

RELATION AU CHAMP ENTRE PERTES EN TERRE ET INCLINAISON DE LA PENTE EN SITUATION D'ÉROSION DIFFUSE

V. CHAPLOT

Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Laboratoire ENSA-INRA de Science du sol, 65 rue de Saint Brieuc, 35042 RENNES, France

Y. LE BISSONNAIS, H. BENKHADRA, V. LECOMTE, D. FOX

Institut National de la Recherche Agronomique, Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France, 45160 Olivet, France

RÉSUMÉ

Les mesures de pertes en eau et en terre, réalisées dans un contexte de région limoneuse intensivement cultivée du Nord-Ouest de la France à l'échelle de 1 m², sont présentées et commentées. L'érosion hydrique est l'un des processus majeurs dans la redistribution des particules solides du sol au sein des paysages. Aussi, afin d'estimer dans un premier temps les zones sensibles et ensuite de lutter contre les exportations de terre par des mesures agro-environnementales, il est important de pouvoir apprécier l'effet de l'inclinaison de la pente. Malgré de nombreuses études sur le sujet, l'influence de l'angle de la pente sur le niveau d'érosion inter-rigole n'est pas clairement établi. L'objectif de l'étude est de déterminer au champ, sur une surface uniformément battue, l'influence de l'angle de la pente (2, 4, 8 %) sur les pertes en terre. L'expérimentation, menée à la fois sous pluies naturelles et simulées, nous a permis de confronter les résultats concernant le ruissellement et sa charge solide évalués à l'échelle de 1 m². Les résultats indiquent d'une part, une corrélation forte entre pertes en terre, taux de ruissellement et inclinaison de la pente; d'autre part, une invariance des valeurs de charge solide du ruissellement aux diverses intensités de pente considérées. Une telle invariance est attribuée à des vitesses de la lame d'eau ruisselante voisines.

L'étude apporte par ailleurs des éléments de discussion sur les possibilités d'extrapolation des mesures effectuées sous pluies simulées.

MOTS CLÉ : Erosion diffuse, Angle de la pente, Placettes expérimentales de plein champ, Pays de Caux.

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the influence of slope angle (2 to 8 %) on runoff generation and interrill erosion rate at the scale of 1 m². Runoff rate was observed to increase with increasing slope angle for both natural and simulated rainfall. Although, sediment concentration in the runoff did not vary with slope angle, soil loss increased with increasing slope angle due to the higher runoff rates. The short length of the experimental plots (1 m²) was not sufficient to permit significant differences in runoff velocity between slope angles and this probably accounts for the lack of the relationship between sediment concentration and slope angle.

KEYS WORDS : Interrill erosion, Slope angle, Field experiments, Pays de Caux.

INTRODUCTION

De nombreux auteurs se sont intéressés d'une part à l'effet direct ou indirect de l'inclinaison de la pente sur le ruissellement et l'érosion diffuse. Leurs résultats sont bien souvent contradictoires :

L'angle de la pente peut affecter les paramètres d'infiltration du sol. Ainsi, avec l'accroissement de l'angle de la pente, Poesen (1984) observe une diminution du taux de ruissellement causée par l'incision de la croûte de surface. Bryan et Poesen (1989); Slattery et Bryan (1992) l'attribuent dans ce même cas à une destruction de la croûte de surface par les rigoles. Par contre, toujours dans le cas d'une accentuation de l'angle de la pente, De Ploey et al. (1976); Sharma et al. (1983); Djorovic (1980); Kinnel et Cummings (1993) observent cette fois une augmentation du taux de ruissellement. Celle-ci est causée par une surface d'inondation moindre ainsi que par une croûte de surface plus épaisse (Kinnel et Cummings, 1993). Enfin, Lal (1976) et Mah et al. (1992) observent une invariance du taux de ruissellement aux diverses intensités de pente étudiées.

L'angle de la pente peut également affecter les paramètres de détachement et de transport des particules solides. Palmer (1964) et Moss et Green (1983) montrent que le détachement des particules solides par la pluie décroît avec l'épaisseur de la lame d'eau ruisselante. Cette dernière agit en protégeant le sol de l'impact des gouttes de pluie (Ferrera et Singer, 1985).

Par ailleurs, l'accentuation de l'angle de la pente induit une accélération du ruissellement (Gerits et al., 1990) et une diminution de l'angle que font le trajet des gouttes et la surface du sol (Gerits, 1990).

D'autre part, dans les modèles prédictifs des pertes en terre, les auteurs ont considéré le facteur inclinaison de la pente tantôt comme un simple facteur d'ajustement (USLE), tantôt comme absent (Meyer et Harmon, 1989), sans que l'un ou l'autre de ces choix ne soit justifié en terme de processus. Ces divers modèles prennent en compte un très grand nombre de paramètres mis en relation de façon statistique de telle sorte que les interactions entre les facteurs en cause restent peu connues.

Dans ce contexte, l'objectif de notre étude est d'une part, de mettre en évidence "in-situ", un effet de l'inclinaison de la pente sur les pertes en terre en situation d'érosion inter-rigole et d'autre part, s'il existe, d'analyser cet effet en terme de ruissellement et de charge solide de ce ruissellement. Par ailleurs, nous discuterons des possibilités d'extrapolation tant spatiale que temporelle des données obtenues par le biais de la simulation de pluie.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Site d'étude

Le sol étudié est celui d'une parcelle expérimentale en Pays de Caux (localisation : figure 1). Cette région naturelle appartient au système des grands plateaux crayeux limoneux du NW de la France. L'évolution des pratiques culturales, l'abandon relatif de l'élevage au profit des monocultures céréalières ont entraîné sous un climat peu agressif du Nord de l'Europe de grandes atteintes à la conservation des sols. Les caractéristiques physiques du Pays de Caux sont :

- Un relief peu accentué : des plateaux mollement ondulés avec des pentes longues et d'intensités faibles à modérées (1 à 4 % sur les sommets, 8 à 10 % sur les versants).
- Une couverture pédologique à dominance de sols bruns limoneux faiblement lessivés, bien drainés et légèrement acides (Ph voisin de 6 tamponné à 7 sous culture). L'horizon de surface a une texture limoneuse franche spatialement très homogène sur l'ensemble du domaine d'étude (A : 12-14% ; L : 60-62% ; S : 25-28%). Le taux de carbone organique, très faible, est voisin

de 1% et le rapport carbone organique (méthode kjeldahl) est voisin de 9. La capacité d'échange cationique est de 8,7 c Mol/kg. Ces caractéristiques font que la structure de surface est très instable puisque log 10S est voisin de 1,9.

- Un parcellaire de grande dimension à forte continuité entre les parcelles, présentant peu d'obstacles (haies, fossés) au ruissellement de surface.
- Une absence de réseau hydrographique dans les talwegs non drainés, autrefois maintenus en prairies permanentes et actuellement cultivés de façon intensive.
- Un régime de pluies abondantes (750 à 1100 mm/an), surtout en Automne et au Printemps, mais de faible intensité (0,1 à 5 mm/h en moyenne).

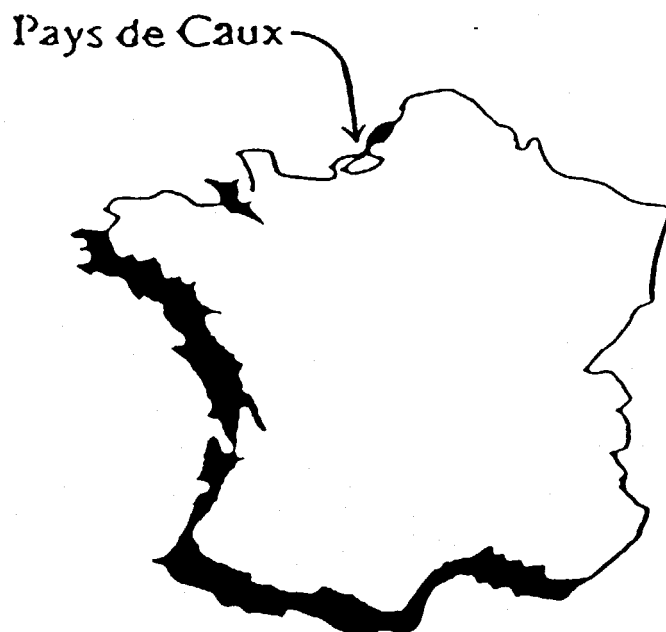


Figure. 1. Localisation du site d'étude

La proportion de surfaces "battues", potentiellement ruisselantes et donc génératrices de phénomènes d'érosion, est considérable durant les mois les plus pluvieux. En effet, du fait de la présence d'une part de cultures de Printemps en pourcentage important (50%) et d'autre part, de cultures d'hiver peu développées pendant les mois de Décembre à Mars, plus de 80% de la surface totale présentent une couverture du sol inférieure à 15% et sont directement soumis à l'agressivité des pluies. Ainsi, dans des situations de pente douce (<5%) et là où l'érosivité des pluies est faible, les dégâts engendrés aux cultures et voiries sont spectaculaires. La période d'étude s'étend de Janvier 1995 à Mai 1995. Au cours de ces 5 mois, il y a eu 100 jours de pluie dont le cumul des précipitations atteint 450 mm. L'intensité moyenne horaire mesurée sur cette même période a été supérieure à 5 mm/h au cours de 5 averses. (station météorologique de St Valery).

2. Parcelle expérimentale

Le lieu de l'étude se situe à Blosseville sur Mer à 6 km à l'Est de St Valery en Caux. Nous avons choisi au sein d'une parcelle agricole battue (faciès f2+ - majorité de croûte sédimentaire/structurale; Boiffin, 1984) semée en blé d'hiver, une toposéquence d'une longueur de 80 mètres environ. Au cours de l'étude, la couverture du sol est restée voisine de 10 %. La parcelle expérimentale se situe au bord d'un talweg, dans la partie aval d'un plateau long de

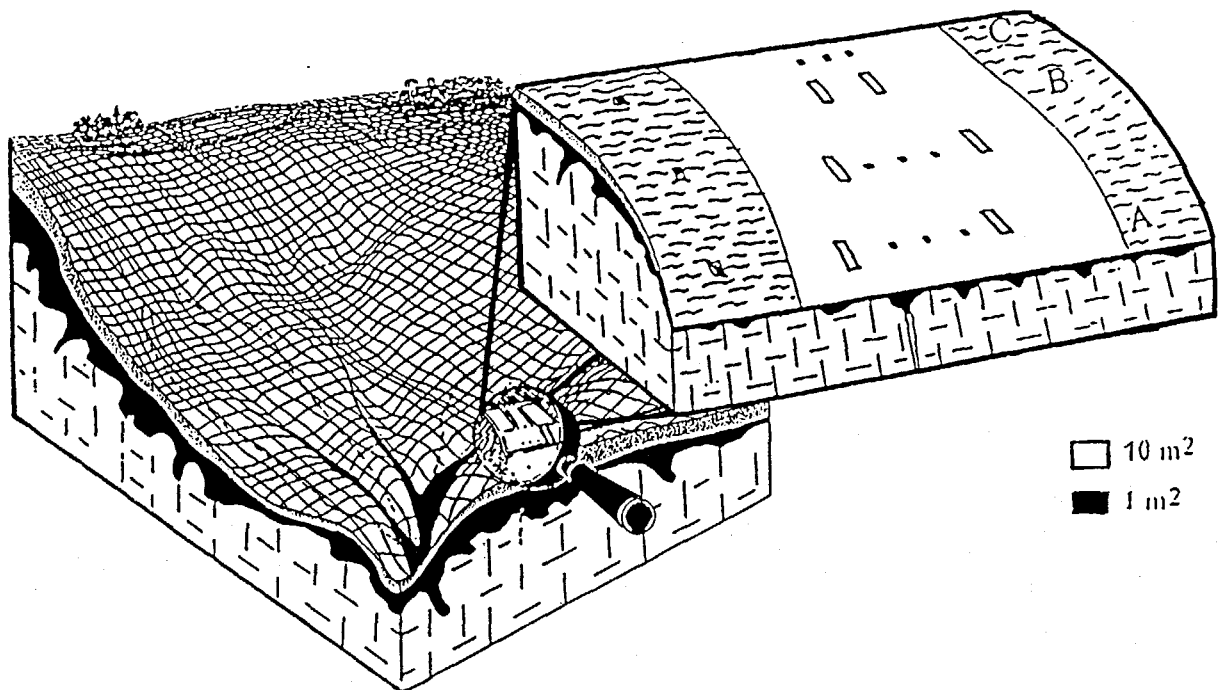


Figure 2. Dispositif d'étude au champ (placettes expérimentales de surface 1 et 10 m²)

plus de 600 mètres. D'amont en aval elle présente une pente de forme convexo-concave bien représentative de la morphologie des versants limoneux de la région. La roche mère est constituée d'argiles rouges issues de la décarbonatation de la craie Turonienne sous-jacente.

3. Dispositif expérimental

le dispositif d'étude est constitué de 9 placettes de mesure (Roose, 1979-1977; Collinet et Valentin, 1979) de surface 1 m², disposées en trois "positions clé" dont les pentes moyennes respectives sont d'amont en aval 2, 4 et 8% (figure 2). Seront également suivies, huit placettes de 10 m² (2 mètres de large sur 5 mètres de longueur) orientées dans le sens de la pente qui est celui du travail du sol et du semi. Les données recueillies seront utilisées uniquement à des fins de discussion. Par ailleurs, un dispositif de suivi tensiométrique et humidimétrique a permis de montrer que l'humidité du sol est identique au niveau des trois positions.

4. Méthodes d'étude

Les méthodes de mesure utilisées se distinguent en deux catégories, selon que l'on effectue des mesures globales ou ponctuelles.

4.1. Méthodes d'étude volumétriques ou globales

Les méthodes volumétriques (Mutchler, 1963; Gregory et Walling, 1973; De Ploey et Gabriels, 1980) permettent de dresser un bilan global du ruissellement et des pertes en terre à la fin d'un ou d'une série d'événements pluvieux naturels. Les volumes ruisselés ainsi que les particules solides transportées sont recueillis dans un récipient dont le contenu est apprécié (Cros-Cayot, 1993).

- Le ruissellement

Les volumes sont évalués sur le terrain à l'aide d'une éprouvette graduée de un litre, d'un seau gradué de trois litres pour les plus gros volumes.

- La charge solide du ruissellement

L'échantillonnage des charges solides se fait sur le terrain à la fin d'un épisode pluvieux. Les échantillons sont prélevés après homogénéisation et remise en suspension des particules solides

sédimentées. La mesure des concentrations en g/l de ces mêmes échantillons est effectuée au laboratoire après séchage à 105°C dans une étuve puis pesée sur une balance électronique de précision 1/100 g.

Les méthodes volumétriques permettent ainsi d'obtenir des valeurs globales fiables sur le ruissellement et sa charge solide. Cependant, elles intègrent l'ensemble des mécanismes de détail qui interviennent au cours d'un épisode pluvieux.

4.2. Méthodes d'étude ponctuelles au champ

La simulation de pluie nous a permis de contrôler l'intensité et la durée de la pluie ainsi que de réaliser des mesures et observations en cours d'événement. Elle nous autorise également à suivre de façon plus précise certains des processus en cause dans l'érosion diffuse (effet de la vitesse du ruissellement).

Le simulateur de pluie utilisé est de type ORSTOM (Valentin, 1978). Le système d'arrosage, constitué d'un gicleur (modèle Teejet SS 6560) monté sur un bras mobile, est placé au sommet d'une tour métallique de forme pyramidale de 3,5 mètres de hauteur. Le gicleur, grâce à un système oscillatoire délivre des intensités de pluie de 10 à 70 mm/h d'énergies cinétiques respectives de 15 et 30 j/mm/m² (Valentin, 1978). Nous avons choisi un protocole de simulation sur le terrain unique afin de mieux comparer les résultats entre eux et éviter la multiplication des variables explicatives. En ce qui concerne les placettes de 1m², le protocole est basé sur la simulation d'une pluie d'imbibition d'intensité constante 30 mm/h pendant une durée de 15 minutes. Ensuite, afin d'étudier l'effet de l'intensité de la pluie sur les variables étudiées, 3 intensités : 10, 30 et 50 mm/h d'une durée de 30 minutes chacune et séparées par un temps de ressuyage égal à 5 minutes, sont appliquées sur chacune des placettes expérimentales. Pour ce qui est des placettes de surface 10 m², la durée et l'intensité de la pluie d'imbibition sont identiques. Cependant, en raison de problèmes méthodologiques inhérents à la conception du simulateur (Chaplot, 1995), seule une pluie d'intensité 30 mm/h d'une durée de 15 minutes a été appliquée.

Les données recueillies au cours des simulations de pluie concernent le ruissellement et sa charge solide.

- Le ruissellement

Les volumes ruisselés sont prélevés en continu à l'aide d'un bêcher gradué et évalués toutes les minutes.

- La charge solide du ruissellement

Les volumes précédemment recueillis sont placés dans des boîtes hermétiques, transportés au laboratoire, séchés à 105°C puis pesés afin de déduire leur concentration en charges solides.

- Hiérarchie et vitesse du ruissellement

Nous avons utilisé la simulation de pluie pour effectuer des observations et mesures concernant la hiérarchie des écoulements et la vitesse du ruissellement (nous ne présenterons ici que les grandes tendances). La hiérarchie des écoulements est estimée visuellement à l'aide de solution colorée de fluorécéine tandis que la vitesse du ruissellement est mesurée à l'aide d'un protocole basé sur des mesures de résistivité électrique de l'eau de ruissellement. Les mesures de la vitesse de la lame d'eau ruisselante sont effectuées lorsque le taux de ruissellement a atteint un palier. Des injections de solution salée au NaCl (45 g/l), teintée de fluorécéine sont effectuées depuis l'aval vers l'amont des placettes expérimentales. Un conductivimètre multigamme dont la sonde est placée à l'exutoire des placettes expérimentales permet de visionner les variations de conductivité électrique de l'eau au cours du temps. D'après Govers (communication orale), c'est à partir du pic de résistivité observé que l'on peut calculer la vitesse moyenne du ruissellement : $V_{moy} (cm) = d (cm) / t (sec)$

RÉSULTATS

1. Taux de ruissellement

Le taux de ruissellement augmente de façon linéaire avec l'inclinaison de la pente (figures 3a, 3b)

- Pluies naturelles

Les résultats présentés sont obtenus à partir de 6 événements pluvieux naturels dont le cumul et l'intensité moyenne de la pluie sont respectivement de 80 mm et 1,6 mm/h (figure 3a).

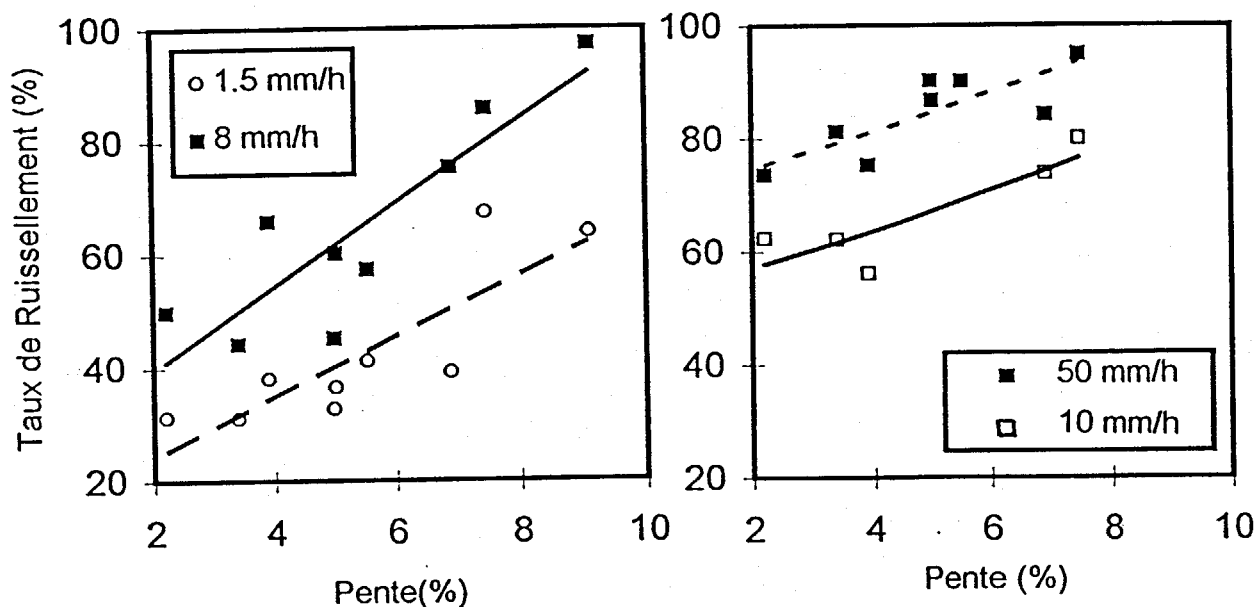


Figure. 3a. Taux de ruissellement en fonction de l'inclinaison de la pente (pluies naturelles)

Figure. 3b. Taux de ruissellement en fonction de l'inclinaison de la pente (pluies simulées)

Dans le détail, cinq de ces événements présentant une intensité moyenne de la pluie comprise entre 1.3 et 1.7 mm/h sont regroupés (l'intensité moyenne de la pluie de ces cinq événements est de 1.5 mm/h). Le sixième événement est caractérisé par un cumul et une intensité moyenne de la pluie égaux respectivement à 20 mm et 8 mm/h.

Les résultats des mesures réalisées en 1995 montrent des valeurs de taux de ruissellement extrêmement fortes : 50 % en moyenne avec des valeurs maximales allant jusqu'à 90 %. Pour des intensité de pente allant de 2 à 8 %, le taux de ruissellement obtenu sous une pluie d'intensité faible (1.5 mm/h) passe de 30 % à 60 % alors que pour une pluie d'intensité plus soutenue (8 mm/h) ce même taux de ruissellement passe de 45 mm/h à 90 mm/h. Ceci correspond dans les deux cas à une infiltration du sol extrêmement faible, comprise entre 0.5 et 4 mm/h. Par ailleurs, le taux d'infiltration du sol croît très significativement d'une part avec la diminution de l'inclinaison de la pente (F value = 18.4), d'autre part avec l'intensité de la pluie (F value = 33.3).

- Pluies simulées

Si l'on examine les résultats obtenus sous pluies simulées, malgré des intensités de pluie sensiblement plus fortes (10 et 50 mm/h), on constate que les tendances précédemment

dégagées sont confirmées. Le taux de ruissellement, compris entre 55 % et 95 %, est positivement corrélé à l'augmentation de l'angle de la pente et de l'intensité de la pluie (figure 3b).

2. Charge solide du ruissellement

La charge solide du ruissellement est indépendante de l'inclinaison de la pente (figures 4a,b).

- Pluies naturelles

Les résultats des mesures de charge solide du ruissellement réalisées pour les mêmes événements naturels indiquent des valeurs d'une part, relativement élevées (comprisent entre 2.5 et 9 g/l), et d'autre part, indépendantes de l'inclinaison de la pente (figure 4a) puisque $F \text{ value} = 0.39$.

L'effet de l'intensité de la pluie est quant à lui significatif. En effet, les échantillons obtenus par ruissellement sous une pluie modérée (8 mm/h) présentent des concentrations en particules solides proches de 6 à 9 g/l alors qu'elles avoisinent 3 g/l pour des intensités de pluie faibles (1.5 mm/h) (figure 4a).

- Pluies simulées

Une relation directe entre d'une part, charge solide du ruissellement et d'autre part, inclinaison de la pente et intensité de la pluie n'est pas clairement définie. Les valeurs de charge solide du ruissellement évaluées aux diverses intensités de pluie et de pente étudiées (10, 30 et 50 mm/h - 2, 4, 8 %) sont du même ordre de grandeur puisqu'elles sont comprises entre 2 et 6 g/l (figure 4b). Par ailleurs, quand il s'agit de comparer ces valeurs à celles obtenues sous pluies naturelles, on observe à intensité de pluie similaire, une nette sous estimation par le moyen de la simulation de pluie.

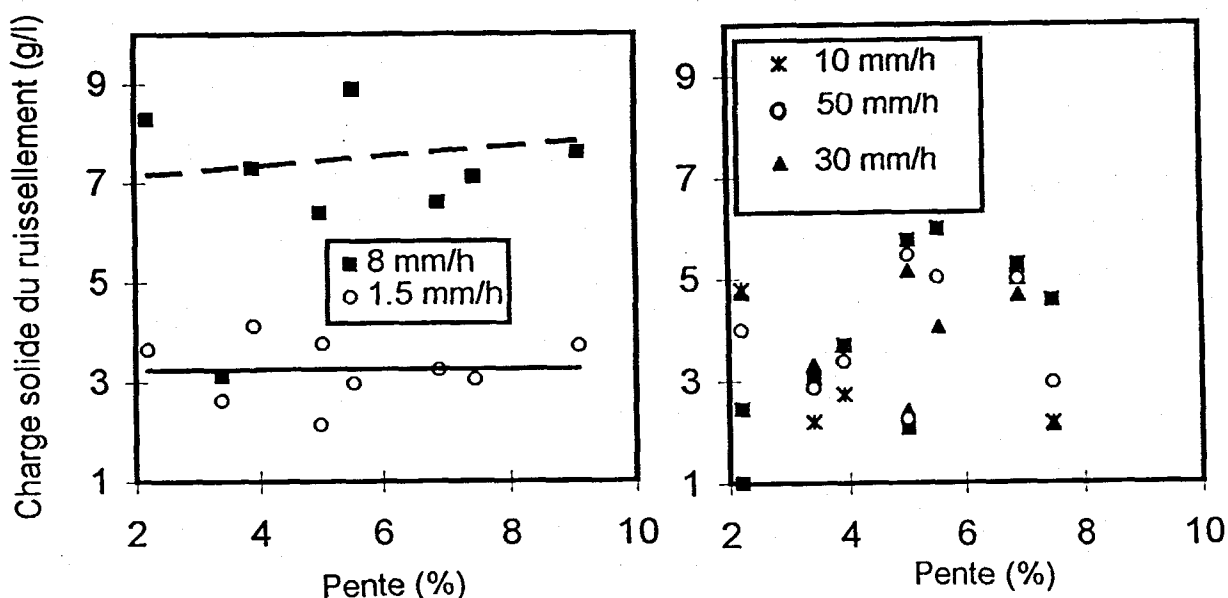


Figure. 4a. Charge solide du ruissellement en fonction de l'inclinaison de la pente (pluies naturelles)

Figure.4b. Charge solide du ruissellement en fonction de l'inclinaison de la pente (pluies simulées)

3. Pertes en terre

Les pertes en terre augmentent très significativement et de façon linéaire avec l'angle de la pente.

- Pluies naturelles

Le produit du volume ruisselé par la charge solide de ce ruissellement permet d'évaluer les départs de terre (Tonne/Ha/Heure). A l'échelle du m² les pertes en terre atteignent une valeur de 0.6 T/Ha/Heure pour l'événement le plus érosif (intensité moyenne de la pluie = 8 mm/h) (figures 4a). Si l'on examine maintenant les pertes en terre mesurées pour l'ensemble des événements les moins intenses (intensités moyennes des pluies voisine de 1.5 mm/h), on constate des départs de terre beaucoup moins intenses (0.02 T/Ha/Heure en moyenne).

Compte tenu des résultats ci-avant présentés, une estimation des exportations globales de terre à l'échelle du mètre carré entre les mois de Décembre à Mars (cumul des pluies égal à 350 mm), avoisine les 4 T/Ha.

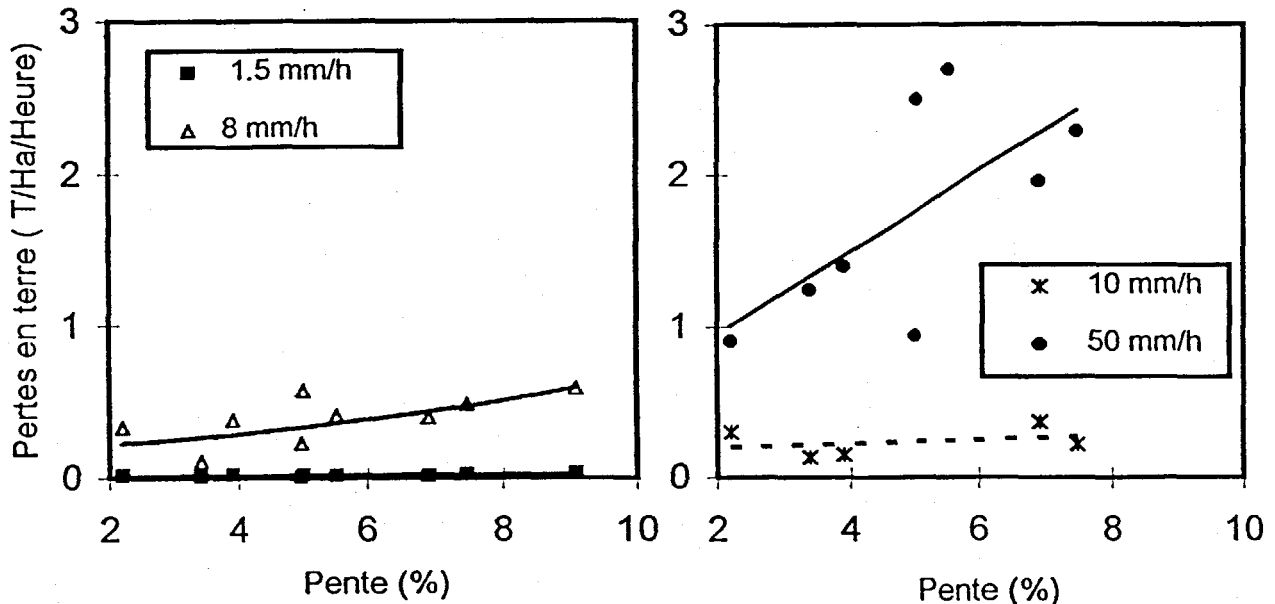


Figure. 5a. Pertes en terre (T/Ha/Heure) en fonction de l'inclinaison de la pente (pluies naturelles)

Figure. 5b. Pertes en terre (T/Ha/Heure) en fonction de l'inclinaison de la pente (pluies simulées)

- Pluies simulées

Les données recueillies par le moyen de la simulation de pluie, pour des intensités de pluie sensiblement plus fortes (10 et 50 mm/h), sont considérables (valeur maximale : 2.7 T/Ha/Heure). De 0.2 à 0.35 T/Ha/Heure lorsque l'intensité de la pluie est de 10 mm/h, les valeurs obtenues passent de 1 à 2.7 T/Ha/Heure pour 50 mm/h (figure 5b).

DISCUSSION

1. Pertes en terre

Les résultats obtenus tant sous pluies naturelles (figure 5a) que simulées (figure 5b) sont globalement concordants. Les graphiques des figures 5a et 5b présentent une répartition linéaire de points. Aux intensités de pluie les plus élevées (8, 50 mm/h), l'érosion par la pluie augmente significativement lorsque l'angle de la pente passe de 2 à 8 %. Cette tendance obtenue à l'échelle du mètre carré va dans le sens des résultats obtenus, dans des conditions similaires, par de nombreux auteurs (Wischmeier et al. 1958; Lal, 1976; Loch, 1984; Mah et

al., 1992; Kinnel 1990-1993; Mah et al. 1992; Bryan, 1989; Guy et al., 1987; Poesen, 1984 ; Huang, 1995).

Les auteurs attribuent une telle relation (i) à la nature du sol, (ii) à la vitesse du ruissellement, (iii) aux caractéristiques des pluies et de la croûte de surface .

Les processus en cause dans l'augmentation des pertes en terre sont maintenant discutés.

2. Ruissellement

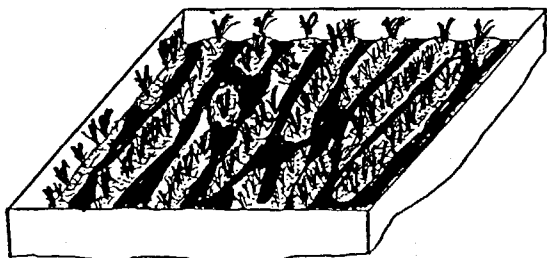


Figure. 6. Etat de surface: placette de 1m²
(croûte sédimentaire : zones sombres
croûte structurale : zones claires)

de blé distants de 12 cm (figure 6). Ces zones plus perméables, où la croûte de surface est de surcroît "percée" par les collets de blé, sont susceptibles d'expliquer la diminution du taux de ruissellement lorsque, à la faveur de pentes douces, l'épaisseur de la lame d'eau augmente (Ferrera and Singer, 1985).

les résultats obtenus sous pluies naturelles et simulées indiquent que le taux de ruissellement augmente significativement avec l'augmentation de l'angle de la pente (figure 4 a, b). Ceci va dans le sens des observations de De ploey et al. (1976) Sharma et al. (1983); Djorovic (1980). A la lumière des résultats de notre étude, les hypothèses susceptibles d'expliquer les tendances observées seraient (i) une baisse de la charge hydraulique à la surface du sol, (ii) une diminution de la surface d'inondation de la croûte de surface ainsi que de zones plus perméables. En effet, nous avons observé la présence de zones moins battues (Boiffin, 1984) et biologiquement plus actives localisées en "relief" au niveau des rangs

3. Charge solide du ruissellement

Les valeurs de charge solide du ruissellement évaluées tant sous pluies naturelles que simulées sont indépendantes de l'angle de la pente (figures 4a, 4b). Cependant, de nombreux auteurs tels Palmer (1964) et Moss et Green (1983) indiquent que le détachement des particules solides par la pluie décroît aux intensités de pente les plus douces en raison d'un épaissement de la lame d'eau ruisselante. Celle-ci agit en protégeant le sol de l'impact des gouttes de pluie (Ferrera and Singer, 1985; Kinnell, 1990). D'autres (Gerits, 1990) indiquent que la diminution de l'angle que font le trajet des gouttes et la surface du sol est rendue responsable de l'accentuation des valeurs de la charge solide du ruissellement. Enfin, Dillaha et Beasley (1983), Walker et al. (1977), Moss et al. (1978), Singer et al. (1981), Gilley et al. (1985), Kinnel (1990), Huang (1995) attribuent au laboratoire, cette même augmentation à une accélération du ruissellement combinée à l'impact des gouttes de pluie.

Des données quant à la vitesse de la lame d'eau ruisselante (non présentées) recueillies aux diverses intensités de pente étudiées sous pluies simulées (placettes de 1 et 10 m²), indiquent que sur une distance de 1 mètre, les valeurs sont similaires et relativement faible (< 5cm/s). Ces valeurs sont inférieures à un seuil critique permettant un transport accru des particules solides (Chaplot, 1995) et l'effet de l'angle de la pente est masqué.

CONCLUSION

Les données obtenues au cours de cette étude nous permettent d'une part, de mieux cerner la relation pouvant exister au champ, à l'échelle de 1 m², entre pertes en terre et

inclinaison de la pente. Les pertes en terre s'accroissent de façon linéaire avec l'inclinaison de la pente. Cette hausse est à mettre à l'actif d'une accentuation du taux de ruissellement causée par l'enneigement d'une surface de sol moindre et également moins perméable (Boiffin, 1984). En ce qui concerne la charge solide du ruissellement, les valeurs obtenues sont constantes aux différentes intensités de pente étudiées. Ceci a été attribué à une invariance des vitesses de la lame d'eau ruisselante qui sur une distance de 1 mètre se sont révélées peu différenciées, inférieures à un seuil critique lui permettant un transport accru des particules solides. Ces résultats mettent ainsi en évidence une sous-estimation des charges solides du ruissellement mesurées sur des placettes expérimentales de surface 1 m². De telles surfaces ou échelles d'observation paraissent cependant convenir dans l'estimation des taux de ruissellement. D'autre part, les résultats apportent des éléments de discussion sur la validité des valeurs obtenues sous pluie simulée. L'estimation du taux de ruissellement par cette technique expérimentale reflète les valeurs recueillies sous pluie naturelle. Par contre, en ce qui concerne la charge solide de ce ruissellement, l'étude a révélé une nette sous-estimation des valeurs.

Remerciements : Les auteurs souhaitent exprimer leur gratitude envers l'ensemble du personnel INRA-SESCPF d'Orléans. Leurs remerciements vont tout particulièrement à messieurs :

- B. RENAUX pour ses précieux conseils et son active participation aux diverses campagnes de terrain..

- M. SARAZIN, A. LINDOR pour leur contribution lors des simulations de pluie.

RÉFÉRENCES

- BRYAN, R.B., and POESEN, J., 1989 - Laboratory experiments on the influence of slope length on runoff, percolation, and rill development. *Earth Surface Processes and Landforms*, 14 : 211-231.
- BRYAN, R.B., 1989 - The influence of slope angle on soil entrainment by sheetwash and rainsplash. *Earth Surface Processes and Landforms*, 4 : 43-58.
- BOIFFIN, A., 1984 - La dégradation structurale des couches de surface du sol sous l'action des pluies. Thèse Docteur ingénieur INAPG.
- COLLINET, J. et VALENTIN, C., 1979 - Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. *Cah. O.R.S.T.O.M., Ser. Pédol., Vol. XV*, 4 : 283-328
- CHAPLOT V., 1995 - Processus et déterminisme de l'érosion diffuse à différentes échelles spatiales. DEA, Geoscience, Nancy 1.
- CROS-CAYOT, S., 1993 - Genèse du ruissellement à l'échelle de la parcelle agricole. DEA, Geoscience, Nancy 1.
- DE PLOEY, J., SAVAT, J. And MOEYERSONS, J., 1976 - The differential impact of some soil loss factors on flow, runoff creep and rainwash. *Earth Surface Processes*, 1 : 151-161.
- DE PLOEY, J. And GABRIELS D., 1980 - Measuring soil loss and experimental studies. In : Kirkby M. J. And Morgan R.P.C. (Editors), *Soil erosion*, 63-108.
- DILLAHA, T.A. and BEASLEY, R.B., 1983 - Distributed parameter modelling of sediment movement and particule size distribution. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.*, 26 : 1766-1772, 1777.
- DJOROVIC, M., 1980 - Slope effect on runoff and erosion. In : De Boodt M. And Gabriels D. (Editors), *Assesment of erosion*, 215-225.
- FERRERA, A.G., and SINGER, M.J., 1985 - Energy dissipation for water drop impact into shallow pools. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49 : 1537-1542.

- GILLEY, J.E., WOOLHISER, D.A. and MC-WHORTER, D.B., 1985 - Interrill soil erosion- Part II: Testing and use of model equations. *Trans.American.Soc.Agric.Eng.*, 28:154-159.
- GREGORY, K.J. and WALLING, D.E., 1973 - Drainage basin form and process. In : Kirkby M.J.(Editor), *Soil erosion*.
- GUERITS, J., and DE LIMA J., 1990 - Overland flow and erosion. *Process Studies in Hillslope Hydrology*. Anderson M. and Burt T. Editions, John Wiley and Sons Ltd., 173-214.
- GUERITS, J., 1990 - Wind action in relation to overland flow and water erosion. *Catena suplement*, 17 : 67-78.
- HUANG, C., 1995 - Empirical analysis of slope and runoff for sediment delivery from interrill areas. *Soil Sci.Soc.Am.J.*, 59 : 982-990.
- KINNEL, P.I.A., and CUMMINGS, D., 1993 - Soil/slope gradient interactions in erosion by rain impacted flow. *Trans ASAE* , 36 : 381-387.
- KINNEL, P.I.A., 1990 - Modelling erosion by rain-impacted flow. *Catena suplement*. Cremlingen., 17:55-66.
- LAL, R., 1976 - Soil erosion of Alfisols in western Nigeria.I. Effects of slope, crop rotation and residue management. *Geoderma*, 16 : 363-375.
- LOCH, R.J., 1984 - Field rainfall simulator studies on two clay soils of the Darling Downs, Queensland.III. An evaluation of current methods for deriving soil erodibilities (K factors). *Aust.J.Soil Res.*, 22 : 401-412.
- MAH, M.G.C., DOUGLAS, L.A. and RINGROSE-VOASE, A.J., 1992 - Effects of crust development and surface slope on erosion by rainfall. *Soil Science.*, 154 : 37-43.
- MEYER, L.D., and ARMON, W.C., 1989 - How row sideslope length and steepness affect sideslope erosion. *Trans ASAE.*, 32 : 639-644.
- MOSS, A.J., and GREEN P., 1983 - Movement of solids in air and water by rain drop impact. Effects of drop-size and water-depth variations. *Aust. J. Soil Res.*, 21 : 257-269.
- MOSS, A.J., WALKER, P.H. and HUTKA, J., 1978 - Raindrop-timulated transportation in shallow water flows: an experiment study. *Sedt. Geology.*, 22 : 165-184.
- MUTCHLER, C., 1963 - Runoff plot ddesign and installation for soil erosion studies. *Agricultural research service report*, 78-81.
- PALMER, R., 1964 - The influence of a thin water layer on waterdrop impact forces. *Int. Assoc. Scient. Hydrol. Publ.*, 65 : 141-148.
- POESEN, J., 1984 - The influence of slope angle on infiltration rate and orntonian overland flow volume. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd.*, 49 : 117-131.
- ROOSE, E., 1979 - Dynamique actuelle d'un sol ferralitique très désaturé du sud de la côte d'Ivoire. *Cah. O.R.S.T.O.M.*, Ser. Pédol., Vol. XVII, 4 ; 259-181
- ROOSE, E., 1977 - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. *Doc. O.R.S.T.O.M.*, Paris, no 78 : 108p
- SHARMA, K., SINGH, H., and PAREEK, O., 1983 - Rain water infiltration into a bar loamy sand. *Hydrological Sciences Journal*, 28 : 417-424.
- SINGER, M.J., WALKER, P.H., HUTKA, J. And GREEN, P., 1981 - Soil erosion under simulated rainfall and runoff at varying cover levels. *Div. Of Soils Div. Rep.*, 55,
- SLATTERY M.,and BRYAN, R. B., 1992 - Hydrolic condition for rill incision under simulated rainfall : a laboratory experiment. *Earth surface processes and landforms*, 17 : 127-146.
- VALENTIN, C., 1978 - Problèmes méthodologiques de la simulation de pluie: colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen, Strasbourg.
- WALKER, P.H., HUTKA, J., MOSS, A.J., and KINNEL, P.I.A., 1977. Se of a versatile experimental system for soil erosion sudies. *Soil Sci.Soc.Amer.J.*, 41 : 610-612.
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D., and UHLAND, R.E., 1958 - Evaluation factors in the sol-loss equation. *Agric.Eng.*, 39:458-462.