

# Influence de la pierrosité superficielle sur l'érosion d'un sol franc-limoneux: résultats d'une expérimentation de simulation

par Tomás de Figueiredo

Science du Sol, Escola Superior Agrária de Bragança  
Apartado 172, 5300 Bragança, Portugal

## Résumé

Le rôle de la pierrosité sur la perte de sol a été objet de plusieurs travaux dans les dernières années. L'échelle d'approche à l'étude de l'influence de la pierrosité sur la perte de sol et, d'autre part, les caractéristiques des éléments grossiers, conditionnent cette influence, aspects pourtant normalement négligés dans le domaine de la modélisation de la perte de sol.

Une expérimentation, à petite échelle, de simulation sous pluie naturelle a été mise-en-oeuvre, envisageant tester l'effet des caractéristiques des éléments grossiers sur les aspects de la dynamique de l'eau et du sol concernant le processus de l'érosion (ruissellement et infiltration, érosion en nappe et le splash).

Quarente quatre caisses métalliques à fond perforé, contenant une épaisseur de 3,5 cm d'un sol franc-limoneux (terre fine), ont été exposées à 5 périodes de pluies naturelles, totalisant 240 mm. Pour simuler les éléments grossiers, soit des carreaux céramiques ont été coupés régulièrement (forme rectangulaire et tailles de gravillons, cailloux et pierres), soit des anneaux plastiques ont été remplis de paraffine mélangée de morceaux de plomb pour assurer une densité comparable (forme circulaire et taille de gravillons et cailloux). Les onze modalités testées, avec quatre répétitions chacune, ont compris les deux formes et les trois tailles mentionnées, trois positions (reposant sur le sol et enterrés, à moitié ou complètement), et quatre pourcentages de couverture (0, 15, 30 et 70% de la surface des caisses). En plus, une modalité supplémentaire avec du sable a été testée. Les caisses ont été soumises à une "presque" saturation permanente, une pente de 10% étant imposée. Le ruissellement et la perte de sol à extrémité inférieure des caisses, l'infiltration, et le splash capturé sur une planche métallique placée à côté des caisses, ont été mesurés au bout de chacune des cinq périodes de pluies tombées au cours de l'expérimentation. Celle-ci s'est installée à côté d'une station météorologique, à Bragança, Portugal.

Les résultats obtenus montrent que la perte de sol dans ces conditions est de  $420 \text{ kg ha}^{-1}$  (sol nu). La corrélation négative entre % de couverture et perte de sol s'affaiblit tout au long de l'expérience, ce qui confirme l'effet de la crôte superficielle qui s'est développée par action des pluies, visuellement bien évidente, dont l'influence est d'autant plus marquée que la couverture par éléments grossiers est moindre. Cette crôte réduit le détachement de particules terreuses, mécanisme qui semble contrôler la perte de sol.

Le splash atteint les  $700 \text{ kg ha}^{-1}$  (sol nu) et est aussi corrélé négativement avec le % de couverture. L'infiltration est, pour toutes les modalités, assez élevée et varie positivement avec le % de couverture mais de façon très peu expressive. Le ruissellement diminue avec l'accroissement de la couverture.

Les effets de la taille des éléments grossiers et de leur forme, ont été testés pour 30% de couverture pierreuse. Ces effets ne sont significatifs que sur les mesures d'infiltration et comparant gravillons et cailloux.

## Introduction

Le rôle de la pierrosité sur plusieurs aspects des domaines de la physique du sol et de l'érosion, soit du point de vue agronomique, soit geomorphologique a fait l'objet d'un certain nombre de travaux dans les dernières années (Poesen & Lavee, 1994a; Gras, 1994). L'échelle d'approche à l'étude de l'influence de la pierrosité sur la perte de sol (Poesen et al., 1994) et, d'autre part, les caractéristiques des éléments grossiers (Poesen & Lavee, 1991; Poesen et al., 1990), conditionnent cette influence, aspects pourtant normalement négligés dans les modèles d'érosion.

Au Portugal, une grande extension de sols est à forte teneur en éléments grossiers, affectant de ce fait l'activité agricole. En tout cas, travaux récents sur les vignobles du Douro (vin de Porto) montrent la forte influence des éléments grossiers dans la réduction de l'érosion (inférieure à 0,5 ton.ha-1.an-1), étant donné le système cultural, le sol (terre fine) à érodibilité élevée et la pente (45%) des terrains (Figueiredo & Ferreira, 1993).

Une expérimentation, à petite échelle, de simulation sous pluie naturelle a été mise-en-oeuvre, envisageant tester l'effet des caractéristiques des éléments grossiers sur les aspects de la dynamique de l'eau et du sol concernant le processus de l'érosion (ruissellement et infiltration, érosion en nappe et le splash). Les résultats, ici présentés en première approche, forment une base de données éventuellement intéressante pour la comparaison entre différentes échelles d'étude.

## Méthodologie

Des caisses métalliques à fond perforé aux dimensions 27,1 cm par 22,6 cm par 5,5 cm (surface de 612 cm<sup>2</sup>) ont été remplies d'une épaisseur de 2 cm de sable auxquels on a superposé 3,5 cm de sol (Figure 1). La procédure de remplissage a assuré trois couches de densité apparente progressivement plus basse de bas en haut (1,3 à 1,1), la surface des deux plus profondes étant grattée de façon à éviter de transitions trop marquées entre couches. Dans le cas d'une des modalités testées seul le sable a été utilisé. Le placement des éléments grossiers enterrés s'est réalisé sans compression du sol sous-jacent. La distribution des éléments grossiers a été ordonnée de tel façon que le parcours du ruissellement soit le plus tortueux possible.

En chacune des caisses on a installée une planche métallique sur le côté droit pour intersepter le splash et un petit pont métallique au bord frontal pour assurer le décharge de l'eau de ruissellement. La planche de splash, à 10 cm de haut, reste verticale enfoncée dans un tube fermé à chaque extrémité, dans lequel une coupure longitudinale permet l'entrée d'eau et particules terreuses. L'ensemble a été fixé à l'intérieur d'un tablier métallique, imposant une pente de 10%. Au près du bord d'arrière et à la base du tablier, un trou a permis la fixation verticale d'un tube plastique rigide, à hauteur coïncidente avec la base de la caisse dans son bord de derrière. Ce tube s'est lié par un tuyau flexible à un flacon en verre qui reçoit l'eau d'infiltration. Un sac plastique, placé à l'intérieur d'une seconde caisse et couvert par une planche de polystyrène, reçoit l'eau de ruissellement puisque elle s'est juxtaposé au bord frontal de la caisse contenant le sol. Le tablier, pendant l'expérience a été maintenu plein d'eau jusqu'à la limite supérieure du tube plastique rigide, à l'aide d'additions fréquentes d'eau (une à deux fois par jour), assurant ainsi non seulement une presque saturation permanente du sol, mais aussi que tout excès d'eau dû à l'infiltration soit évacué vers le flacon respectif (Figure 1). Le dispositif expérimental suit de près, avec importantes adaptations, le schéma utilisé par Free (1952).

Le sol testé a été échantillonné à Quinta de Santa Bárbara, Région de Douro, Nordest du Portugal, où érosion et ruissellement sur vignoble à forte pente sont mesurés en parcelles expérimentales, installées vers 1978. Les caractéristiques des parcelles d'érosion, aussi bien que les résultats de 10 ans d'observations font l'objet de travaux préalables de l'auteur (Figueiredo & Ferreira, 1993). Le sol est franc-limoneux (argile - 5%; limon - 41%; sable fin - 50%), avec 0,5% de matière organique, et une teneur élevée d'éléments grossiers (environ 60%), mais seul la terre fine a été utilisée comme matériau.

Pour simuler les éléments grossiers, soit des carreaux céramiques ont été coupés régulièrement (forme rectangulaire et tailles de gravillons, cailloux et pierres), soit des anneaux plastiques ont été remplis de paraffine mélangée de morceaux de plomb pour assurer une densité comparable (forme circulaire et taille de gravillons et cailloux).

Les onze modalités testées, avec quatre répétitions chacune, ont compris deux formes (rectangulaire et circulaire), trois tailles (gravillons, cailloux et pierres), trois positions (reposant sur le sol et enterrés, à moitié ou complètement), trois pourcentages de couverture (%CP de 15, 30 et 70) et sol nu. En plus, une modalité supplémentaire avec du sable a été testée (Tableau I)

Aléatoirement placés sur des établis en bois (1,2 m du sol) à groupes de six, quarante huit caisses ont été exposées de Mai à Novembre de 1994, recevant au total environ 240 mm de précipitation. L'expérimentation s'est installée à côté d'une station météorologique, à Quinta de Santa Apolónia, Bragança, Portugal (42°N et 670m d'altitude), sous régime climatique méditerranéen - température moyenne annuelle de 12°C, précipitation moyenne annuelle de 800 mm, été chaud et sec avec moins de 10% de la précipitation annuelle et plus de 20°C de moyenne mensuelle.

Le ruissellement et la perte de sol à l'extrémité inférieure des caisses, l'infiltration, et le splash capturé sur la planche métallique placée à côté des caisses, ont été mesurés pour chacune des périodes de pluies tombées au cours de l'expérimentation. Les mesures d'infiltration ont été assez fréquentes dû au volume limité du flacon respectif, normalement au bout de chaque événement pluviométrique. Les cinq mesures de ruissellement et perte de sol correspondent à des groupes de précipitation, pourtant pas coïncidents avec les cinq mesures du splash, en raison du temps nécessaire à l'accomplissement des procédures de mesure.

## Résultats

Les résultats globaux obtenus montrent, tout d'abord, des différences non significatives au point de vue statistique (analyse de variance à un critère de classification), entre les répétitions de chacune des modalités. L'effet de la répétition est donc négligeable en ce qui concerne l'interprétation des résultats.

Les coefficients de variation ( $CV=100(\text{écart-type}/\text{moyenne})$ , en %) calculés pour chaque modalité, diffèrent selon la variable mesurée, une grande homogénéité de résultats étant constatée dans le cas de l'infiltration ( $CV < 6\%$ ), tout au contraire des cas du ruissellement ( $CV$  en moyenne proches des  $20\%$ ), de la perte de sol ( $CV$  moyen de  $16\%$ ) et du splash ( $CV$  moyen de  $21\%$ ).

Les résultats présentés ci-dessous portent sur les mesures d'infiltration, ruissellement, perte de sol et splash, considérant d'abord les valeurs globales correspondantes à l'ensemble de l'expérimentation et ensuite l'évolution temporelle de ces mesures. Seul les modalités concernant les effets du %CP, de la dimension et de la forme des éléments grossiers, sont considérées dans la présentation et discussion de résultats (Tableau II).

### *Infiltration et Ruissellement*

Les mesures globales d'infiltration révèlent de façon bien évidente l'influence du %CP, le coefficient de corrélation ( $r$ ) entre ces deux variables étant de  $0,785$ . Cet effet positif ne se traduit pourtant pas par des différences significatives entre modalités ayant moins de  $30\%$ CP (Tableau II).

En ce qui concerne le ruissellement, la corrélation avec %CP est négative et beaucoup moins forte ( $r=-0,425$ ). Les différences entre modalités ne sont pas statistiquement significatives et cet effet n'est expressif que pour  $70\%$ CP, modalité où le ruissellement correspond à  $72\%$  de l'observé sur sol nu (Tableau II).

L'infiltration décroît avec l'accroît de la taille des éléments grossiers; soit pour les formes rectangulaires soit pour les circulaires, les résultats étant similaires pour les deux formes. Différences significatives de résultats sont constatées comparant gravillons et cailloux. Dans les modalités gravillons le ruissellement est inférieure à ce qui s'observe dans les modalités cailloux ou pierres, les différences entre modalités n'étant pourtant pas significatives. La modalité pierres montre des valeurs non significativement différents mais supérieures (infiltration) ou inférieures (ruissellement) à ceux observés dans la modalité cailloux (Tableau II).

Les différences sont négligeables quant à l'infiltration entre formes rectangulaires et circulaires, les dernières ayant toutefois des résultats inférieurs. Tout au contraire, des différences évidentes entre les deux formes sont observées dans le cas du ruissellement, en particulier pour la taille gravillons, où les résultats sont nettement plus élevés dans la forme circulaire (Tableau II).

### *Perte de Sol et Splash*

La perte de sol sur sol nu est équivalente à  $422 \text{ kg ha}^{-1}$ , soit  $1,75 \text{ kg ha}^{-1}$  par mm de précipitation. En raison de mesures en manque le long de l'expérimentation il n'est pas possible de calculer le total de perte de sol pour la modalité correspondant aux  $70\%$ CP. En tout cas, la variation négative de la perte de sol avec %CP est bien évidente, ayant plutôt une allure non-linéaire (Figure 2). En effet, une réduction de la perte de sol de  $34\%$  est observée de  $0$  à  $15\%$ CP mais de  $15$  à  $30\%$ CP cette réduction n'est que de  $9\%$  (Tableau II).

L'évolution de la perte de sol le long de l'expérimentation est évaluée à l'aide des valeurs de précipitation cumulées. La Figure 3a montre une réduction très évidente de la perte de sol à partir des  $80 \text{ mm}$  de précipitation. Ce seuil correspond à peu près à la fin des pluies printanières et du début d'été. Les premières pluies d'automne n'ont originé que des pertes légères de sol. Les différentes modalités, notamment celles correspondantes à différents %CP, montrent un comportement identique. D'autre part, la corrélation négative entre %CP et perte de sol s'affaiblie

tendanciellement au long de l'expérience, avec une réduction de la pente de la fonction de régression, à l'exception de la troisième période de précipitations (12,3 mm à la fin du mois de Juin). La Figure 4 représente la perte de sol par unité de précipitation, permettant donc la comparaison entre observations successives.

Le splash sur sol nu, pour l'ensemble de l'expérimentation, est équivalent à 706 Kg.ha<sup>-1</sup>, soit 2,9.Kg.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup> de précipitation. La variation négative avec le %CP est représenté dans la Figure 2 par deux fonctions de régression (linéaire et exponentielle). Les résultats comparatifs des différentes tailles et formes d'éléments grossiers révèlent un sens général semblable au déjà rapporté pour la perte de sol. Cependant des différences plus poussées (mais pas statistiquement significatives) sont observées entre éléments grossiers rectangulaires et circulaires dans le cas des cailloux enterrés (Tableau II).

Le splash montre, tel que la perte de sol, une réduction accentuée à partir des 80 mm de précipitation cumulative et le taux de splash est bien faible au cours des pluies d'automne, pour toutes les modalités (Figure 3b).

L'effet de la taille des éléments grossiers sur la perte de sol et le splash est tendanciellement positif soit pour les formes rectangulaires soit pour les circulaires, quoique la modalité pierres montre des valeurs de perte de sol inférieures à l'observé dans la modalité cailloux (Tableau II).

La perte de sol est aussi plus élevée dans les formes circulaires, soit pour les gravillons reposant sur la surface du sol, soit pour les cailloux enterrés. Au contraire, on observe dans les modalités cailloux à la surface une perte de sol plus élevée dans les formes rectangulaires. Les résultats du splash révèlent ces mêmes tendances (Tableau II).

## Discussion des Résultats et Conclusions

### *L'influence de la couverture pierreuse*

En ce qui concerne l'effet du %CP, les résultats de l'infiltration et du ruissellement sont en accord avec un nombre de travaux sur ce point (par exemple Poesen, 1992). La couverture pierreuse superficielle, agissant comme facteur de rugosité, réduit la vitesse du ruissellement et augmente le stockage d'eau à la surface du sol, permettant donc une infiltration accrue. En tout cas, les résultats obtenus montrent une faible expression du mécanisme décrit pour des %CP inférieures à 30. Il faut souligner qu'une partie de la précipitation tombé sur les caisses est perdue puisque la compensation du splash n'est pas considérée dans l'expérimentation.

Les résultats concernant la perte de sol globale peuvent être comparés avec des résultats publiés, en particulier ceux concernant la relation avec le %CP. La forme exponentielle de cette relation étant empiriquement acquise et l'ordonnée à l'origine exprimant l'érodibilité du sol nu (variable donc avec les caractéristiques de la terre fine), il reste à comparer la pente (négative) de la régression qui représente ici un facteur intensité. Tout d'abord Poesen et al. (1990) par évidence expérimentale, montrent que ce facteur n'est pas indépendant des caractéristiques du sol (structure) et de la position des éléments grossiers (à la surface ou enterrés). Par la suite, Poesen (1992) indique des valeurs de -0,040 (éléments grossiers à la surface) et -0,020 (éléments grossiers partiellement enterrés). Lima (1990) rassemble données de plusieurs auteurs (Box, 1981; Meyer et al., 1972; Simanton et al., 1984) qui indiquent des exponents entre -0,053 et -0,030. Expérimentation en laboratoire, portée sur un sol du Sud du Portugal, révèle une valeur de -0,037 (Lima, 1990). D'après Wishmeier & Smith (1978), la pente de l'exponentielle serait de -0,032, selon leur figure concernant les effets des mulchs. En somme, les résultats obtenus par l'expérimentation décrite se placent entre les plus bas soit au niveau global (-0,020, Figure 2), soit considérant l'évolution au cours de l'expérimentation (-0,019 à -0,036). L'homogénéité des éléments grossiers simulés peut expliquer ces résultats. En effet, sur le terrain l'hétérogénéité des éléments grossiers permet une distribution spatiale contribuant fortement à la formation de ruissellement réticulaire (Baird et al., 1992), d'autant plus marqué que le %CP est grand. Ainsi, le taux de variation de l'érosion avec le %CP serait plus élevé par rapport au trouvé pour des éléments grossiers à taille et forme unique.

Malgré les meilleurs résultats obtenus avec la régression exponentielle entre %CP et splash (Figure 2), il semble plus logique admettre l'allure linéaire comme correcte, d'ailleurs soutenue par Poesen (1992). En accord avec les résultats, le splash cesserait pour environ 90%CP, ce qui peut s'expliquer non seulement par la trop petite distance entre éléments grossiers (éventuellement inférieure au diamètre des gouttes de pluie plus efficaces pour le détachement), mais aussi par la

hauteur des éléments grossiers, laquelle empêcherait la libre éjection de particules de sol et donc la mesure du splash.

La variation temporelle de la perte de sol, aussi bien que celle du splash (Figures 3 et 4), révèlent la formation de la croûte superficielle du sol, d'ailleurs visuellement bien évidente, qui conduit à une réduction de la quantité de particules disponibles pour le transport par ruissellement et, par conséquent, un mécanisme d'érosion de plus en plus limité par le détachement. Ce même mécanisme a été identifié en parcelles d'érosion, dans les vignobles du Douro, Portugal (Figueiredo & Ferreira, 1993). L'effet de la presque saturation du sol n'a pas empêché le développement d'une croûte après 80 mm de précipitation, contrairement à l'évidence expérimentale de Le Bissonnais & Singer (1992). La non compensation du splash pourrait bien expliquer cet effet.

#### *L'influence de la dimension des éléments grossiers*

L'effet de la taille des éléments grossiers sur les variables mesurées est en accord avec d'autres études publiées, concernées soit avec l'érosion hydrique soit avec la dégradation physique de la couche superficielle du sol sous l'action des pluies (Lavee et Poesen, 1991; van Wesemael et al., 1995). La taille gravillons testée dans cette étude permet d'autre part l'extension de ces évidences au domaine des tailles plus petites, moins connu mais pas moins important comme les résultats le démontrent. En somme, les petites tailles révèlent une plus grande efficacité dans la protection du sol contre la dégradation physique et l'érosion et dans la conservation de l'eau par l'augmentation de l'infiltration.

#### *Influence de la forme des éléments grossiers*

Les résultats comparés des modalités à formes circulaires et rectangulaires sont consistents quant au ruissellement. En effet, le ruissellement est plus grand dans les modalités à forme circulaire ce qui peut être expliqué par la longueur de l'élément grossier selon la direction de la pente. Cette caractéristique représente le parcours de l'eau ruisselé à la surface de l'élément grossier vers le sol, lequel est donc plus court pour les formes circulaires (pour identique surface), aboutissant à un volume de ruissellement plus élevé. Poesen & Lavee (1991) citent Singer et Blackard (1978) qui expliquent l'effet de la forme de mulchs organiques sur l'érosion en nappe.

Le sens général des résultats relatifs à la perte de sol et au splash est le même que ce du ruissellement. Toutefois, la comparaison entre cailloux rectangulaires et circulaires reposant à la surface du sol correspond à un résultat contradictoire puisque dans ce cas, la forme circulaire origine des valeurs inférieures à la forme rectangulaire. Non seulement ce résultat s'oppose à l'observé dans la taille gravillons mais aussi contredit les résultats de la modalité similaire à cailloux enterrés.

A ce sujet les résultats de l'infiltration sont inexpressifs, quoique une légère tendance négative s'aperçoive comparant formes rectangulaires avec formes circulaires.

La perte de sol des parcelles d'érosion de la Quinta de Santa Bárbara déjà mentionnée (Figueiredo & Ferreira, 1993), est de 480 Kg.ha-1.an-1, dans la parcelle la plus érodé (45% de pente, 60% d'éléments grossiers à taille majoritairement de cailloux et 600mm de précipitation annuelle). Tenant compte les procédures de l'Equation Universelle de Perte de Sol concernant les facteurs S et C (Wischmeier & Smith, 1978), il est possible d'estimer la perte de sol en conditions équivalentes à celles de l'expérimentation et donc comparer des résultats. Pour les parcelles d'érosion l'estimation est de 0,12 Kg.ha-1.mm-1 et appliquant la régression obtenue %CP-perte de sol pour 60%CP on obtient 0,52 Kg.ha-1.mm-1. Etant donnée la longueur des parcelles (32m), on peut estimer en 0,4 le facteur permettant le transfert de résultats entre petite échelle et parcelle d'érosion, admettant une relation entre facteurs L (parcelle/caisse) de 11 et négligeant la contribution directe du splash sur la mesure d'érosion au niveau de la parcelle. Plusieurs études, cependant, démontrent les difficultés soit théoriques soit expérimentales inhérentes aux problèmes d'échelle en ce qui concerne l'érosion des sols (Poesen et al., 1994).

Une approche théoriquement plus poussée, par la modélisation physique des phénomènes et la compréhension des relations entre facteurs, semble un pas nécessaire à l'état actuelle des recherches sur ce point. Ainsi, le domaine de la petite échelle serait toujours une base indispensable à cette approche.

## Bibliographie

- Baird, A. J., J. B. Thornes & G. P. Watts (1992) Extending overland-flow models to problems of slope evolution and the representation of complex slope-surface topographies, in, A. J. Parsons & A. D. Abrahams (eds) *Overland flow: Hydraulics and erosion mechanics*. Chapman & Hall, New York. pp. 199-223.
- Figueiredo, T. de & A. G. Ferreira (1993) Erosão dos solos em vinha de encosta na região do Douro, Portugal. *Actas do XII Congresso Latinoamericano da Ciência do Solo*, SECS, Salamanca. pp. 79-88.
- Free, G. (1952) Soil Movement by Raindrops. *Agricultural Engineering* 33: 491-494,496.
- Gras, R. (1994) Sols caillouteux et production végétale. INRA, Paris.
- Le Bissonnais, Y. & M. J. Singer (1992) Crusting, Runoff and Erosion Response to Soil Water Content and Successive Rainfalls. *Soil Science Society of America Journal* 56: 1898-1903.
- Lima, M. I. P. (1990) Laboratory experiments on water erosion of stony soils. *Proceedings of the Seminar on Interaction between Agricultural Systems and Soil Conservation in the Mediterranean Belt*, ESSC, Oeiras, Portugal.
- Poesen, J. (1992) Mechanisms of overland flow generation and sediment production on loamy and sandy soils with and without rock fragments, in, A. J. Parsons & A. D. Abrahams (eds) *Overland flow: Hydraulics and erosion mechanics*. Chapman & Hall, New York. pp. 275-306.
- Poesen, J. & H. Lavee (1991) Effects of size and incorporation of synthetic mulch on runoff and sediment yield from interrills in a laboratory study with simulated rainfall. *Soil & Tillage Research* 21: 209-223.
- Poesen, J. & H. Lavee, eds. (1994a) *Rock Fragments in Soil: Surface Dynamics*. *Catena* 23 (1-2), special issue.
- Poesen, J. & H. Lavee (1994b) *Rock Fragments in Top Soils: significance and processes*, in, J. Poesen & H. Lavee (eds) *Rock Fragments in Soil: Surface Dynamics*. *Catena* 23 (1-2): 1-28.
- Poesen, J., F. Ingelmo-Sanchez & H. Mucher (1990) The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affected by cover and position of rock fragments in the top layer. *Earth Surface Processes and Landforms* 15: 653-671.
- Poesen, J., D. Torri & K. Bunte (1994) Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spacial scales: a review, in, J. Poesen & H. Lavee (eds) *Rock Fragments in Soil: Surface Dynamics*. *Catena* 23 (1-2): 141-166.
- van Wesemael, B., J. Poesen & T. de Figueiredo (1995) Effects of rock fragments on physical degradation of cultivated soils by rainfall. *Soil & Tillage Research* 33: 229-250.
- Wishmeier, W. H. & D. D. Smith (1978) *Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*. USDA, Washington, D. C.

## Remerciements

Je tiens à remercier à M. Mário Graça et à toute l'équipe technique du Laboratoire de Sols et Fertilité de Escola Superior Agrária de Bragança, par leur collaboration active, sans laquelle la préparation et installation de l'expérimentation ne serait pas réalisée au bon moment. Je tiens encore à remercier les suggestions du Prof. A. Gonçalves Ferreira, avancées pendant la phase de programmation de l'expérimentation.

**TABLEAU I** Modalités testés et caractéristiques des éléments grossiers

Modalité	% Elements	Grossiers	Classe de	Dimension	Forme	Position	Matériau
1	0	(0,0)	-	-	-	-	Sol
2	15	(16,9)	Cailloux	(4,8*2,4*1,1)	Rectangulaire	Surface	Sol
3	30	(30,1)	Cailloux	(4,8*2,4*1,1)	Rectangulaire	Surface	Sol
4	70	(65,9)	Cailloux	(4,8*2,4*1,1)	Rectangulaire	Surface	Sol
5	30	(30,4)	Gravillons	(2,2*1,2*1,1)	Rectangulaire	Surface	Sol
6	30	(30,1)	Pierres	(9,6*4,8*1,1)	Rectangulaire	Surface	Sol
7	30	(28,7)	Gravillons	(Ø2,0*1,1)	Circulaire	Surface	Sol
8	30	(28,7)	Cailloux	(Ø4,0*1,2)	Circulaire	Surface	Sol
9	30	(30,1)	Cailloux	(4,8*2,4*1,1)	Rectangulaire	Mi-enterré	Sol
10	30	(30,1)	Cailloux	(4,8*2,4*1,1)	Rectangulaire	Enterré	Sol
11	30	(28,7)	Cailloux	(Ø4,0*1,2)	Circulaire	Enterré	Sol
12	30	(30,1)	Cailloux	(4,8*2,4*1,1)	Rectangulaire	Surface	Sable

**Note** Les chiffres entre parenthèses correspondent aux % réels calculées (colonne % d'éléments grossiers) et aux dimensions en cm (colonne classe de dimension)

**TABEAU II** Résultats globaux de l'ensemble de l'expérimentation en valeurs relatifs à l'observé sur Sol nu: Effets des éléments grossiers sur Infiltration (I), Ruissellement (R), Perte de Sol (PS) et Splash (S)

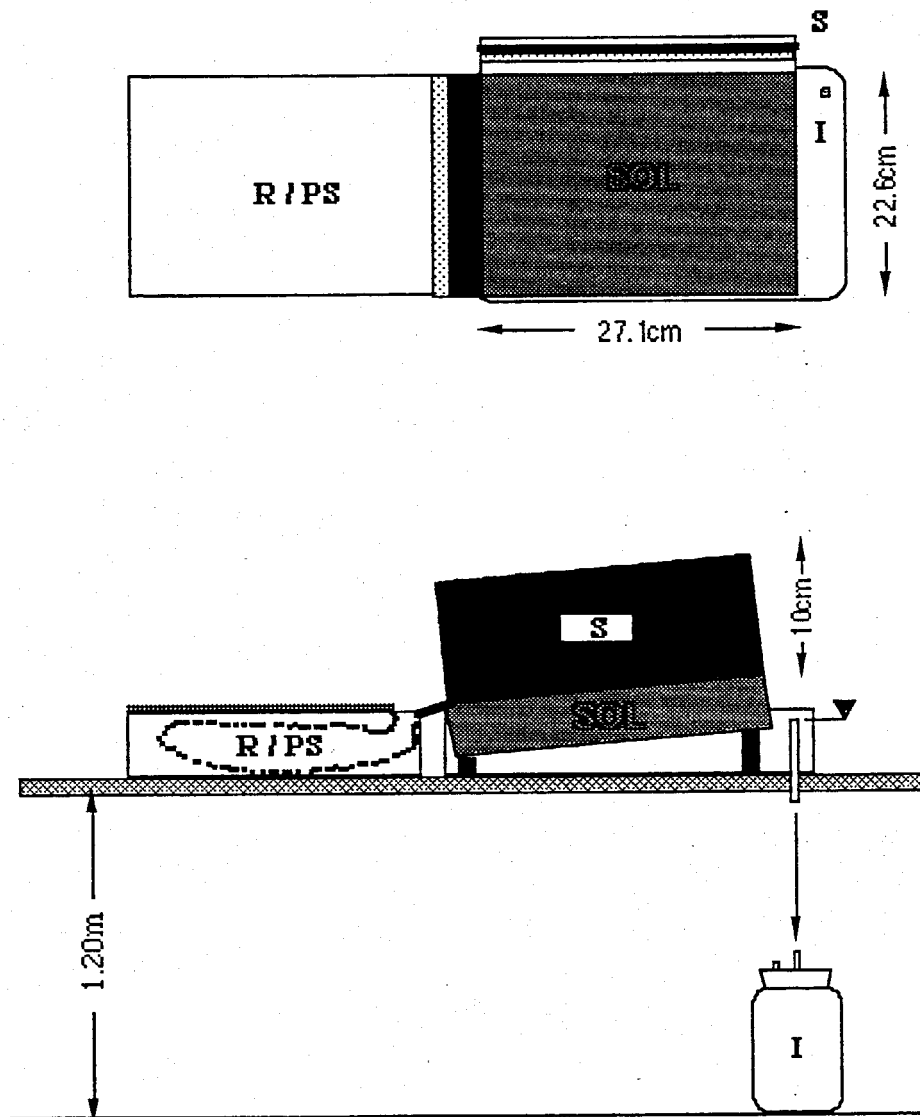
	<i>Effet</i>		<i>%CP</i>		<i>(valeurs relatifs au Sol nu)</i>		
	0% Mod 1	<u>Rect</u>	15% Mod 2	<u>Rect</u>	30% Mod 3	<u>Rect</u>	70% Mod 4
<b>I</b>	1.00	ns	1.04	ns	1.02	***	1.11
<b>R</b>	1.00	ns	0.93	ns	1.03	ns	0.72
<b>PS</b>	1.00	-	0.66	-	0.57	-	.
<b>S</b>	1.00	**	0.73	ns	0.63	***	0.26

	<i>Effet</i>		<i>Dimension</i>		<i>(valeurs relatifs au Sol nu)</i>			
	Gravillons Mod 5	<u>Rect</u>	Cailloux Mod 3	<u>Rect</u>	Pierres Mod 6	Gravillons Mod 7	<u>Circ</u>	Cailloux Mod 8
<b>I</b>	1.08	*	1.02	ns	1.05	1.07	**	1.01
<b>R</b>	0.82	ns	1.03	ns	0.98	0.98	ns	1.09
<b>PS</b>	0.31	-	0.57	-	0.49	0.36	-	0.46
<b>S</b>	0.44	ns	0.63	ns	0.52	0.47	ns	0.52

	<i>Effet</i>		<i>Forme</i>		<i>(Dimension / Position)</i>		<i>(valeurs relatifs au Sol nu)</i>		
	<u>Rect</u> Mod 5	Gravillons Surface	Circ Mod 7	<u>Rect</u> Mod 3	Cailloux Surface	Circ Mod 8	<u>Rect</u> Mod 10	Cailloux Enterrés	Circ Mod 11
<b>I</b>	1.08	ns	1.07	1.02	ns	1.01	1.06	ns	1.05
<b>R</b>	0.82	ns	0.98	1.03	ns	1.09	0.97	ns	1.03
<b>PS</b>	0.31	-	0.36	0.57	-	0.46	0.59	-	0.78
<b>S</b>	0.44	ns	0.47	0.63	ns	0.52	0.63	ns	0.82

**Note:** Significance statistique des différences entre Modalités (Mod) testée par la méthode de contrasts indépendents: non significative (ns); significative (\* - p≤0,10; \*\* - p≤0,05; \*\*\* - p≤0,01)





**FIGURE 1 – Dispositif expérimental (I – Infiltration; R – Ruissellement; PS – Perte de Sol; S – Splash)**

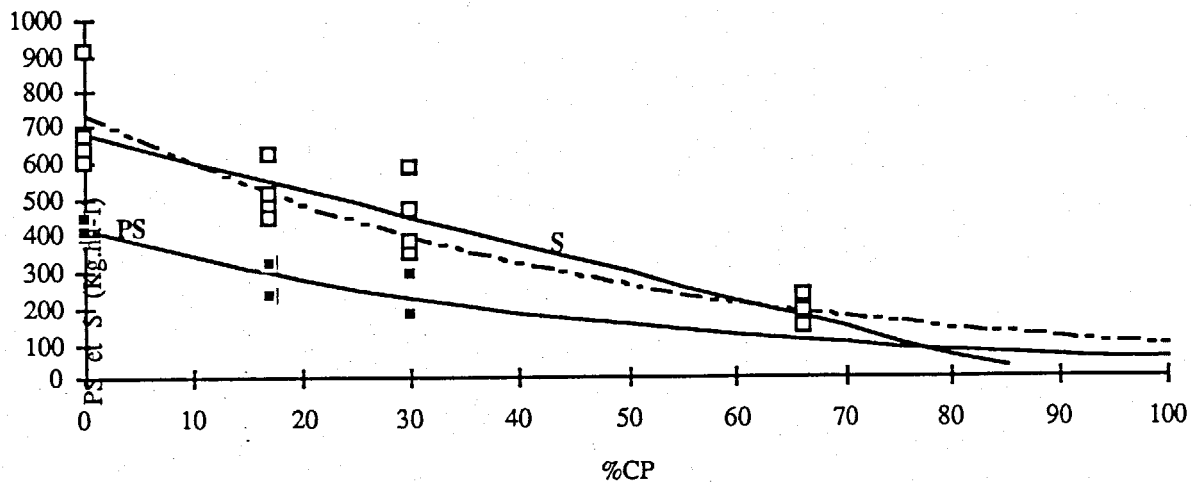


Figure 2 - Relation entre %CP et Perte de Sol (PS) et Splash(S) pour l'ensemble de l'experimentation.

Regressions:  $S = 679,9 - 7,64 \%CP$  ( $r = -0,91$ )  
 $S = 731,0 \exp(-0,020 \%CP)$  ( $r = -0,94$ )  
 $PS = 419,6 \exp(-0,020 \%CP)$  ( $r = -0,97$ )

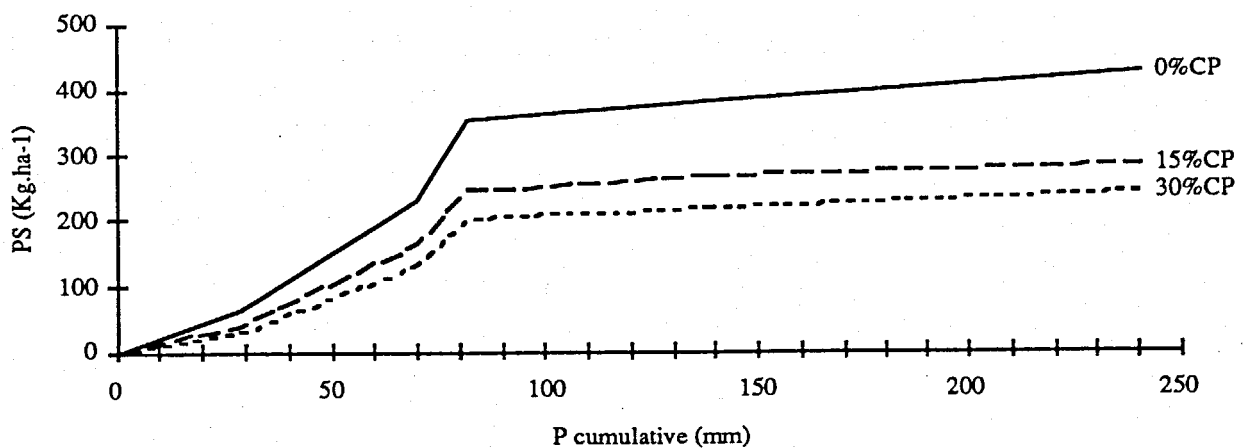


Figure 3a - Evolution de la Perte de Sol (PS) avec la Précipitation (P) cumulative au long de l'experimentation, pour différents %CP.

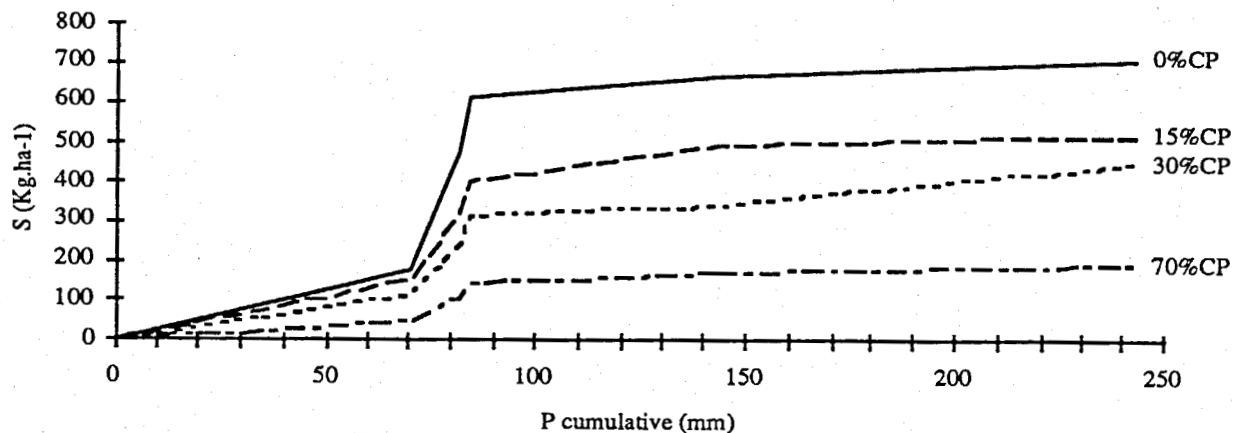


Figure 3b - Evolution du Splash (S) avec la Précipitation (P) cumulative au long de l'expérimentation, pour différents %CP.

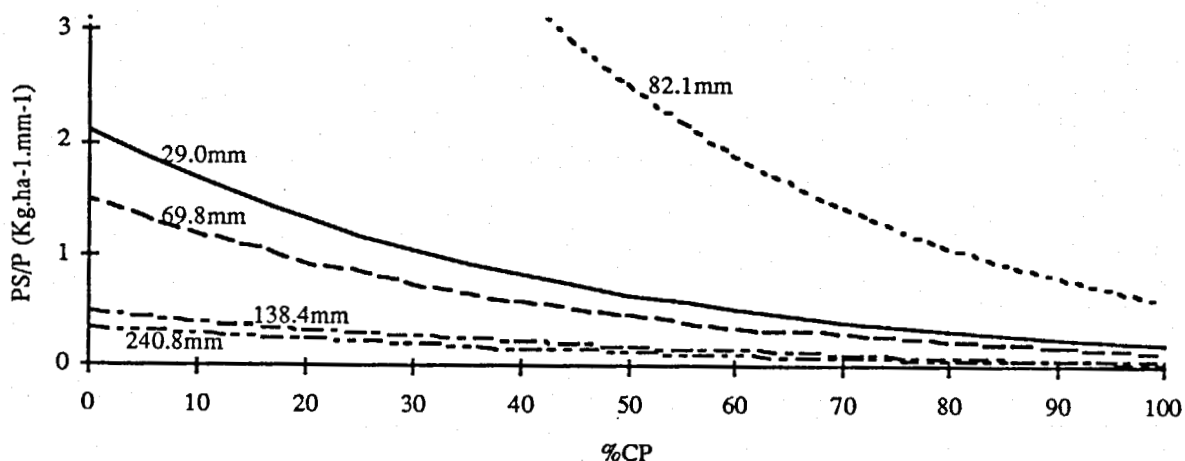


Figure 4 - Relation entre %CP et Perte de Sol par unité de Précipitation (PS/P): évolution avec la Précipitation (P) cumulative au long de l'expérimentation.

Regressions:  $PS/P = 2,1 \exp(-0,0235 \%CP)$  ( $r = -0,84$ )  $P_{cumulative} = 29,0$  mm  
 $PS/P = 5,2 \exp(-0,0356 \%CP)$  ( $r = -0,93$ )  $P_{cumulative} = 69,8$  mm  
 $PS/P = 10,5 \exp(-0,0287 \%CP)$  ( $r = -0,92$ )  $P_{cumulative} = 82,1$  mm  
 $PS/P = 0,5 \exp(-0,0197 \%CP)$  ( $r = -0,81$ )  $P_{cumulative} = 138,4$  mm  
 $PS/P = 0,4 \exp(-0,0190 \%CP)$  ( $r = -0,61$ )  $P_{cumulative} = 240,8$  mm