous semblent plus intéressantes à diffuser pour améliorer le niveau de vie des petits paysans : les citernes privées associées à un élevage, des jardins de case et des jardins de ravine pour valoriser les sédiments captés par les seuils.

*L'ensemble des mesures de ruissellement et d'érosion pourrait être valorisé par l'étude des sédiments captés par les seuils installés depuis 1993 sur de petits bassins versants. La modélisation des transports solides à l'échelle de ces petits bassins versants pourrait donner naissance à une carte des risques d'érosion à l'échelle régionale en fonction des pluies, des pentes et du couvert végétal (SIG).

*S'il est important de continuer les observations sous pluies naturelles d'autant plus longtemps que les pluies sont rares, il serait souhaitable d'étendre les mesures à l'échelle de micro-bassins versants et d'analyser le coût de l'érosion et des aménagements fonciers antiérosifs, ainsi que les conditions socio-économiques d'une agriculture durable en montagne.

Figure 6.
Schéma du simulateur de pluie de l'ORSTOM (d'après Asseline et Valentin, 1979)

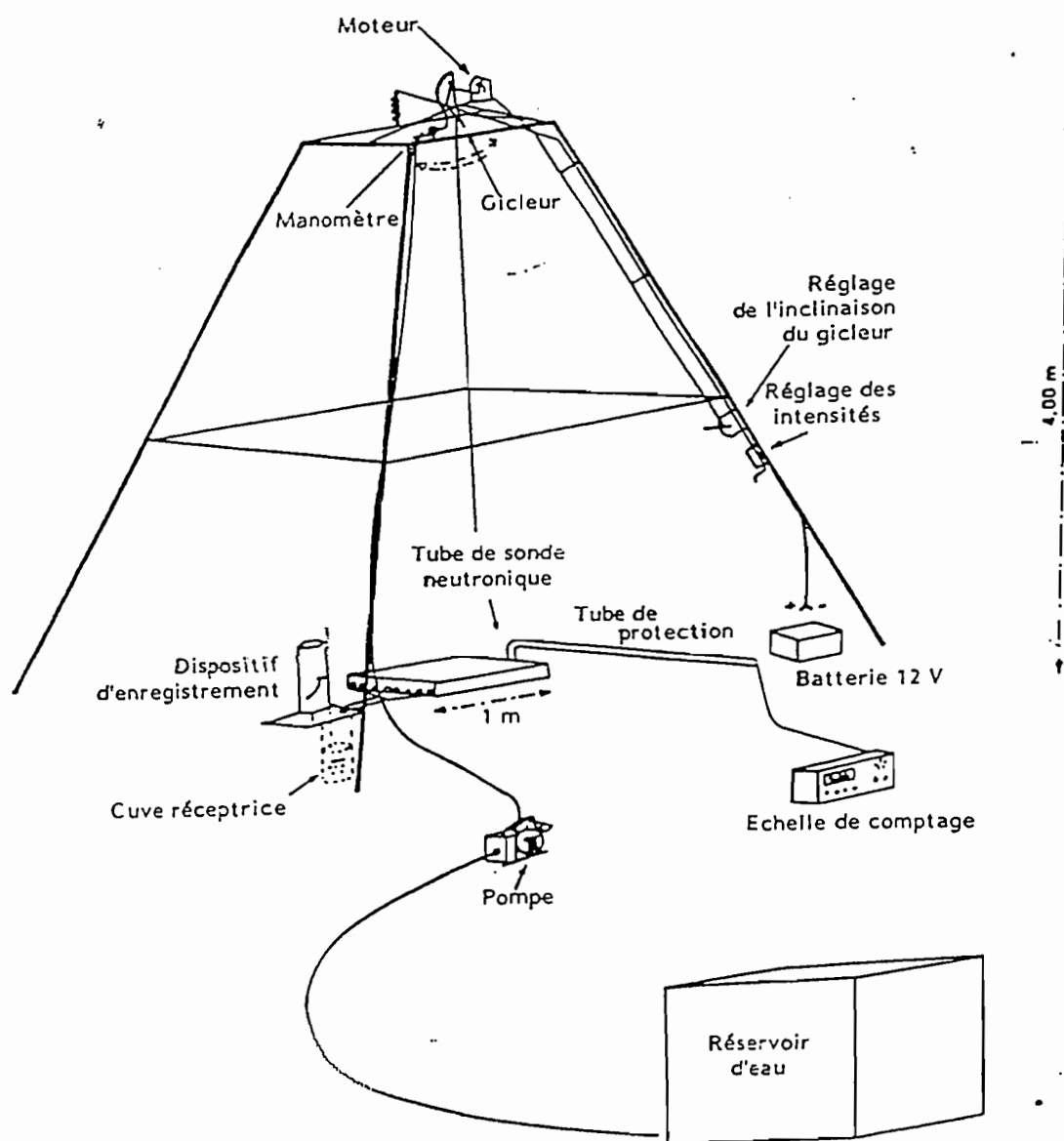
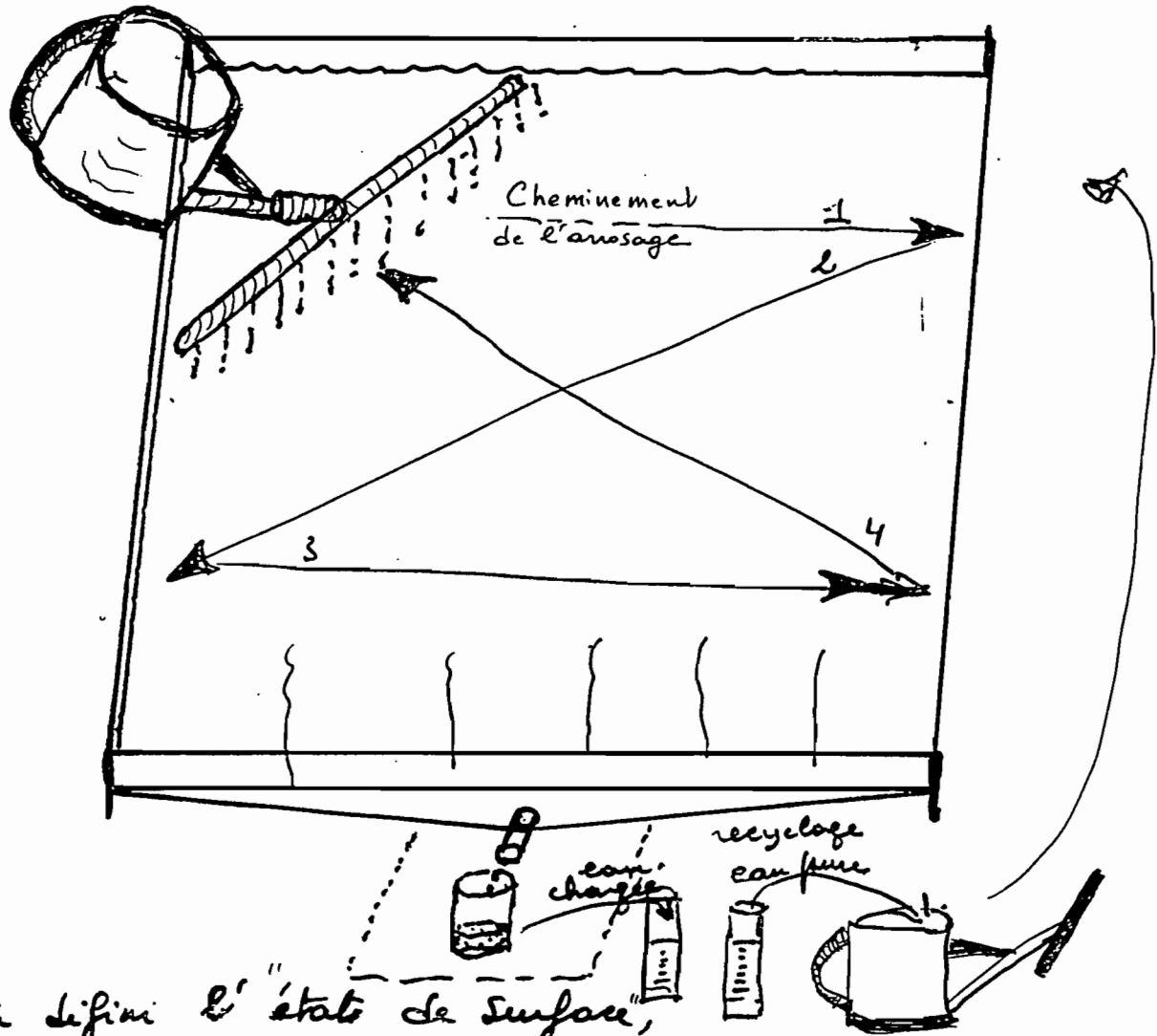


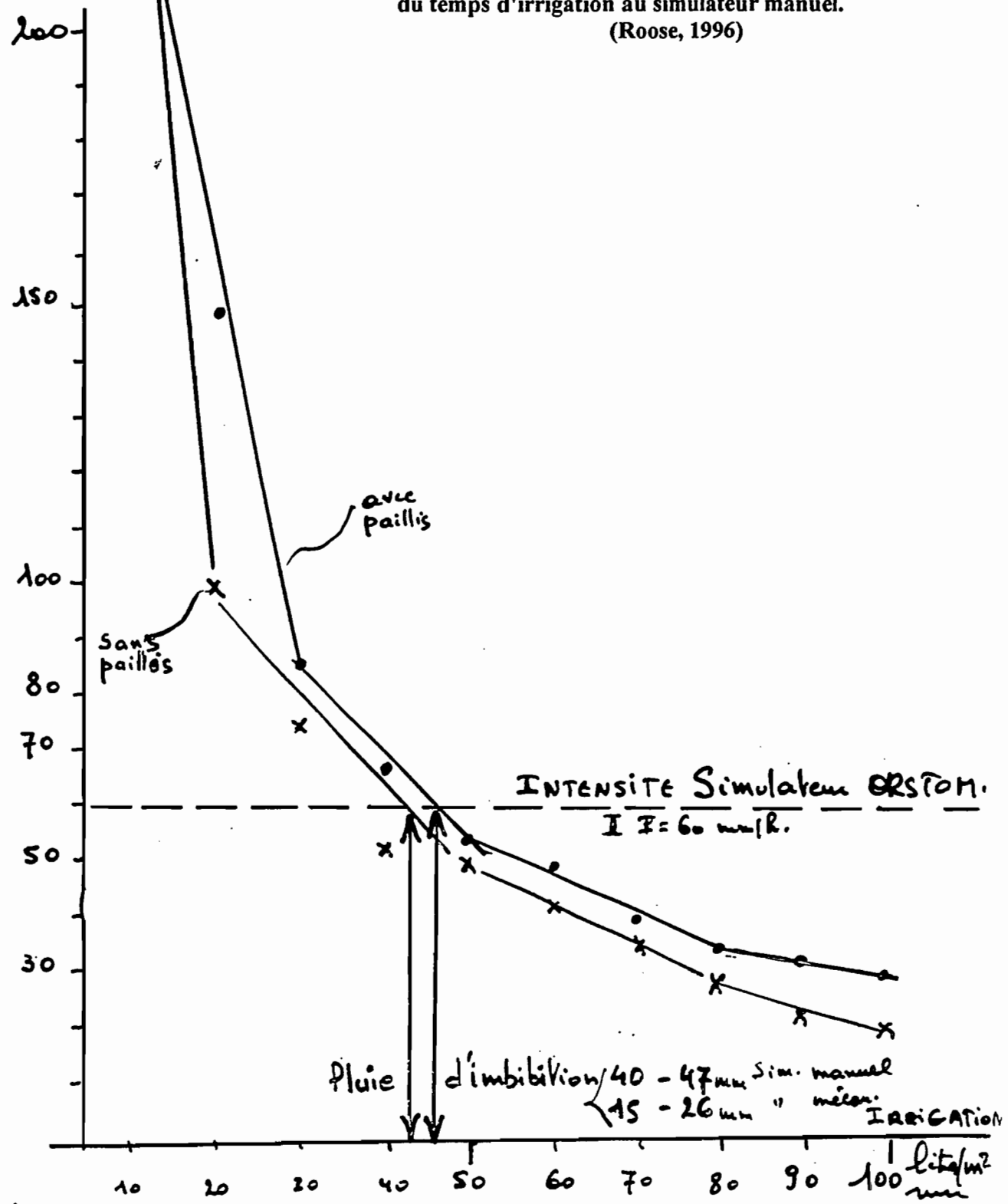
Figure 7.
Simulateur manuel de pluies (d'après Roose, 1996)



- Après avoir défini l'"état de surface",
- On répartit l'irrigation sur toute la surface en déplaçant la rampe d'arrosage en \times
- On arrête dès que le ruissellement se manifeste.
- On chronomètre le temps mis pour infiltrer 5 à 10 litres d'où on tire une courbe
INFILTRATION = f (lame d'eau irriguée) = f temps
- On mesure le volume de ruissellement, et on peut le remplacer avec de l'eau claire.
- on peut mesurer la charge solide de l'eau. = test stabilité?

Inf. mm/h.

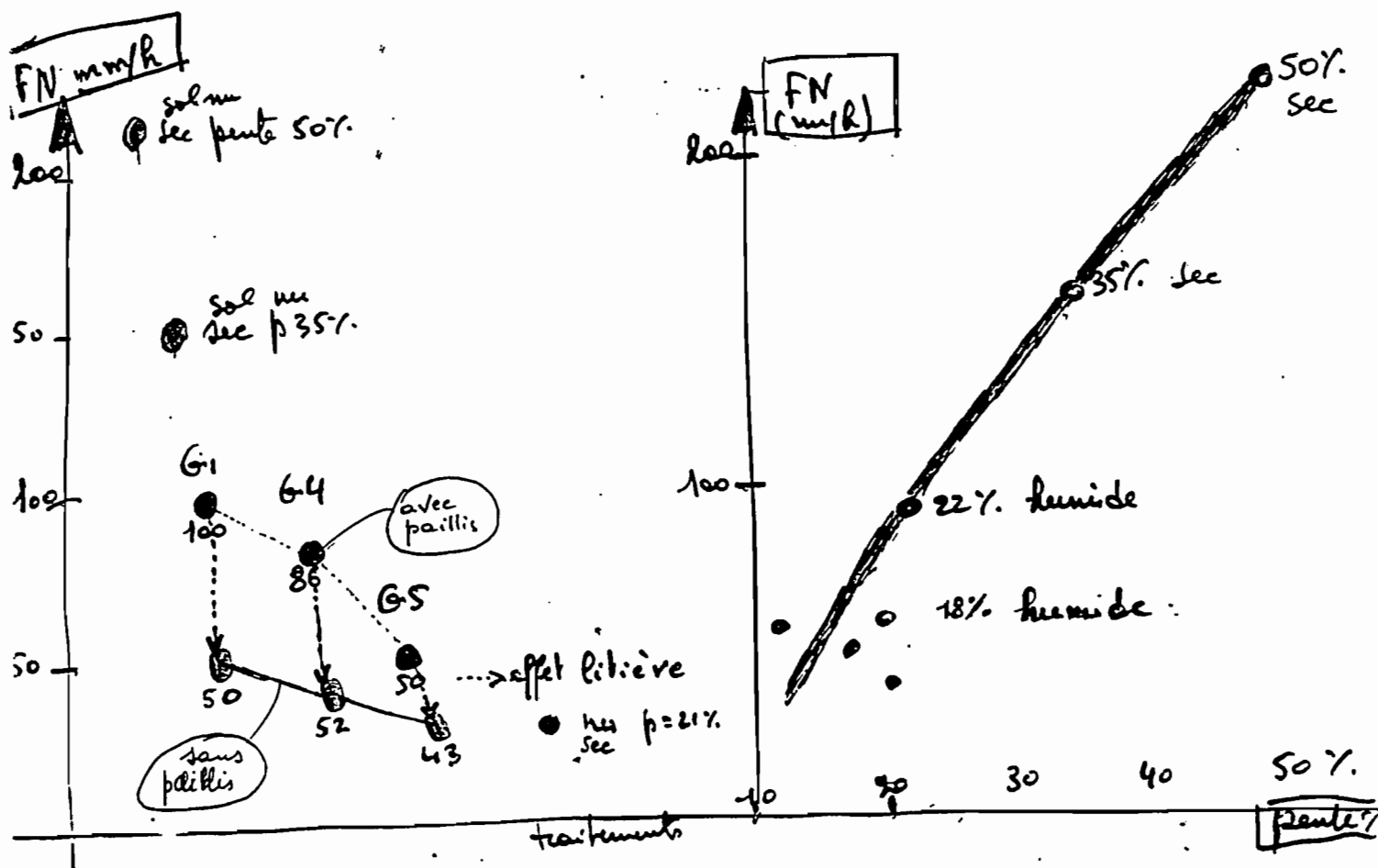
Figure 8.
Evolution de l'infiltration en fonction
du temps d'irrigation au simulateur manuel.
(Roose, 1996)



Conclusions

- Très forte infiltration durant les 30 premiers min. de pluie → Ruiss + E. Ripole
- Effet paillis régulier mais faible du paillis sur FN et sur l'imbibition.
- Seule la pluie très abondante entraîne le ruiss + E. Ripole

Figure 9.
Effet de la pente(%) et du paillis sur la capacité d'infiltration finale
au simulateur manuel. (Roose, 1996)

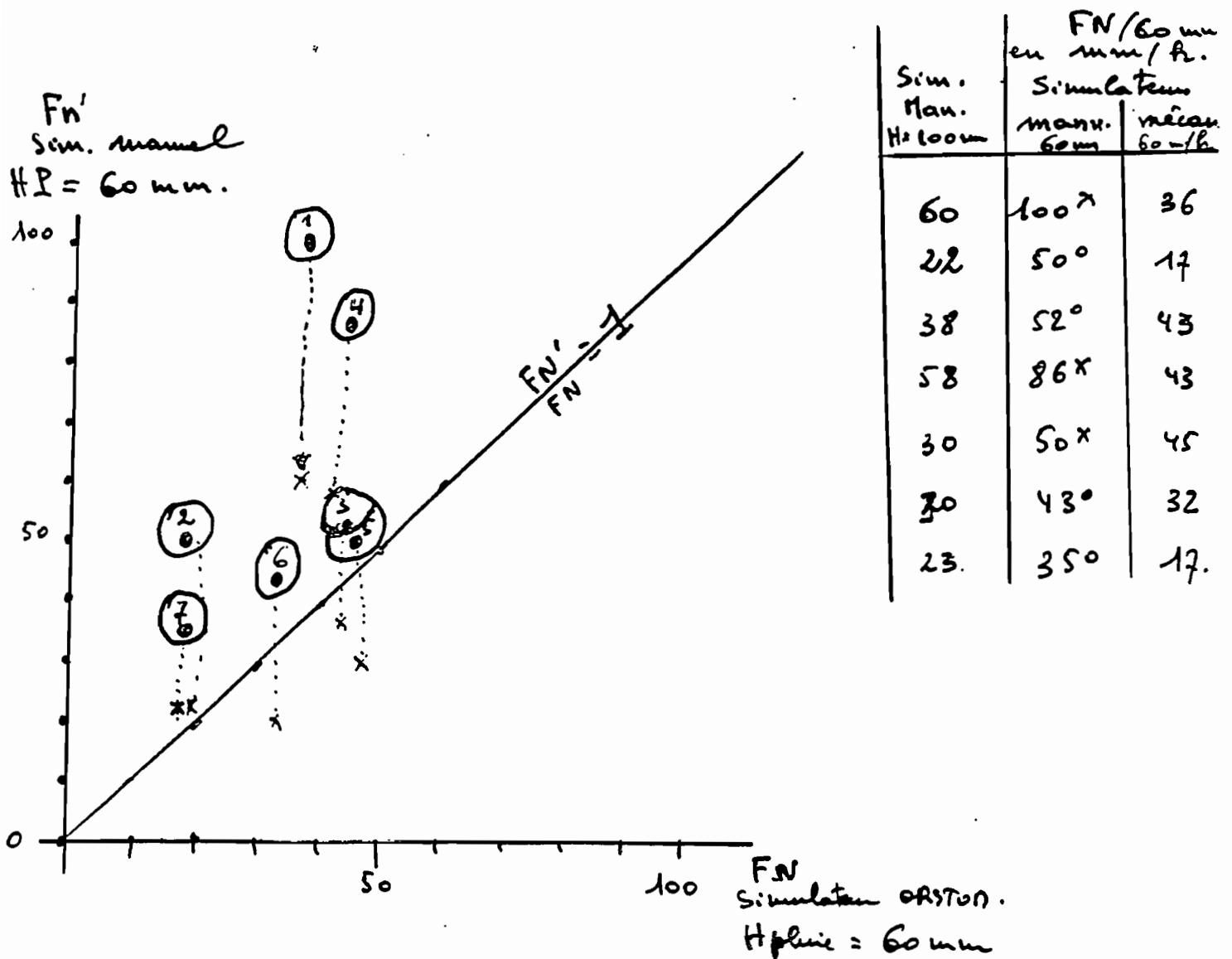


CONCLUSIONS

Si le % de pente augmente, l'infiltration finale augmente
l'érosion augmente
mais la pluie d'imbibition diminue

Effet protecteur du couvert végétal (canopée)
mais surtout du paillis et de la litière basse.

Figure 10.
 Comparaison des mesures de l'infiltration (FN) après 60 mm de pluie simulée
 au simulateur manuel (Roose) ou mécanique (Asseline)



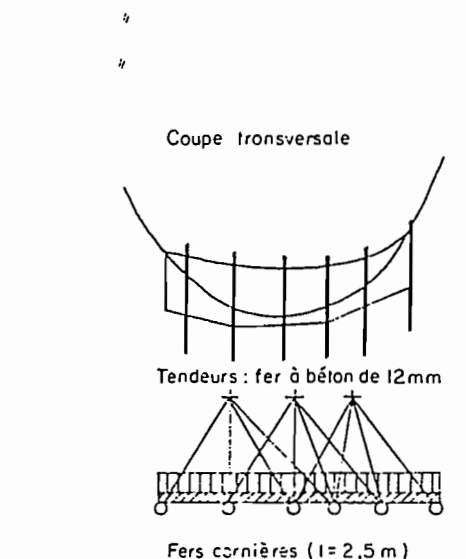
CONCLUSIONS

Le simulateur de Asseline produit des pluies plus énergétiques (chute de 4 m)
 des valeurs d'infiltration inférieures

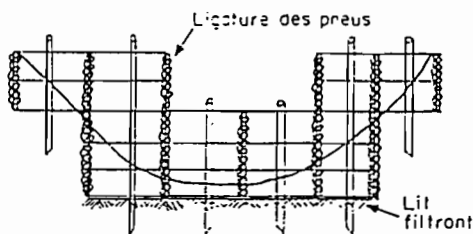
Pour obtenir des valeurs similaires au simulateur simplifié, il faudrait pousser
 l'irrigation jusqu'à 80 ou 100 mm.

FIGURE 11

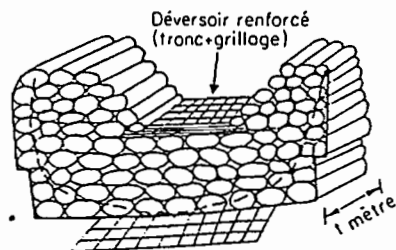
Différents types de seuils perméables peu coûteux souples, faciles à monter avec des matériaux produits localement



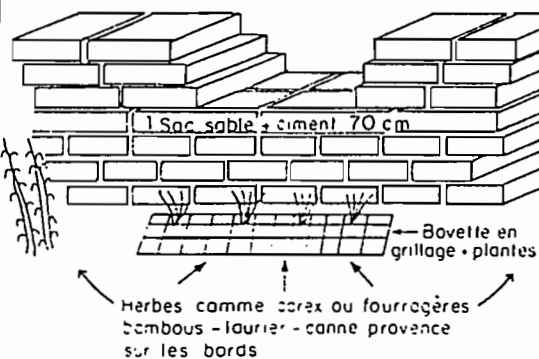
Seuil en grillage de fer galvanisé (maille 0,5 cm) tendu sur des fers cornières (45 mm) enfoncés dans le sol sur 50 cm.



Seuil en pneus de > 1 m de Ø de récupération fixé par des fers cornières enfoncés de 50 cm dans le sol. Les vieux pneus sont ligaturés en place et remplis de terre locale.



En sac plastique 100 de long, 60 large, épaisseur 1mm



Seuils en sacs plastiques épais remplis de terre locale, déversoir renforcé par quelques sacs de sable mélangé au ciment.

Prix pour seuil de 4 m²
(matériel + main d'œuvre + transport)
à 90 dinars par jour

1 dinar = 0,25 FF en juin 1992

2200 dinars

84 %

34 %

21 %

20 %

(± 15 %)

en France = 500 FF/m³ de gaz on

en gabon

en pierres sèches

en grillage de fer

en toile crise-vent plastique

en pneus récupérés

en sacs plastique

d'après Roose, 1994.
FAO Soils Bull., N°70.