

Comparaison de trois techniques de mesure de l'infiltration sur fortes pentes : monocylindre et 2 simulateurs de pluies. Application à un versant de la vallée de Godim au Cap Vert

par

Eric Roose* et Bernard Smolikowski**

***Dir. de recherche en pédologie au LCSC de l'ORSTOM à Montpellier**

****Ingénieur agronome, conseiller technique au PRODAP, CP.82 Praia, Cap Vert**

RESUME

*Pour réaliser un bon diagnostic des risques de ruissellement et d'érosion sur un versant cultivé, il est nécessaire d'observer le fonctionnement hydrique du terrain au cours de la saison des pluies, ou tout au moins, de tester la capacité d'infiltration des sols soumis à diverses utilisations les plus courantes. Parmi les méthodes classiques de mesure de l'infiltration, bien peu tiennent compte de l'évolution des états de surface du sol et plus rares encore sont celles qui sont adaptées à la mesure de l'infiltration sur de fortes pentes (>20 %).

*Dans cette note sont décrites deux méthodes simples et peu coûteuses adaptées à des pentes atteignant 60 %. Le test d'infiltration au cylindre unique (surface = 100 cm²) permet non seulement de classer les horizons d'une toposéquence en fonction de leur capacité d'infiltration, de leur porosité et de leur réserve en eau utile, mais aussi de visualiser le mode de circulation de l'eau d'un horizon aux suivants par comparaison des taches d'humidité créées par l'infiltration. Le test au simulateur de pluie mécanique ou manuel permet d'estimer sur 1m² les effets de certaines techniques culturales et des litières sur la capacité d'infiltration d'une averse de forte intensité et de hauteur de fréquence rare. Un exemple sera décrit sur un versant raide de la vallée de Godim sur sols volcaniques du Cap Vert. Il en ressort que la capacité d'infiltration est élevée sur les horizons cendreux superficiels ; elle augmente avec la pente, mais diminue brutalement à mi-pente, là où apparaît un horizon vertique argileux. Le paillage, même léger (1.5 t/ha), et la pente % améliorent nettement les paramètres de l'infiltration.
Mots clés : Cap Vert, infiltration, méthodes, monocylindre, simulateur de pluies mécanique ou manuel à rampe d'aspersion, effet paillage, effet pente %.

ABSTRACT

To predict runoff and erosion hazard on a hillslope, the best solution is to observe the runoff ways on the ground during natural rainstorms. In this paper, are described two very simple and costless methods compared to the "ORSTOM mini rainfall simulator". The monocylinder test allows to classify soil horizons in relation to their infiltration capacity, their porosity and their waterstorage capacity, but also to see how irrigation water drains from one horizon to the next. The manual irrigator applied to the same conditions than the "ORSTOM rainfall mini-rainfall simulator" on 1m² plot was able to estimate rainfall amount limit before runoff beginning and final infiltration capacity after 100 liters irrigation. Because raindrop energy is lower for manual irrigator, the infiltration capacity is higher than with the rainfall simulator, but good regressions allowed to estimate each from others. The data analysed help to understand the runoff origin on one very steep cultivated volcanic hillslope of the sahelian island of Santiago. The infiltration capacity increased significantly with slope gradient (Slope=15 to 60%) and with mulch (1.5 t/ha).

Key-words : Caboverde, infiltration capacity methods, monocylindre test, rainfall mini-simulator, manual irrigator, effects of mulching and slope%.

1.- Problématique

Le diagnostic des risques de ruissellement et d'érosion sur un versant exige une bonne compréhension du comportement hydrodynamique des sols et en particulier l'origine de la naissance du ruissellement, la capacité d'infiltration du sol en fonction de ses états de surface et des risques de saturation des horizons profonds en relation avec le mode de valorisation.

Dans le cadre de l'appui méthodologique au projet de développement rural PRODAP dans la vallée de Godim au Cap Vert, on a procédé en trois étapes : observation après la saison des pluies des traces de ruissellement directement aux champs, estimation de la capacité d'infiltration d'une nappe d'eau libre de faible épaisseur en surface et dans les horizons profonds, et enfin, mesure du ruissellement et de l'érosion sous pluies naturelles ou simulées en parcelles cultivées. (Smolikowski, et al., 1997)

Pour évaluer rapidement sur le terrain la réaction du sol à une averse, il n'existe aucune méthode parfaite qui tienne compte à la fois des états de surface, des risques de saturation de l'horizon superficiel à partir des horizons profonds et qui soit adaptée à des versants en forte pente. Sur des surfaces sub horizontales, la méthode de la tache d'humidité laissée par un goutteur de débit connu peut nous aider à évaluer la faible capacité d'infiltration d'une surface encroûtée (Boiffin, 1984) : elle ne convient pas pour les surfaces rugueuses ou pentues. La méthode conventionnelle des doubles anneaux (Müntz = la plus connue) donne des résultats intéressants pour étudier l'infiltration des eaux d'irrigation par submersion dans les sols alluviaux (Boivin et Touma, 1988) : elle exige beaucoup d'eau sur les sols perméables et ne convient guère pour estimer les risques de ruissellement sous la pluie, ni sur les pentes de plus de 5 %. (Lafforgue, 1977). La méthode Pioger à double anneau consomme déjà moins d'eau, mais n'est pas adaptée aux fortes pentes (Audry et al., 1973). La méthode Porchet qui évalue la perméabilité d'un massif poreux à partir de la descente de l'eau dans un trou de sondage, intéresse les hydrogéologues, mais ne renseigne guère sur l'influence des états de surface (Audry et al., 1973).

Dans cette note, nous décrivons deux tests d'infiltration simple, l'un pour quantifier les propriétés hydrodynamiques des horizons des sols, et l'autre pour tester l'influence des états de surface. Nous donnerons les résultats des mesures d'infiltration sur les 4 horizons du profil type des parcelles d'érosion de la vallée de Godim par la méthode du monocylindre (Roose, 1996). Ensuite nous comparerons les variations spatiales de la capacité d'infiltration des sols en fonction du paillage et de la pente, à l'aide d'un nouveau simulateur simplifié, l'irrigateur manuel à rampe (Roose, 1996) dont les résultats sont comparés à ceux du mini-simulateur de pluie de l'ORSTOM (Asseline, 1997).

2.- Le milieu

Le site expérimental est situé dans la partie amont du bassin versant de la Ribeira Seca de l'île de Santiago, dans la commune de Godim. Son altitude varie entre 300 et 800 m et présente un relief très accidenté : la majorité des terres cultivées sont situées sur des pentes de 30 à 60%.

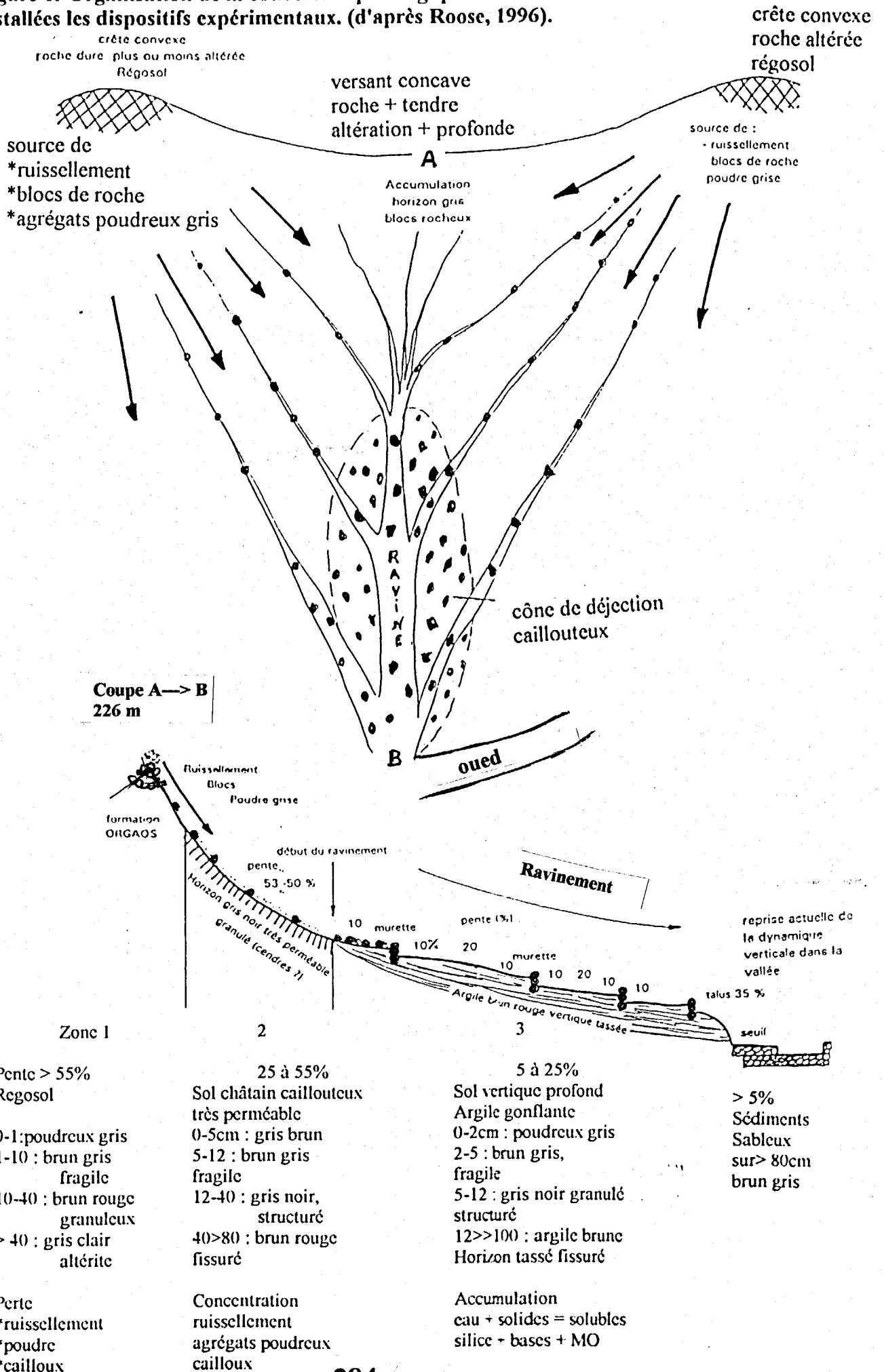
Les précipitations annuelles de ces 20 dernières années sont très variables (de 15 à 600 mm) autour d'une médiane de 300 mm, concentrées sur les mois d'août et septembre. Les pluies journalières peuvent dépasser 75 mm chaque année et 100 mm tous les 10 ans. Les intensités peuvent atteindre 150 mm/h. durant 15 minutes. (INIDA).

Deux grands types de sols sont largement représentés dans la vallée :

*des sols isohumiques châtaîns argilo-limoneux sur pentes de 10 à 25%, en bas de versant

* des régosols sablo-argileux, grumeleux en surface, reposant directement sur les altérites arénisées des formations hydrovolcaniques d'Orgaos, sur le haut du versant (Bertrand, 1994).

Figure 1.-Organisation de la couverture pédologique sur le versant de Godim où sont installées les dispositifs expérimentaux. (d'après Roose, 1996).



La toposéquence (figure 1) sur laquelle ont été installés les dispositifs expérimentaux comprend : (Roose, 1996)

- *1/ un régosol sableux, poudreux en surface sur la partie la plus raide du versant ($p > 55\%$),
- *2/ un sol châtain caillouteux sablo-argileux très perméable au milieu du versant ($p=25$ à 55%),
- *3/ un sol brun vertique argileux à croûte de battance et fentes de retrait, fertile ($p=5$ à 25%),
- *4/ un fond de vallée comblé de sédiments sableux protégés par une série de seuils.

Les parcelles d'érosion ont été installées sur les plus fortes pentes (en zone 1), tandis que les mesures aux simulateurs de pluies ont été réalisées sur des pentes de 15 à 50% (zones 2 et 3). mesures.

Tableau I. Caractéristiques analytiques des parcelles d'érosion.(Labo.CIRAD).

horizons	0 à 10 cm	10 à 50 cm
Argile %	13 à 17	14 à 23
Limons %	16 à 20	15 à 11
Sables totaux %	64 à 75	65 à 73
densité apparente	0.99 à 1.03	1.08 à 1.11
Matière organique %	1 à 1.4	0.6 à 1.1
Azote total %	0.07 à 0.09	0.04 à 0.08
P2O5 OLSEN ppm	14 à 15	9 0 14
CEC en méq/100 g	54 à 60	44 à 61
pH eau	7 à 7.3	7.2 à 7.3

Le système cultural est très simple. Après nettoyage complet de la surface de la parcelle, un poquet est ouvert tous les mètres pour y semer directement 6 variétés de haricots entourant 3 graines de maïs (variétés locales bien adaptées aux aléas climatiques). Le poquet est refermé rapidement et le sol n'est plus remué avant 1 ou 2 sarclages. Aucun apport d'engrais, ni de fumier, ni de pesticide : la faible production (0.4 à 1 t/ha de grains et 1 à 2.5 t/ha de paille) ne peut rentabiliser les intrants. La récolte de maïs et de haricot s'étale sur 3 mois et les résidus de culture sont arrachés et valorisés à la ferme ou vendus en ville. Le fumier est entassé au bord d'une ravine et parfois vendu pour les jardins irrigués au fond de la vallée. Il ne reste que quelques arbres épineux (Ziziphus, Acacia) ou des manguiers, témoins d'une époque plus humide (avant 1960). Jadis, quand le sol était épuisé, la terre était abandonnée à la jachère, mais avec la pression foncière, la jachère tend à disparaître.

3.- Description des méthodes de mesure

3.1.-Le test au monocylindre.(Roose et al;,1996)

Objectif : déterminer les valeurs d'infiltration d'un horizon au suivant et les principales caractéristiques hydrodynamiques d'un massif poreux.

Matériel : (voir figure 2.)

- *cinq cylindres de 10 cm de diamètre et 8 à 10 cm de hauteur, à bords biseautés vers le bas (une boîte de conserve d'un litre évidée peut convenir) ;
- *des papiers filtres rapides pour protéger l'état de la surface du sol lors du remplissage ;
- *un chronomètre ordinaire à la seconde près, un mètre pliant et une cuillère à soupe pour prélever les échantillons de sol à saturation ;

- *un litre d'eau propre par test, une pissette de 500 cm³ et un petit flotteur (paille) ;
- *une bêche et un couteau pour découper le profil humecté ;
- *un carnet quadrillé pour noter la forme des taches d'humectation et les observations de terrain.

Méthode :

- *Choisir une zone représentative d'un état de surface d'un sol en période sèche.
- *Enfoncer délicatement et verticalement le cylindre en perturbant le moins possible la surface du sol. Un léger coup de pissette mouillant l'intérieur du cylindre peut aider à faire pénétrer le cylindre de 2 cm dans le sol.
- *Assurer l'étanchéité en tassant le sol autour du cylindre et en y posant un cordon d'argile.
- *Poser un papier filtre couvrant le sol au fond du cylindre pour éviter de créer une suspension en versant l'eau, laquelle suspension pourrait former une croûte artificielle au cours de l'infiltration.
- *Poser une réglette de lecture du niveau de l'eau dans le cylindre (au mm. près).
- *Verser rapidement l'eau claire jusqu'à atteindre 50 mm à la réglette. Lire le temps T₀.
- *Noter le temps de passage du niveau de l'eau à chaque cm de la réglette.
- *Après infiltration complète de 50 mm, remettre 50 mm d'eau et continuer le chronométrage.
- *Quand l'eau disparaît de la surface du sol (fin de la brillance de la surface), enlever rapidement le filtre et le cylindre, et prélever à la cuillère un échantillon de "sol détrempe".
(Hp max. x dapp = porosité efficace pour la circulation de l'eau).
- *Ou bien enfoncer le cylindre dans le "sol détrempe" peser la terre à Hp max puis après 24 à 48 heures après drainage libre sur bac à sable (Hp 48 heures x dapp = Capacité au champs ou micro porosité). Le sécher à 105 °C pour déterminer la densité apparente sur le même massif. Le broyer et faire bouillir pendant 4 heures 100 g de ce sol, refroidir puis verser dans un ballon jaugé pour en déduire la densité réelle (dr). En déduire la porosité totale :
(Porosité totale = 100 (dr-dapp)/dr)
- *Sur le terrain, dégager une fosse coupant la tache humide au centre du cylindre initial jusqu'à atteindre la limite de la tache d'humectation.
- *Dessiner la forme de la tache dans la section perpendiculaire à la pente, et mesurer la profondeur humectée et le diamètre tous les 5 cm dont on déduit le diamètre moyen de la tache. La sensibilité du test est telle qu'il faut prévoir 5 répétitions et écarter les valeurs obtenues sur les cylindres où des mégapores sont visibles au niveau de la tache d'humectation. La répétition des mesures sur une tranchée en escalier permet de visualiser le fonctionnement hydrique de chaque horizon du profil.

Interprétation (voir figures 2 et 3)

- *Le chronométrage de l'infiltration produit deux courbes (H = f (temps) dont la forme renseigne sur la stabilité structurale du massif poreux étudié. (fig. 3) Leur pente en fin d'infiltration sur sol humide, sans pression est une bonne estimation de K, l'infiltration en milieu saturé.
- *La forme des taches humides (fig. 2) renseigne sur les différences d'infiltration des horizons successifs, sur la succion latérale et donc sur la micro porosité et la texture du massif, sur les risques de drainage oblique et la résistance de chaque horizon à l'infiltration.
- *Le diamètre moyen de la tache permet de corriger l'estimation de l'infiltration en fonction de la succion latérale :
le coefficient de correction (CC) = f(volume des taches) = $\pi \cdot H \cdot R^2 / \pi \cdot H \cdot r^2 = R^2/25$.
CC varie de 2 à 4 sur sols à comportement sableux ou argileux stables
CC varie de 4 à 10 sur sols argilo-limoneux instables
(Fn corrigé = Fn mesuré x R²/25)
- *Les autres caractéristiques hydriques peuvent être évaluées sur le même volume de sol.

*La vitesse d'infiltration finale mesurée sur les dix derniers millimètres est toujours supérieure pour les tests sur sol sec et sur sols stables : elle tend vers 10 à 1 mm/heure pour les sols instables humides (fig 3).

Figure 2. Dispositif du monocylindre et forme des taches d'humectation en fonction des caractéristiques hydrodynamiques des sols : a) sols sableux très perméables, b) sol sablo-argileux perméable à porosité plus fine, c) horizon peu perméable, tassé ou battu par la pluie, d) horizon perméable surmontant un horizon moins poreux avec tendance au drainage oblique. (d'après Roose et al., 1993)

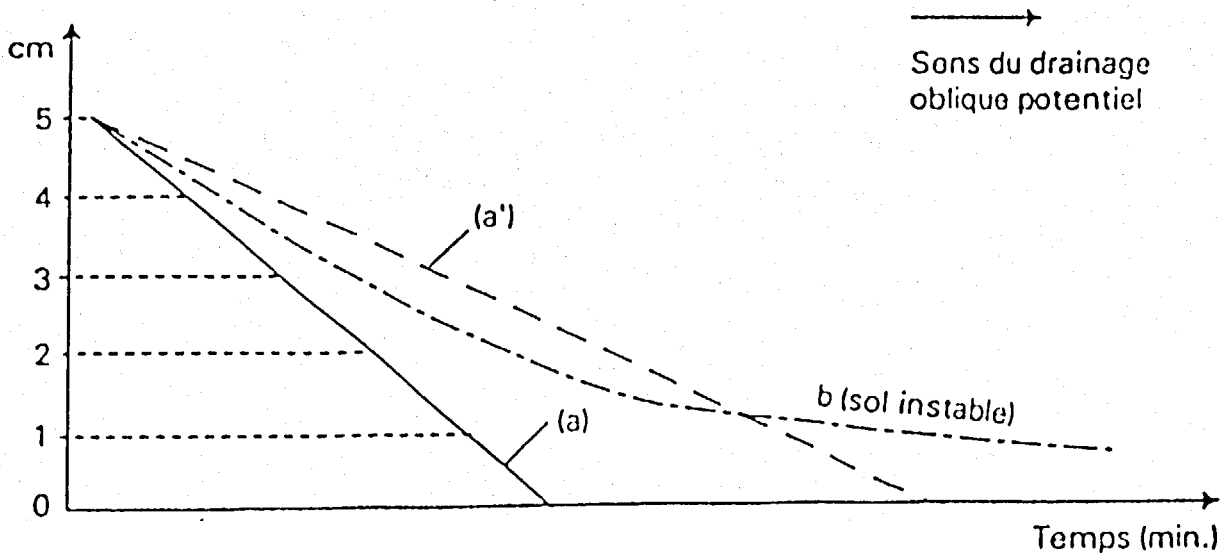
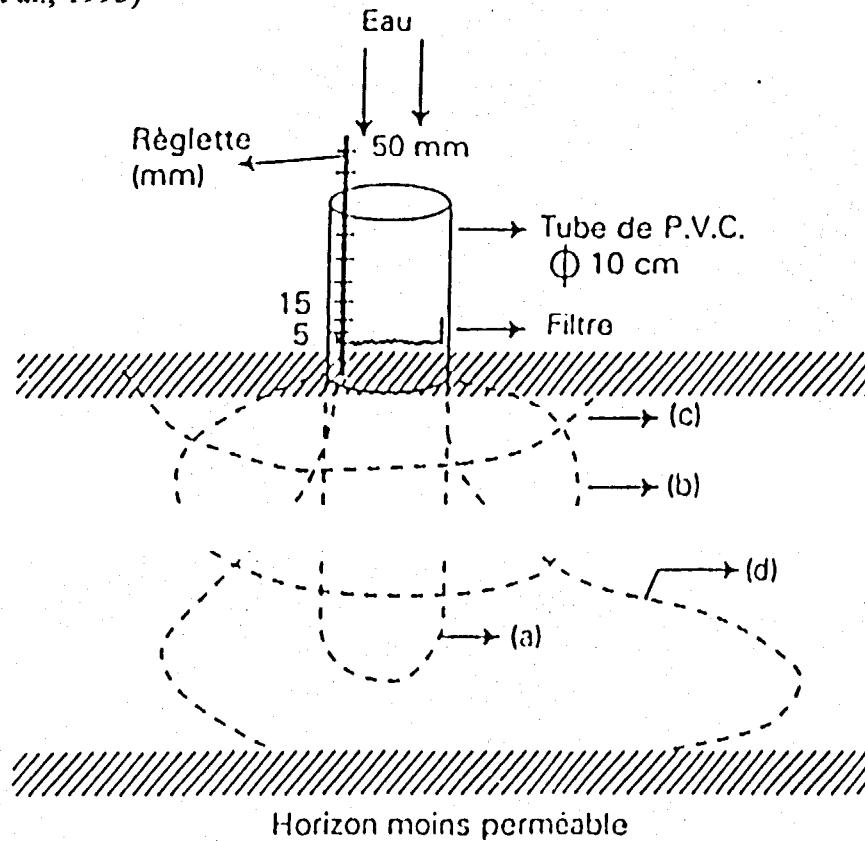


Figure 3.- Dynamique de l'infiltration, a) sur un horizon sableux sec, a') sur le même horizon après humectation, b) sur un horizon peu stable à l'eau. (Roose et al., 1993)

Avantages et limites

*Test rapide qui exige peu d'eau, permet une bonne compréhension du comportement de l'eau dans le profil et le long d'une toposéquence ; le matériel est très mobile, à portée de toutes les bourses. Cette méthode permet de définir les propriétés hydrodynamiques les plus utiles.

*La mesure est limitée à 100cm² : elle est donc très sensible aux cailloux, fissures et n'est pas adaptée aux sols gonflants, fissurés, ni aux labours grossiers. Ce test donne souvent des valeurs relatives 10 fois supérieures aux mesures d'infiltration sous pluies simulées.

3.2.-Le mini-simulateur de pluies de l'ORSTOM et l' "irrigateur manuel à rampe"

Matériel

3.2.1.-Le mini-simulateur de pluies de l'ORSTOM est décrit en détail par Asseline dans ce bulletin (1997). Il comprend un gicleur fixé sur un système qui se balance au sommet d'un derrick de 4 m. de haut : l'énergie des gouttes de pluies simulées est voisine de celle d'une averse de 60 mm/h. La variation de l'angle de balancement permet de simuler des séquences de pluies d'intensités différentes programmables. Le ruissellement, et sa charge solide sont mesurés au bas d'une parcelle de 1 m². Ce dispositif sophistiqué permet de suivre avec précision la dynamique de l'infiltration (ou plutôt du ruissellement), et de tester la détachabilité de la surface d'un sol, mais pas l'érosion, car la faible longueur de pente ne permet pas à l'énergie du ruissellement de s'exprimer. Cette méthode a donné lieu à de nombreuses applications par les pédologues et les hydrologues dans les pays tropicaux et tempérés. Elle exige malgré tout beaucoup d'eau (600 à 100 l/heure), de personnel (2 à 4 techniciens entraînés), de matériel (coût : 30 à 120 000 FF) et ne s'applique facilement que sur des pentes de 2 à 30 % et sur des sols dont l'infiltration est réglée par l'état de surface et non par l'engorgement des horizons profonds.

3.2.2.-L'irrigateur manuel à rampe (figure 4) est une version simplifiée à l'extrême de simulateur de pluies qui permet de projeter sur une surface de 1m² des gouttes relativement peu pourvues d'énergie. Les mesures de l'infiltration seront donc voisines de celles du minisimulateur sur des terrains stables et nettement plus élevées sur des terres instables ou récemment travaillées, puisque les états de surfaces évoluent beaucoup plus lentement lorsque les gouttes frappent le sol avec une faible énergie. Il comporte un arrosoir conventionnel de dix litres sur lequel on fixe une rampe épandeuse d'herbicide (50 cm de large) comportant une ligne de trous de 0.5 mm de diamètre distants de 1cm : l'intensité de la pluie dépasse 150 mm/heure, intensité quasi maximale des pluies en régions tropicales. Le cadre de mesure est semblable à celui qui est utilisé pour le simulateur ORSTOM, ou peut être adapté au mouvement des bras porteurs ou à la répartition de l'hétérogénéité de la surface du sol (0.5 x 2m).

Procédure

*Enfoncer de 5 cm le cadre sur une surface représentative de 1m².

*Décrire les états de surface du sol, par la méthode des points quadrats (Roose, 1996)

*Arroser soigneusement toute la surface du sol en effectuant des déplacements "en 8" pour mieux étaler les gouttes : l'erreur de répartition des gouttes mesurée sur le terrain ne dépasse pas 10 %.

*Arrêter temporairement l'irrigation dès que se forme le ruissellement, puis la reprendre jusqu'à l'épuisement d'un arrosoir.

*Mesurer le ruissellement et le stocker dans une cuve annexe : rajouter le même volume d'eau claire dans l'arrosoir et chronométrer le temps nécessaire pour infiltrer chaque arrosoir (soit 10 litres/1m² = 10 mm).

*Continuer l'arrosage intermittent jusqu'à atteindre la hauteur de pluie désirée (de fréquence 1/10) et si possible jusqu'à humecter 50 cm (par exemple 6 à 10 arrosoirs).

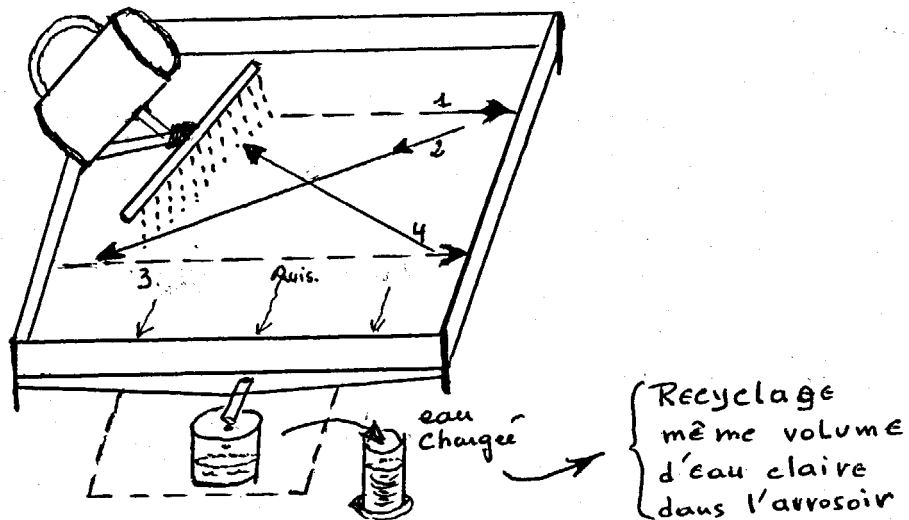
*Pour observer la saturation éventuelle d'un horizon, creuser une petite fosse au bas de la parcelle irriguée jusqu'à atteindre l'horizon peu perméable tassé(semelle de labour par ex.). En

Aveyron, sur des sols superficiels sur schiste, on a pu observer la naissance du ruissellement hypodermique après des averses de 30 à 50mm (Asseline et al., 1995).

*On peut aussi déterminer la charge solide en suspension dans les eaux de ruissellement : elle pourrait peut être servir de test de stabilité ou d'érodabilité d'une terre (en fonction de sa pente, de la détachabilité du sol, de l'état de surface du sol et du couvert végétal).

*En prélevant rapidement le profil hydrique après l'irrigation, puis 24 à 48 heures plus tard, on peut évaluer la porosité efficace pour l'eau, la microporosité et la capacité de stockage en eau utile. Cette procédure nous a permis d'évaluer la pluie d'imbibition et la capacité d'infiltration finale (après une averse de 100 mm) ou stabilisée (limite de la courbe).

Figure 4. Cheminement de l'irrigateur manuel à rampe.



Avantages et limites de la méthode

*Cet irrigateur est beaucoup plus facile à manoeuvrer surtout sur les pentes >30%.

*Il ne nécessite que 1 à 2 manoeuvres au lieu de 3 à 4 opérateurs qualifiés.

*Il n'utilise que 60 à 100 litres d'eau par test.

*Les mesures sont sensibles au type de sol, à leur humidité, à leur état de surface, au couvert végétal bas, au taux de cailloux et aux techniques culturales. La méthode est bien adaptée à la comparaison rapide de divers traitements de la surface du sol.

*Par contre cet irrigateur donne des résultats quelque peu variables en fonction de la fatigue de l'opérateur, du mode d'arrosage discontinu, de l'imprécision pesant sur l'énergie des gouttes (en fonction de la dynamique des bras et de la hauteur de chute variable) : un guide pour faire coulisser la rampe devrait réduire la variabilité de la méthode.

Enfin, un couvert végétal de plus de 30 cm de hauteur gêne la manoeuvre.

4.- Quelques résultats

4.1.Observations directes sur le versant.(figure 1)

*Au sommet où la pente dépasse 50%, on n'observe aucune trace de ruissellement linéaire : ni ravine, ni rigole sur les plus fortes pentes !

*Les rigoles apparaissent à partir du tiers du versant, lorsque le ruissellement en nappe des régosols se concentre dans la zone concave du versant. Elles se forment préférentiellement sur les cheminements des bloc de roches qui dévalent la pente.

*Des ravineaux se forment à mi pente, dans la zone concave du versant, là où apparaît la couche d'argile verticale peu perméable.

*Enfin ces ravineaux se jettent dans un petit oued qui occupe le fond de la vallée et rejoint quelques km plus bas la Ribeira Seca.

*L'observation des états de surface révèle que le sol reste presque nu durant toute la saison des orages mais que les surfaces fermées par encroûtement sont d'autant plus faibles que les pentes sont fortes : le ruissellement et l'érosion augmentent vers le bas de la toposéquence c'est-à-dire là où la pente diminue.

Il n'est donc pas étonnant que les méthodes classiques de terrassement, d'autant plus fréquentes que la pente est forte, n'aient pas donné satisfaction (Bertrand, 1994).

4.2.- Mesures sur les parcelles d'érosion

On peut voir dans l'article de Smolikowski et al.,(1997) que durant les campagnes 1994 à 1996, on n'a pas observé de ruissellement pour les pluies inférieures à 30 mm/jour. Pour des pluies dépassant 80 mm, les coefficients de ruissellement restent faibles (1 à 15% max.) sur un versant cultivé en maïs et haricots de > de 50% de pente.

En général dans cette vallée on trouve peu d'eau libre sur les versants (tout s'infiltré et se stocke dans le sol). Cependant la concentration rapide du faible ruissellement à travers les ravines entraîne de gros dégâts dans les vallées.

4.3.Mesures au monocyindre.

Les mesures de la capacité d'infiltration en humide des horizons du profil type situé en bas des parcelles d'érosion (sol châtain de la zone 2) varie de 10 à 1500 mm/h.

Tableau II. Mesures médianes d'infiltration au monocyindre sur le profil type châtain.

Horizon	Infiltration corrigée mm/h	HV saturé %	HV à Cap.Champs %	HV pF 4.2 %
0-3 : poudreux dégradé	100-200	54%	36%	9%
3-20 : granulé, noir très stable	1400	56%	34%	10%
20-60 : brun rouge argileux, fissuré	1200	54%	35%	10%
80 : altérite	30	50%	32%	12%

En conclusion, l'infiltration est très élevée dans les horizons situés au-dessus de l'altérite; car la macroporosité y est importante (20%) ainsi que la capacité de stockage en eau (>50%). Par contre l'infiltration est limitée en surface par la "poudre séchée" qui glisse à la surface du versant (d'où l'intérêt du paillage) et en profondeur par le niveau d'altérite argileuse et surtout par le niveau d'argile gonflante qui paraît affleurante en zone 3. Dans le détail, la présence de pierres dans le profil a entraîné le ralentissement de l'infiltration. Ces mesures confirment les observations de terrain selon lesquelles les risques de ruissellement et de ravinement augmentent en bas de versant là où la pente est plutôt modeste.

4.4.- Comparaison des mesures d'infiltration aux 2 simulateurs de pluies.

4.4.1. Evolution de l'infiltration en fonction de l'abondance de l'irrigation (figure 5).

Si on compare l'évolution de la vitesse d'infiltration au cours de l'irrigation, on constate que la forme des 2 courbes est exponentielle négative tendant vers une limite (environ 20mm/h), atteinte d'autant plus tard que le sol est protégé par un paillage.

On observe aussi que la capacité d'infiltration est très élevée (>75mm/h) avant que la pluie atteigne 30 mm : il est donc peu probable que ces pluies modérées entraînent un ruissellement significatif. Seules les averses très abondantes entraînent des risques de ruissellement à condition que l'intensité dépasse 25 mm/h ou que le sommet du profil soit saturé. Cette dernière condition est plus fréquente sur les sols argileux tassés de bas de pente et sur les régosols superficiels et caillouteux que sur les sols châtaîns très perméables sur plus de 60cm.

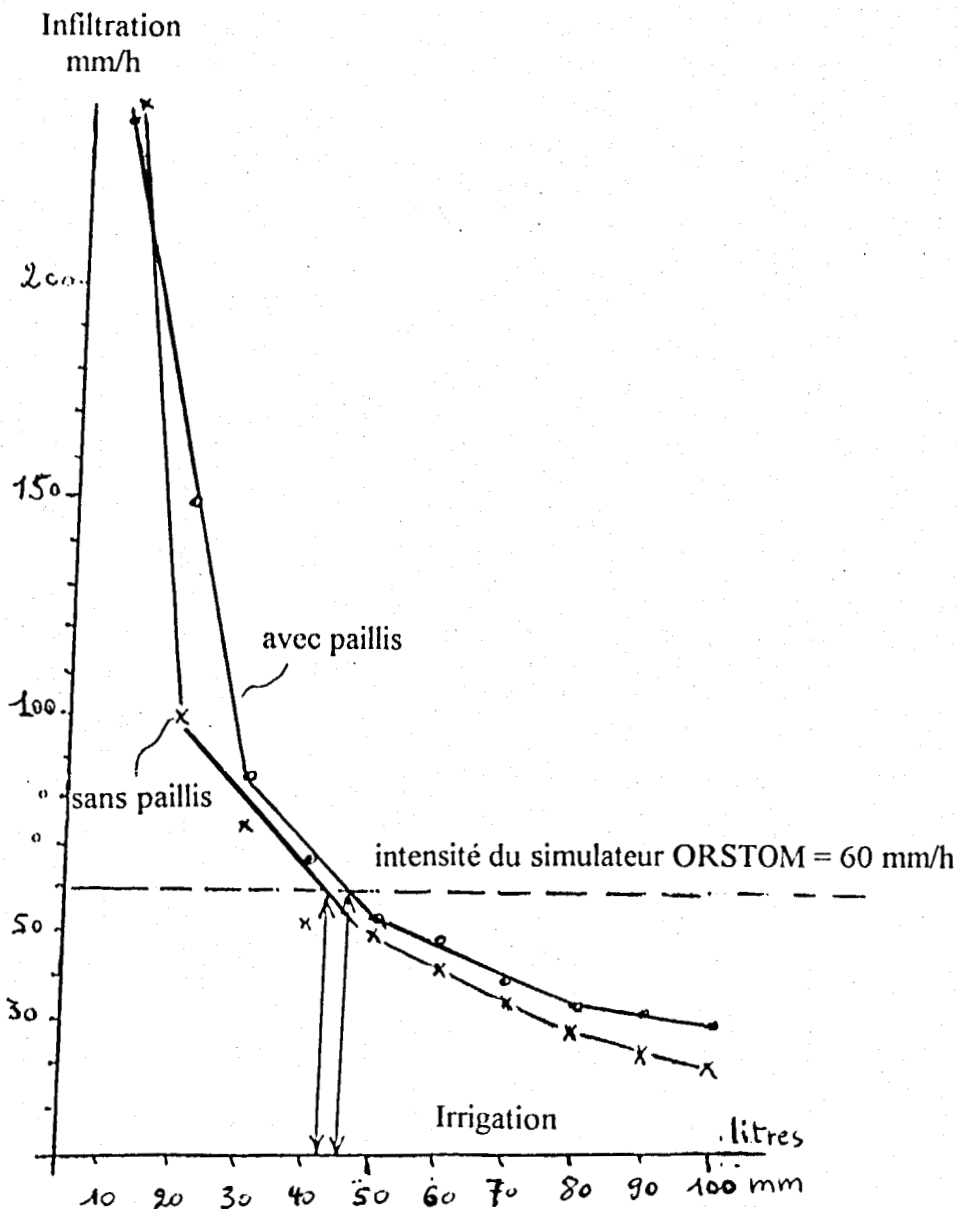


Figure 5. - Evolution de l'infiltration en fonction du volume de l'irrigation au simulateur manuel à rampe. Effet d'un paillage correspondant à 1.5 t/ha de résidus secs de maïs.

4.4.2.- Comparaison des valeurs d'infiltration obtenues sous les deux simulateurs.

Les valeurs de la pluie d'imbibition (Pi) et de l'infiltration finale (Fn) observées sur 14 couples de placettes de même caractéristiques d'état de surface permettent de comparer l'influence du type de simulateur, étant entendu que le simulateur ORSTOM a produit une averse de 60 mm avec une intensité de 60 mm/h, tandis que l'irrigateur manuel à rampe a déversé une averse de 90 mm avec une intensité de 150 mm/h.

Tableau III. Comparaison des valeurs de pluie d'imbibition (Pi en mm) et de l'infiltration finale (Fn en mm/h) enregistrées sous le simulateur ORSTOM et l'irrigateur manuel à rampe.

	Pluie d'imbibition(mm)		Infiltration finale(mm/h)	
	Manuel	ORSTOM	Manuel	ORSTOM
Bas de versant paillé				
A1	30	24	68	18
A3	26	38	59	24
A5	33	27	63	24
Bas de versant non paillé				
A2	19	12	43	9
A4	21	25	48	15
A6	16	15	51	15
A13	20	25	38	11
A14	17	21	46	19
Milieu de versant paillé				
A7	44	60	103	54
A9	58	60	103	36
A11	46	60	108	43
Milieu de versant non paillé				
A8	22	39	91	23
A10	32	37	84	24
A12	29	37	81	24

De ces couples de données, il ressort que l'irrigateur manuel à rampe permet d'estimer de façon satisfaisante l'évaluation de la pluie d'imbibition (ou pluie limite) au delà de laquelle débute le ruissellement.

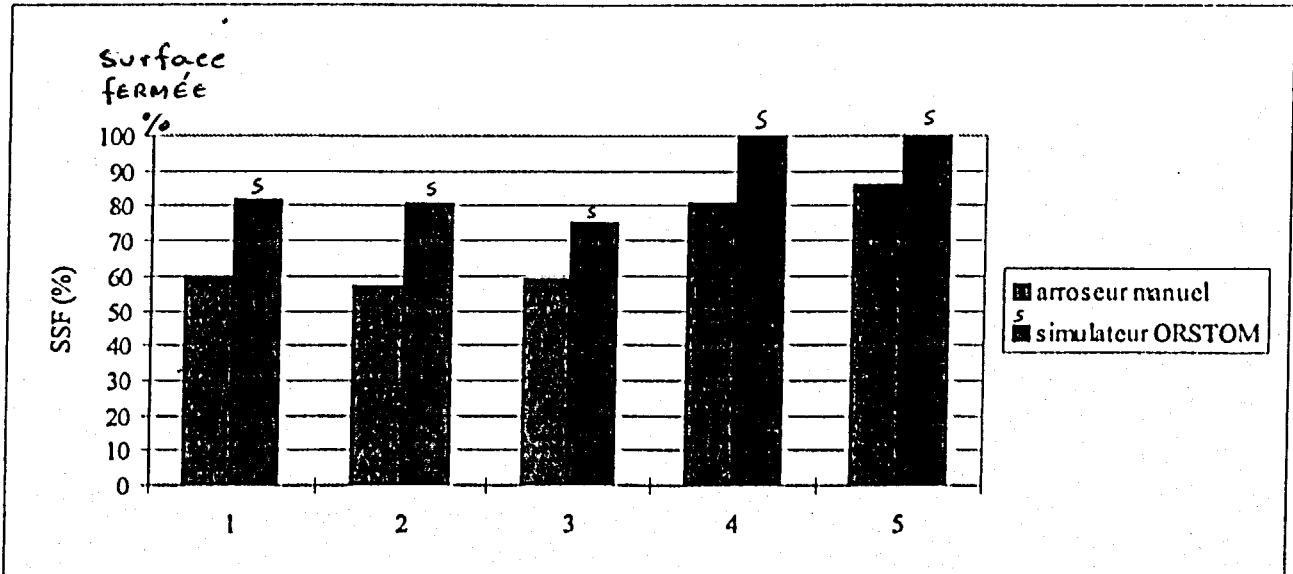
Par contre les valeurs d'infiltration finale sont 2 à 4 fois plus fortes si la pluie a été simulée à l'aide de l'irrigateur manuel qu'avec le simulateur ORSTOM.

Ceci peut s'expliquer par la faible énergie des gouttes produites par l'irrigateur manuel. Partant de sols fraîchement travaillés, les mottes fondent plus vite sous la pluie déversée depuis 4 mètres de hauteur par le simulateur ORSTOM que sous les gouttes tombant de la rampe d'arrosage (50cm) avec une faible pression.

Par conséquent, il se forme plus rapidement une croûte de battance qui ferme la surface du sol et réduit l'infiltration.

La figure 6 illustre bien cette dégradation plus rapide des états de surface des placettes soumises à une pluie sous simulateur ORSTOM (H=60 mm et Ip=60mm/h) que sous irrigateur manuel (H=90 mm et Ip=150mm/h).

Figure 6.- Surface du sol fermée par la battance après une pluie sur sol argileux de bas de versant.(Smolikowski et al., 1997)



Si les résultats bruts des mesures d'infiltration paraissent très différentes, on peut cependant faire apparaître de bonnes corrélations entre les résultats obtenus sous Simulateur ORSTOM et ceux qui ont été observés sous l'irrigateur à rampe (fig.7)

$$Pi (\text{simulateur}) = 1.15 \times Pi (\text{irrigateur}) + 0.49 \quad \text{avec } R=0.88$$

$$Fn (\text{simulateur}) = 0.44 \times Fn (\text{irrigateur}) + 6.85 \quad \text{avec } R = 0.86$$

Figures 7.- Corrélations entre les valeurs de PI et Fn obtenues sous simulateur Orstom et irrigateur manuel. (Smolikowski et al., 1997).

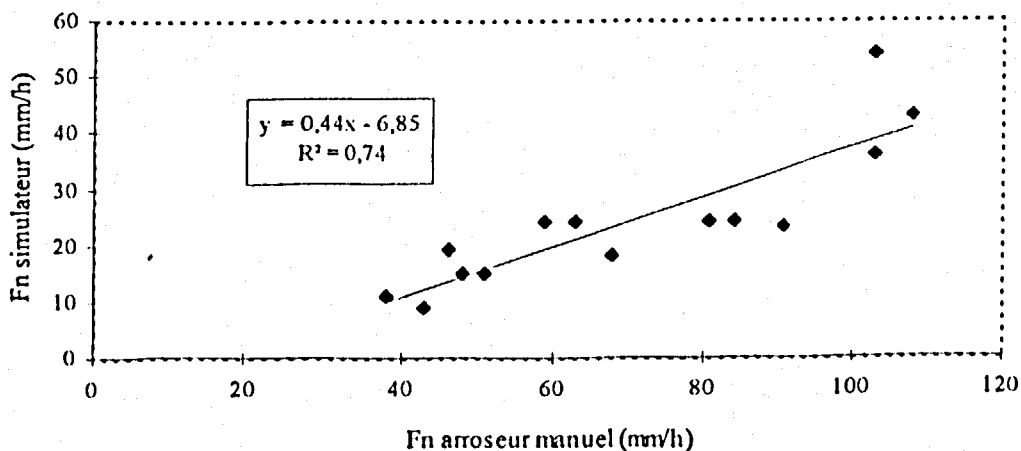
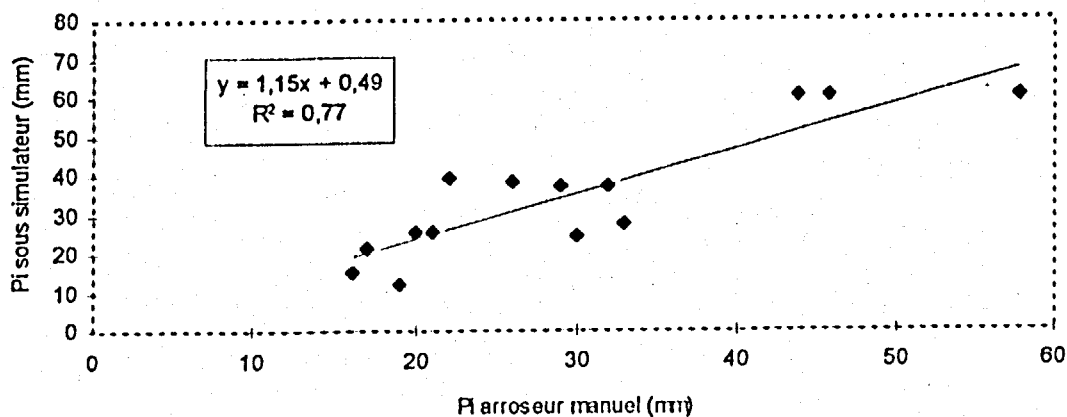
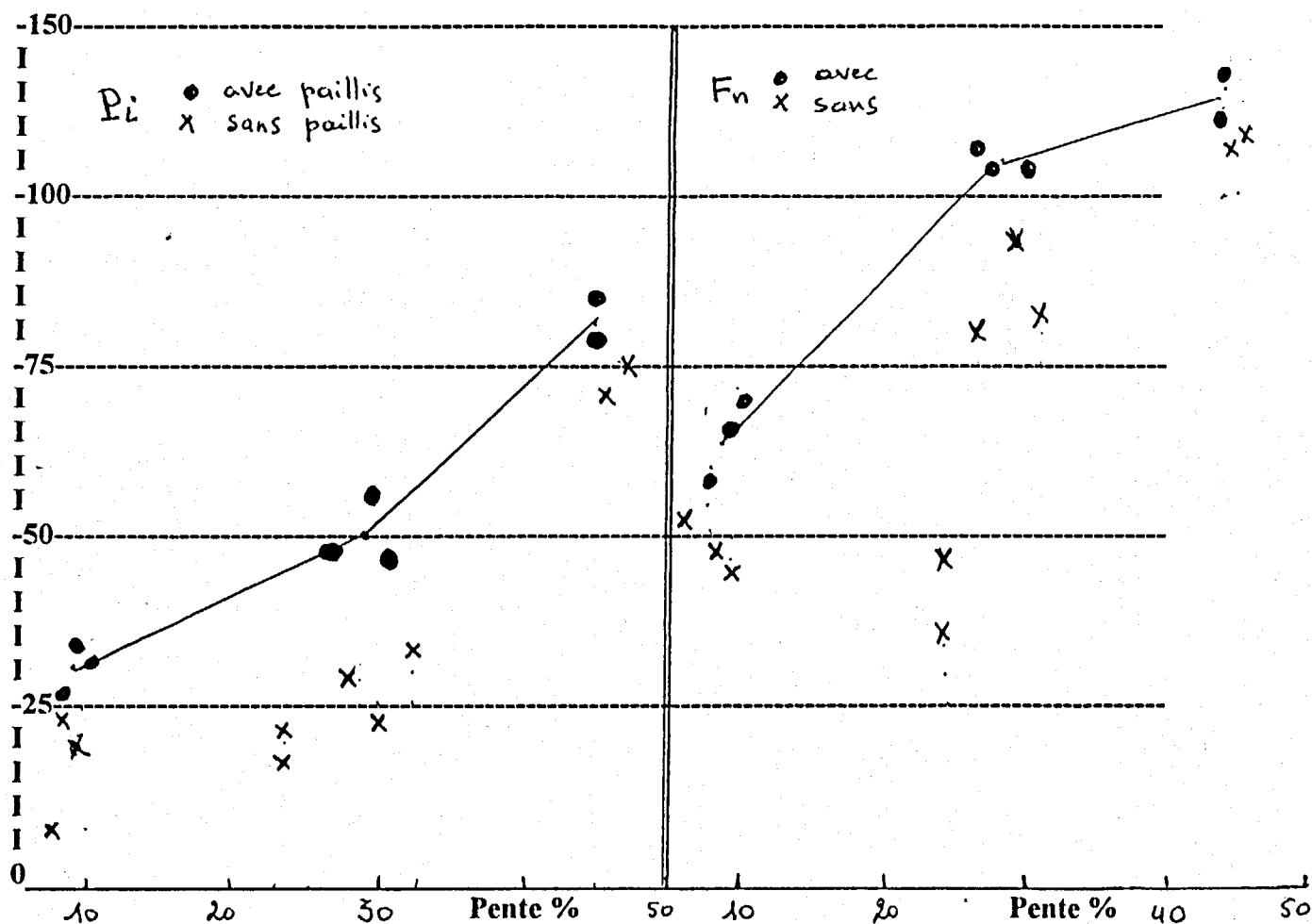


Figure 8 Influence de la pente et du paillage sur la pluie d'imbibition (P_i en mm) et l'infiltration finale (F_n en mm/h) mesurées à l'irrigateur manuel.



On peut observer à la figure 8 que l'inclinaison de la pente (et la position topographique) améliore les paramètres de l'infiltration, aussi bien la pluie d'imbibition (P_i) que la capacité d'infiltration finale (F_n).

On peut noter encore que le paillage, même léger, (1.5 t/ha) améliore aussi les conditions d'infiltration.

Ces observations sont valables non seulement pour le simulateur mécanique de type ORSTOM, mais aussi pour l'irrigateur manuel à rampe : il semble donc qu'il est possible d'utiliser ce modèle simplifié pour confirmer l'influence des facteurs du ruissellement à l'échelle du m^2 , en particulier pour tous les traitements qui modifient l'état de la surface du sol.

5.- Conclusions

Afin d'établir un diagnostic précis de l'origine du ruissellement et du ravinement si caractéristique de la vallée de Godim en terrain montagneux et semi-aride, toute une série de dispositifs de 100 cm², 1 m² à 100 m² ont été mis en place durant trois campagnes. Les principaux résultats sont présentés dans ce bulletin par Smolikowski et al., 1997).

Dans cette note, sont discutés les résultats des mesures d'infiltration à l'aide de deux dispositifs particulièrement peu onéreux et adaptés aux terrains en forte pente.

Le monocylindre donne des valeurs d'infiltration souvent trop élevées (car on part d'un sol sec), mais des valeurs relatives et des images d'humectation permettant de mieux comprendre la dynamique de l'infiltration dans les différents horizons de la couverture pédologique.

L'irrigateur manuel à rampe (comparé au mini-simulateur mécanique ORSTOM) a permis d'estimer de façon satisfaisante la pluie d'imbibition, mais donne des valeurs 2 à 4 fois trop élevées de l'infiltration finale d'un sol fraîchement travaillé après une averse de 60 mm.

On a montré que cela peut s'expliquer par la différence d'énergie développée par les deux simulateurs : les gouttes tombant de 4m. au lieu de 0.5 m entraînent une accélération de la dégradation des mottes et de la formation des croûtes de battance. En augmentant le volume des pluies- ou en prolongeant la courbe $F_n = f(H_{\text{pluie}})$, on devrait retrouver les mêmes valeurs limites de l'infiltration.

Par ailleurs, on a obtenu de bonnes corrélations entre les valeurs (P_i et F_n) observées sous les deux types de simulateur et on a pu démontrer l'amélioration de l'infiltration à mesure que la pente augmente le long du versant ou par l'apport d'un léger paillage.

L'irrigateur manuel à rampe étant donc capable de restituer l'influence des paramètres des états de surface du sol, nous pensons pouvoir utiliser ce dispositif très simple pour déterminer, à l'échelle du m², les facteurs hydrologiques de l'ensemble des parcelles suivies dans la vallée de Godim et préciser dans l'espace le bilan hydrologique.

Bibliographie

ASSELIN J., VALENTIN C., 1978.- Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM Pédol., 15, 4 : 321-349.

ASSELIN J., DE NONI G., NOUVELOT J.F., ROOSE E., 1995.- Caractérisation de l'érodabilité d'une terre de moyenne montagne méditerranéenne (Sud Aveyron, France). Bull. Réseau Erosion 5 : 471-488.

ASSELIN J. 1997.- Adaptation du mini-simulateur ORSTOM aux conditions des zones arides à fortes pentes. Bull. Réseau Erosion 17 :

AUDRY P., COMBEAU A., HUMBEL F.X., ROOSE E., VIZIER J.F., 1973. Bulletin du groupe de travail sur la dynamique actuelle des sols. ORSTOM Paris, 133 p.

BERTRAND R., 1994. Originalité des relations géomorphologie, sols, économie de l'eau dans l'île de Santiago (Cap Vert). Bull. Réseau Erosion, 14 : 175-181.

BERTRAND R., 1994.- Etude des sols dans les paysages du haut bassin versant de Ribeira Seca. Rapport PRODAP/FIDA, CIRAD/CA, Praia, Cap Vert, 53 p.

BOIFFIN J., 1984.- La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse doct. ing., INAPG Paris, 320 p.

BOIVIN P., TOUMA J., 1988. - Variabilité spatiale de l'infiltrabilité d'un sol mesurée par la méthode du double anneau. Cahier ORSTOM Pédol., 24, 3 : 227-234.

LAFFORGUE A., 1977.- Inventaire et analyse des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à l'analyse méthodique des données obtenues sous pluies simulées Cah. ORSTOM Hydrol., 14, 4 : 299-343.

ROOSE E., BLANCANEUX PH., FREITAS P., 1993.- Un test simple pour observer l'infiltration et la dynamique de l'eau dans les horizons du sol. Cah. ORSTOM Pédol., 28, 2 : 413-419.

ROOSE E., 1994.- Introduction à la GCES; Bull. Pédologique FAO Rome, N°70, 420 p.

ROOSE E., 1996.- Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. Bull. Réseau Erosion, 16 : 87-97.

ROOSE E., 1996. Mesures de l'infiltration à l'aide de deux simulateurs de pluie dans la vallée de Godim. Compte rendu de mission au Cap Vert; Prodap/Orstom, 10 p.

SMOLIKOWSKI B., LOPEZ J.M., QUERBES M., QUERIDO A., BARRY O., PEREZ P., ROOSE E., 1997. - Utilisation du paillage léger et de la haie vive dans la lutte contre l'érosion en zone semi-aride de montagne au Cap Vert. Bull. Réseau Erosion 17 : 12p.



Pour citer cet article / How to cite this article

Roose, E.; Smolikowski, B. - Comparaison de trois techniques de mesure de l'infiltration sur fortes pentes, monocylindre et deux simulateurs de pluies : application à un versant de la vallée de Godim au Cap Vert, pp. 282-296, Bulletin du RESEAU EROSION n° 17, 1997.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr