

# Contrôle du ruissellement, de l'érosion et des pertes de phosphore par les résidus de culture, sous pluie simulée

Nadoum Koro\*, Claude Bernard\*\* et Marc R. Laverdière\*\*\*

\* : Direction des Forêts et de la Protection de l'environnement, Service du Reboisement et de la Conservation des sols, B.P. 447, N'Djamena, Tchad

\*\* : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Service des Sols 2700 rue Einstein, Sainte-Foy (QC), Canada, G1P 3W8

\*\*\* : Université Laval, Département des Sols Sainte-Foy (QC), Canada, G1K 7P4

## RÉSUMÉ

Cette étude visait à évaluer, pour deux sols à texture contrastée, l'effet de quatre niveaux de résidus de culture (0, 500, 1 000 et 2 000 kg ha<sup>-1</sup>) sur le ruissellement, l'érosion et la perte de phosphore par ruissellement superficiel. Trois pluies artificielles, de même intensité, ont été appliquées aux 24 unités expérimentales, permettant de réaliser les mesures sous trois niveaux croissants d'humidité initiale du sol. Le volume d'eau ruisselée et les pertes de sol ont augmenté avec la séquence des pluies, mais diminué avec l'augmentation de la quantité de résidus laissés à la surface. La présence de quantités croissantes de résidus s'est traduite par une réduction des pertes de phosphore total, mais aussi par une augmentation des pertes de phosphore dissous, si bien que la réduction des pertes de phosphore biodisponible n'a atteint que 60 à 70 % de celles de phosphore total. Cette étude tend donc à démontrer que le maintien de résidus à la surface du sol est très efficace pour le contrôle de l'érosion. Le gain environnemental escomptable de cette pratique, en termes de réduction des pertes de phosphore total et biodisponible, est réel mais moins important que la réduction de la perte de sol.

## Mots clés

Résidus de culture, pluie simulée, érosion hydrique, phosphore.

## SUMMARY

### CONTROL OF RUNOFF, SOIL AND PHOSPHORUS LOSSES BY CROP RESIDUES, UNDER SIMULATED RAINFALL

*This study was initiated to investigate the impact of four straw mulch rates (0, 500, 1000 and 2000 kg ha<sup>-1</sup>) left at the soil surface on runoff, soil erosion and phosphorus losses. A Beaurivage sandy loam and a Neuboiss silty-clay loam were used. Three one-hour simulated rainfalls were applied in sequence to the 24 experimental units, with an intensity of 65 mm h<sup>-1</sup>. This way, the influence of initial soil moisture (dry, field capacity and saturation) could also be assessed. For the two soils, runoff volumes, soil and total phosphorus losses increased from the first to the third rain but decreased with growing amounts of residues (figures 2-3; table 3). The losses of soluble phosphorus followed the opposite trend, decreasing from the first to the last rain but increasing with the residue levels (table 3). The concentration of the suspended sediments in total and available phosphorus, when compared to that of the original soils, was generally increased through the erosive process (tables 1 and 3). With 2000 kg ha<sup>-1</sup> of residues, the soil loss reduction reached 87 % for the two soils (figure 3), while the total phosphorus losses were reduced by 54 and 68 % for the Beaurivage and the Neuboiss soils respectively (table 3). The soluble phosphorus losses increased by 22 and 48 % for the same two soils, resulting in reductions of bioavailable phosphorus.*

phorus losses limited to 37 and 48 % respectively (table 3). Our study suggests that leaving residues at or near the soil surface, as performed by conservation tillage practices, is more efficient to control runoff and soil erosion than to reduce total and bioavailable phosphorus losses. Actually, the proportion of total phosphorus lost under bioavailable forms may be increased. Such findings confirm those already reported for other soil types.

#### Key-words

Crop residues, simulated rainfall, water erosion, phosphorus.

#### RESUMEN

#### CONTROL DEL ESCURRIMIENTO, DE LA EROSIÓN Y DE LAS PERDIDAS EN FÓSFORO POR LOS RESIDUOS DE CULTIVOS, BAJO ILUVIA SIMULADA

Este estudio quiere evaluar, por dos suelos con textura contrastada, el efecto de cuatro niveles de residuos de cultivos (1, 500, 1 000 y 2 000 kg.ha<sup>-1</sup>) sobre el escurrimiento, la erosión y la pérdida en fósforo por escurrimiento superficial. Tres iluvias artificiales, con misma intensidad, fueron aplicadas a las 24 unidades experimentales, lo que permitió realizar las medidas bajo tres niveles crecientes de humedad inicial del suelo. El volumen de agua que escurrió y las pérdidas de suelo aumentaron con la secuencia de lluvias, pero disminuyeron con el aumento de la cantidad de residuos quedados en superficie. La presencia de cantidades crecientes se tradujo por una reducción de las pérdidas de fósforo total, pero también con un aumento de las pérdidas de fósforo soluble, tan bien que la reducción de las pérdidas de fósforo biodisponible alcanzó solamente 60 a 70 % de las del fósforo total. Este estudio lleva a demostrar que la presencia de residuos en superficie del suelo es muy eficaz para el control de la erosión. El beneficio ambiental esperado de esta práctica, en términos de reducción de las pérdidas de fósforo total y biodisponible, es real pero menos importante que la reducción de la pérdida de suelo.

#### Palabras claves

Residuos de cultivo, lluvia simulada, erosión hídrica, fósforo.

L'erosion hydrique constitue un problème environnemental important dans de nombreux pays, dans la mesure où ce phénomène contribue non seulement à réduire la productivité des sols mais aussi à polluer les eaux de surface. Une étude américaine (Clark et al., 1985) conclue en effet que les coûts environnementaux de l'érosion des sols sont du même ordre de grandeur que les coûts agronomiques (perte de productivité des sols).

Au Québec, des mesures faites en parcelles ont révélé des taux annuels d'érosion inférieurs à 0,5 t.ha<sup>-1</sup> sous un couvert herbacé permanent, de 0,5 à 17 t.ha<sup>-1</sup> sous culture de céréales ou de maïs et de 6 à 13 t.ha<sup>-1</sup> pour des sols soumis à la culture de pomme de terre (Pesant et al., 1987; Dubé, 1975). Des estimations faites à l'échelle du champ, à l'aide du Cs-137, ont permis de conclure à des taux moyens d'érosion à long terme de 3 t.ha<sup>-1</sup> sous régie laitière et de 11 t.ha<sup>-1</sup> en production légumière (Bernard et Laverdière, 1992). Aux États-Unis, plusieurs régions agricoles sont touchées par cette forme de dégradation. En 1987, on estimait ainsi le taux annuel moyen d'érosion à 8,5 t.ha<sup>-1</sup> pour l'ensemble du pays, à 12,3 t.ha<sup>-1</sup> pour les états du Corn Belt et à 15,9 t.ha<sup>-1</sup> dans les états du sud-est (George et Choate, 1989). La perte de sol par érosion hydrique est également considérée comme un problème important dans

plusieurs régions du continent africain (El-Hassanin et al., 1993; König, 1993; ISABU, 1984; Roose, 1977).

Les façons culturales réduites ont été développées d'abord pour apporter une solution aux problèmes de dégradation des sols. Cependant, en raison des liens étroits qui existent entre la dégradation du sol et de l'eau, l'utilisation de ces techniques devrait se traduire par une réduction des charges polluantes diffuses provenant des superficies cultivées. Les façons culturales réduites se distinguent des façons traditionnelles par un travail du sol moins intensif et plus superficiel, permettant ainsi le maintien d'une partie des résidus de récolte à la surface du sol. A court terme, ces résidus protègent le sol en absorbant l'énergie cinétique des gouttes de pluie, en ralentissant la formation de croûte de battance et en réduisant la vitesse d'écoulement de l'eau. A plus long terme, ils contribuent au maintien de la teneur en carbone organique, de la stabilité structurale et de la perméabilité du sol. (Griffith et al., 1986). Des études ont par contre démontré que le recours à ces façons réduites se traduit fréquemment par un enrichissement des érodats en fractions fines et en phosphore, en comparaison du sol en place d'où ils proviennent. De plus, si les charges en P particulaire sont réduites celles en P dissous peuvent augmenter (Sharpley et Halvorson, 1994). Le bilan

environnemental réel des façons culturales réduites demande donc encore à être précisé.

L'objectif de cette étude est donc de mesurer, en cases lysimétriques et sous pluie simulée, l'effet protecteur à court terme de doses croissantes de résidus de culture laissés à la surface du sol sur le ruissellement, l'érosion et la perte de diverses formes de phosphore.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Un limon sableux de la série Beurivage et un limon argileux fin de la série Neubois, présentant des textures ainsi que des propriétés physico-chimiques contrastées (tableau 1), ont été utilisés pour cette étude. Le matériel expérimental fut prélevé au champ, aux profondeurs 0-20 et 20-40 cm. Les échantillons furent ensuite placés dans des cases lysimétriques de 90 cm de longueur, 30 cm de largeur et 40 cm de profondeur, en respectant l'ordre et la masse volumique apparente initiale des deux horizons (figure 1). Pour réduire les effets de cette perturbation, les sols furent humectés et laissés au repos pendant quelques semaines avant le début des essais. Après avoir incliné les cases de façon à ce que la surface du sol présente une pente de 5 %, des pailles d'orge, hachées à 10 cm de longueur, furent appliquées en quatre doses (0, 500, 1000, 2000 kg ha<sup>-1</sup>), permettant un recouvrement de la surface du sol de 0, 37, 48 et 81 % respectivement. Vingt-quatre cases (2 sols, 4 doses de pailles, 3 répétitions), constituant les unités expérimentales, ont ainsi été préparées et disposées en six blocs de quatre cases, chaque bloc présentant un type unique de sol et une répétition complète des quatre doses de paille. Le dispositif utilisé consistait donc en un factoriel en split-split-plot, où les sols figuraient en parcelles principales, les niveaux de résidus de culture en sous-parcelles et les pluies en sous-sous parcelles, respectivement.

Pour générer les conditions érosives désirées, un simulateur de pluie, de type GRS II (Tossel et al., 1987) fut utilisé. L'appareil permettait d'arroser un bloc complet de quatre cases, avec un coefficient d'uniformité de plus de 85 %. Trois pluies, d'une intensité de 65 mm h<sup>-1</sup> et d'une durée d'une heure ont été appliquées selon la séquence suivante : la pluie 2 était initiée 24 heures après la fin de la première et la troisième une heure après la fin de la seconde. Cette séquence a permis d'étudier le comportement des sols sous trois niveaux croissants d'humidité au moment du début de la pluie.

A la fin de chaque pluie, le volume d'eau ruisselée était mesuré. Après agitation de la suspension, un aliquote de 500 ml était prélevé et conservé à 4°C. Le reste de la suspension était séché, à 45°C, afin de récupérer les sédiments érodés. L'aliquote était filtré sur papier filtre d'une porosité de 0,45 mm. Le filtre était ensuite séché 24 heures à 105°C et pesé. L'analyse granulométrique des sols des parcelles et des

sédiments érodés a été faite selon la méthode de l'hydromètre (Gee et Bauder, 1986) et la teneur en carbone organique déterminée par oxydation humide (Nelson et Sommers, 1982). Les formes suivantes de phosphore ont été déterminées :

a) ortho-phosphates dans le filtrat (PS), selon la méthode de Murphy et Riley (1962).

b) phosphore total des sols et des érodats (PPT), selon la méthode de Olsen et Sommers (1982), après digestion acide.

c) phosphore assimilable des sols et des érodats (PMEH), selon la méthode de Mehlich III (Mehlich, 1984). Cet extractif acide (0,2N CH<sub>3</sub>COOH + 0,25N NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> + 0,015N NH<sub>4</sub>F

**Tableau 1** - Quelques propriétés physiques et chimiques des sols étudiés.

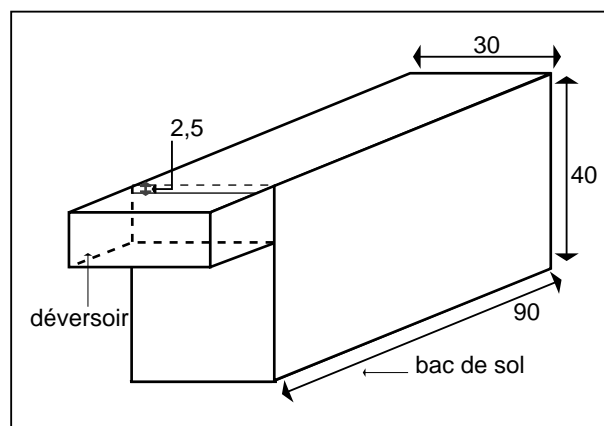
**Table 1** - Some physical and chemical properties of the studied

Propriété	Limon sableux Beurivage	Limon argileux fin Neubois
Sable (%)	68 (2,3)*	9 (1,9)
Limon (%)	19 (2,3)	61 (1,4)
Argile (%)	13 (1,5)	30 (0,9)
C organ. (%)	1,41 (0,03)	2,30 (0,03)
P total (ug g <sup>-1</sup> )	240 (2,2)	398 (4,3)
P disponible (ug g <sup>-1</sup> )	71 (3,7)	126 (3,3)

\* Moyenne (Écart-type)

**Figure 1** - Cases lysimétriques utilisées pour l'étude (mesures en cm).

**Figure 1** - Lysimetric boxes used in this study (measures in cm).



+ 0,013N HNO<sub>3</sub> + 0,001M EDTA ; pH 2,3) présente l'avantage d'extraire à la fois les bases échangeables, le phosphore assimilable et les oligo-éléments. Pour les sols du Québec, cette technique est très étroitement corrélée avec celle de Bray II ( $r = 0,95$ ) et extrait, en moyenne, 79 % du P obtenu avec la seconde (Tran *et al.*, 1990).

d) phosphore non disponible (PNMEH), comme la différence entre PPT et PMEHL ;

e) phosphore biodisponible (PBIO), comme la somme de PS et de PMEHL ;

f) phosphore total (PT), i.e. la somme de PS et de PPT.

L'analyse de variance a été réalisée avec le progiciel SAS (SAS Institute Inc., 1985). Aucune transformation des données n'a été nécessaire, les résultats démontrant une homogénéité de variance.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Caractérisation des sols

Les propriétés physico-chimiques des sols étudiés apparaissent au *tableau 1*. Dans l'ensemble les coefficients de variation pour ces paramètres sont faibles. Le sol Neuboiss présente des teneurs en carbone organique, en P total ainsi qu'en P disponible significativement supérieures à celles du sol Beurivage.

### Volumes d'eau ruisselée

Le *tableau 2* indique que les trois paramètres expérimentaux (sol, quantité de résidus et séquence de pluies) ont une influence statistiquement significative sur le volume d'eau ruisselée, comme sur tous les autres paramètres mesurés. Le limon argileux fin Neuboiss ruisselle un peu plus que le limon sableux Beurivage. Cette différence est peu importante, bien que statistiquement significative.

Le volume d'eau ruisselée augmente graduellement avec le nombre de pluies simulées, et ce pour les deux sols (*figure 2*). Cette augmentation est le résultat d'une humidité initiale du sol qui croît de la première à la troisième pluie. La capacité d'infiltration du sol est ainsi diminuée, ce qui favorise l'augmentation du ruissellement.

Pour les deux sols et les trois pluies, le volume d'eau ruisselée diminue avec l'augmentation de la quantité de résidus à la surface. Avec 500 kg ha<sup>-1</sup>, la réduction moyenne du ruissellement n'est que de 7 % pour les deux sols. Ce résultat diffère de ceux présentés dans d'autres auteurs. Leurs études, elles aussi conduites sous pluie simulée, en parcelles de quelques mètres carré, mais sur sol non remanié, suggèrent qu'un pourcentage de couverture du sol supérieur à 30 % réduit de beaucoup le ruissellement (McGregor *et al.*, 1988 ; Mostaghimi *et al.*, 1988 ; Gilley *et al.*, 1986 ; Meyer *et*

*al.*, 1970). Divers facteurs pourraient cependant expliquer cette situation : différence de texture des sols, du degré de tassement de la surface au moment des pluies, etc. Pour les deux sols, la réduction moyenne du ruissellement est d'un peu plus de 30 et 50 % avec 1000 et 2000 kg ha<sup>-1</sup> de résidus respectivement. Ces résultats se comparent à ceux publiés par Mostaghimi *et al.* (1988) qui rapportent une réduction du ruissellement de 49 % avec l'application de 1500 kg ha<sup>-1</sup> de résidus.

La diminution du volume de ruissellement associée à la présence de résidus pourrait être attribuée à l'augmentation à la fois de l'infiltration et de la capacité de rétention superficielle des sols. Les résidus laissés en surface protègent en effet les sols contre l'impact des gouttes de pluie, limitant l'apparition de croûte de battance. Ceci contribue donc à maintenir, ou du moins à limiter la réduction de la capacité d'infiltration du sol. De plus, les résidus augmentent la rugosité de la surface et créent des obstacles, retenant ainsi l'eau jusqu'à ce qu'elle s'infilte dans le sol.

### Pertes de sol

Les pertes moyennes de sol, au cours d'une pluie, sont en moyenne 1,6 fois plus élevées pour le sol Neuboiss que pour le sol Beurivage, variant de 5 à 183 g m<sup>-2</sup> et de 10 à 262 g m<sup>-2</sup> pour ces deux sols respectivement (*figure 3*). Ces résultats sont cohérents avec les différences observées au niveau de la granulométrie : le sol Neuboiss contient 61 % de limon et le sol Beurivage, 68 % de sable. L'érodabilité du sol Neuboiss est

**Tableau 2** - Sommaire des effets des facteurs expérimentaux sur les paramètres mesurés.

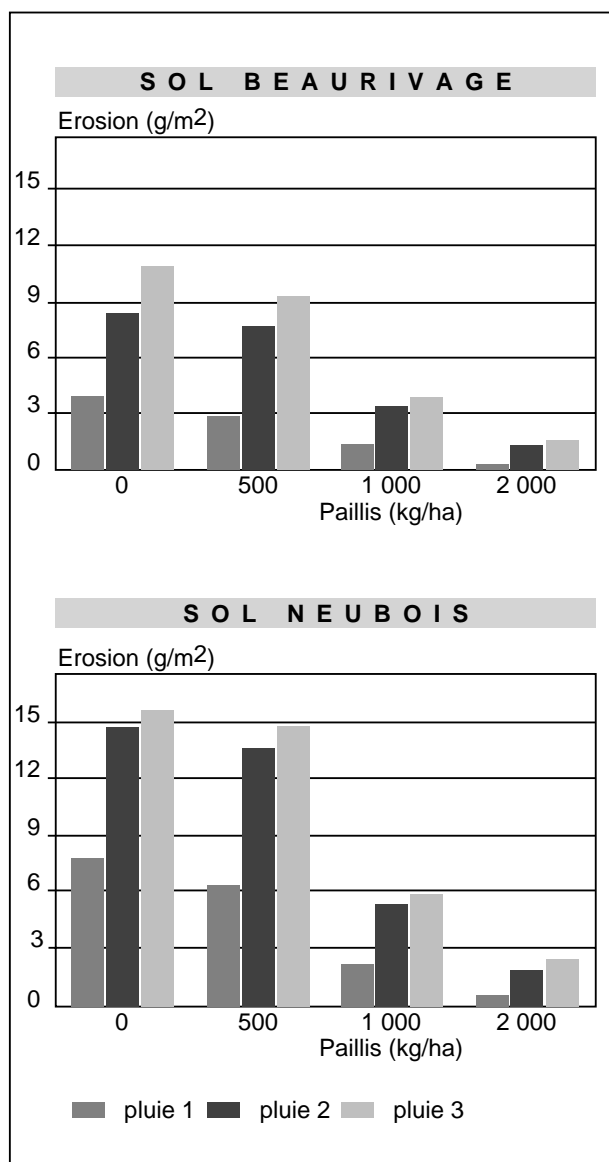
*Table 2* - Summary of the effects of the experimental factors on the measured parameters.

Paramètres mesurés	Facteurs expérimentaux		
	Sols (1)	Résidus	Pluies
Volume ruisselé	*	***	***
Perte de sol	*	***	***
Perte de P partic. total	***	***	***
Perte de P partic. Mehlich	**	***	***
Perte de P soluble total	***	***	***
Enrichissement des MES en P partic. total	**	**	***
Enrichissement des MES en P partic. Mehlich	**	***	***

(1) : \*\* significatif au seuil de 0,05 ; \* significatif au seuil de 0,01 ; \*\*\* significatif au seuil de 0,001

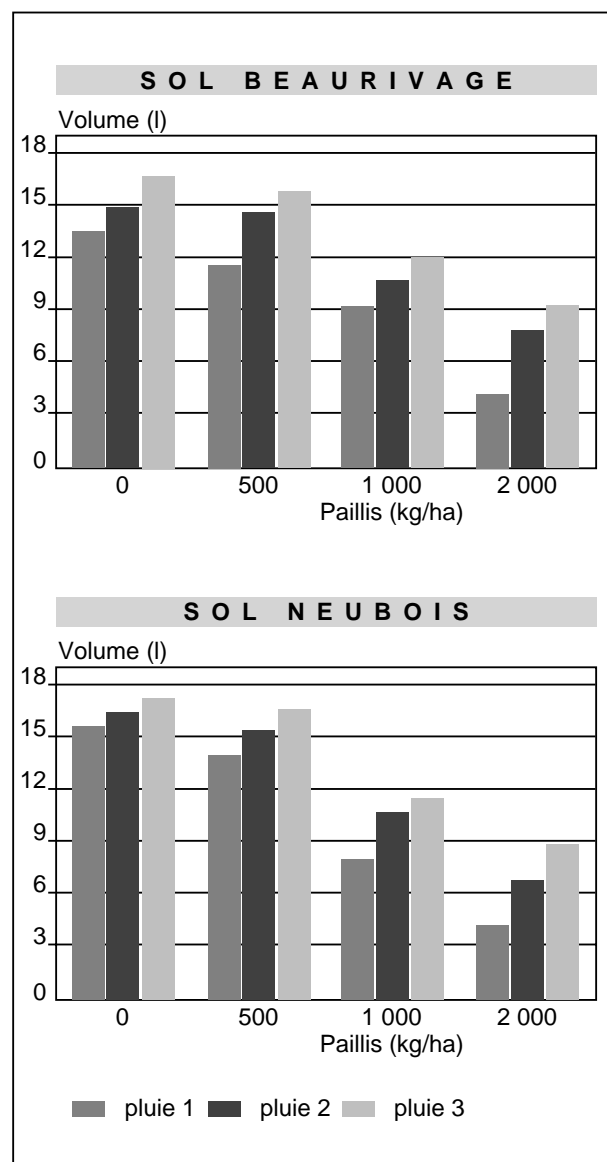
**Figure 2** - Variation du ruissellement suivant la quantité de paillis et la séquence des pluies.

**Figure 2** - Effect of the amount of residues and the rainfall sequence on run off.



**Figure 3** - Variation de la perte de sol suivant la quantité de paillis et la séquence des pluies.

**Figure 3** - Effect of the amount of residues and the rainfall sequence on soil losses.



donc plus élevée que celle du sol Beurivage, comme le prédit la relation développée par *Wischmeier et al. (1971)*.

La *figure 3* illustre également l'effet des résidus et de la succession des pluies sur les pertes de sol. Celles-ci diminuent avec l'augmentation de la quantité de résidus à la surface du sol. Avec 500 kg ha<sup>-1</sup>, la réduction est modeste, se situant à 14 et 9 % pour les sols Beurivage et Neuboïs respectivement. Avec 1000 et 2000 kg ha<sup>-1</sup> de résidus, la réduction moyenne

de la perte de sol passe à 62 et 87 % respectivement pour les deux mêmes sols. Des résultats comparables ont été obtenus par *Mostaghimi et al. (1988)* qui montrent une diminution des pertes de sol de 82 % en appliquant 1 500 kg de résidus par hectare ainsi que *Meyer (1985)* qui obtient une réduction de 80 % avec 2 000 kg ha<sup>-1</sup> de résidus. Les conclusions des auteurs diffèrent cependant quant au taux minimal de couverture du sol nécessaire pour obtenir une protection anti-érosive

significative. Gilley *et al.* (1986), dans une étude conduite sous pluie simulée, notent une réduction de l'érosion de 93 % avec aussi peu que 20 % de couverture du sol par des résidus. Par contre, Zuzel et Pikell (1993) de même que McGregor *et al.* (1988) avancent que les résidus n'assurent la protection du sol contre l'érosion hydrique que lorsque le taux de couverture est supérieure à 25 et 30 % respectivement.

Pour les deux sols étudiés, l'érosion augmente avec la séquence des pluies, quelque soit la quantité de résidus à la surface du sol (*figure 3*). La différence entre les pertes de sol mesurées lors de la première et de la deuxième pluie est beaucoup plus importante que celle entre la deuxième et la troisième pluie. Ainsi, l'augmentation est de 126 % pour les deux sols, de la pluie 1 à la pluie 2, et de 19 et 4 % pour les sols Beurivage et Neubois respectivement, de la pluie 2 à la pluie 3.

## Pertes de phosphore

Les pertes de PPT se situent entre 1,7 et 52,3 mg m<sup>-2</sup> pour le sol Beurivage et entre 3,4 et 274,1 mg m<sup>-2</sup> pour le sol Neubois (*tableau 3*). Pour les deux sols, les pertes augmentent avec le cumul des pluies, particulièrement de la pluie 1 à la pluie 2. Elles diminuent avec l'augmentation de la quantité de résidus laissés à la surface du sol. Ce comportement est donc étroitement lié à celui des pertes de sol. Les pertes plus importantes pour le sol Neubois s'expliquent par une teneur plus élevée du sol en phosphore (*tableau 1*) et par une perte de sol beaucoup plus importante (*figure 3*). Par ailleurs, comparativement au sol des cases lysimétriques, les érodats sont considérablement enrichis en PPT ainsi qu'en PME (H) (*tableau 4*). Pour le PPT, le facteur d'enrichissement varie de 0,9 à 2,2 dans le cas du sol Beurivage et de 0,6 à 2,4 pour le sol Neubois. Pour le PME (H), les facteurs d'enrichissement sont plus élevés, variant de 0,9 à 3,6 en moyenne. Ceci résulte de l'entraînement sélectif des fractions fines du sol lors du processus érosif. Des résultats similaires ont été publiés par plusieurs auteurs (McIsaac *et al.*, 1991 ; Sharpley, 1985 ; Sinukaban, 1981). Pour le sol Beurivage, les teneurs des érodats en P diminuent avec la séquence des pluies alors qu'elles augmentent pour le sol Neubois. Une explication possible à cette différence de comportement est apportée par Walling et Moorehead (1989). Il est possible que les érodats du premier sol sont constitués de particules primaires alors que ceux du second sol comporteraient un bonne proportion d'agrégats. Ce point n'a cependant pas pu être vérifié lors de l'expérimentation. L'importance relative de la fraction disponible du P particulaire (PMEH/PPT) est également plus élevée dans les érodats que dans les sols en place, passant de 30 et 32 % pour les sols Beurivage et Neubois respectivement à 31-54 % et 45-58 % pour les érodats provenant de ces deux mêmes sols. Le même constat a été fait par Sharpley (1985) qui rapporte, pour les six sols étudiés, un enrichissement des érodats

plus important en P disponible qu'en toute autre forme de P.

Les pertes de PS varient de 17,4 à 38,4 mg m<sup>-2</sup> pour le sol Beurivage et de 30,0 à 79,5 mg m<sup>-2</sup> pour le sol Neubois (*tableau 3*). Elles diminuent de façon marquée de la pluie 1 à la pluie 2 et de façon beaucoup moins importante, de la seconde à la troisième pluie. Ce comportement, qu'on retrouve pour les deux sols, est typique d'un effet de chasse. Pour le sol Beurivage, les pertes de PS augmentent légèrement avec la quantité de résidus, passant de 23,5 mg m<sup>-2</sup> pour le témoin à 28,8 mg m<sup>-2</sup> en présence de 2 000 kg ha<sup>-1</sup> de résidus, soit une hausse de 22 %. Avec le sol Neubois, l'augmentation est plus importante, atteignant 48 % avec 2 000 kg ha<sup>-1</sup> de résidus. Avec ce niveau de résidus et pour les deux sols, le PS représente alors l'essentiel du PT, compte tenu de la réduction des pertes de PPT. Il en va de même pour la dose de 1 000 kg ha<sup>-1</sup> avec le sol Beurivage. Une augmentation des pertes de PS, en présence de résidus à la surface du sol a déjà été rapportée par divers auteurs (Pesant *et al.*, 1987 ; Barisas *et al.*, 1978 ; Timmons *et al.*, 1970). Ces pertes seraient attribuables à la désorption, la dissolution et l'extraction de phosphore des tissus végétaux et du sol (Sharpley et Halvorson, 1994). Dans la présente étude, l'augmentation des pertes avec la quantité de résidus suggère une contribution de ces derniers. Le fait que les pertes soient plus élevées avec le sol Neubois est conforme au fait que ce dernier est à l'origine 1,7 fois plus riche en phosphore total ou disponible (*tableau 1*).

Les pertes de PBIO varient de 28,8 à 53,4 mg m<sup>-2</sup> pour le sol Beurivage et de 63,6 à 158,8 mg m<sup>-2</sup> pour le sol Neubois (*tableau 3*). Pour les deux sols, elles diminuent avec une augmentation de la quantité de résidus, en raison de la réduction des formes particulières et malgré la hausse des pertes de PS. Avec 2 000 kg ha<sup>-1</sup> de résidus, la réduction de PBIO atteint 37 % pour le Beurivage et 48 % pour le Neubois. Cependant, la fraction biodisponible des pertes totales augmente avec la quantité de résidus. De 0 à 2 000 kg ha<sup>-1</sup> de résidus, elle passe de 67 à 90 % et de 58 à 94 % pour ces deux sols respectivement. Pour le sol Beurivage, les pertes de PBIO diminuent avec la séquence des pluies, en raison d'une réduction importante des pertes de PS. Pour le sol Neubois, ces réductions de PS sont annulées par l'augmentation des pertes de PPT, suite à la forte hausse des pertes de sol en présence de faibles niveaux de résidus (0 et 500 kg ha<sup>-1</sup>). Il en résulte une augmentation des pertes de PBIO avec le cumul des pluies pour ces deux niveaux de résidus (*tableau 3*).

Les pertes de PT varient entre 33 et 77 mg m<sup>-2</sup> pour le sol Beurivage et de 68 à 304 mg m<sup>-2</sup> pour le sol Neubois (*tableau 3*). Pour les deux sols, les pertes diminuent avec l'augmentation de la quantité de résidus, particulièrement avec 1 000 kg ha<sup>-1</sup> et plus. La réduction fut cependant plus marquée pour le sol Neubois que pour le sol Beurivage, atteignant respectivement 68 et 54 % avec 2 000 kg ha<sup>-1</sup> de résidus. La fraction

**Tableau 3** - Variation des pertes de phosphore suivant la quantité de paillis et la séquence des pluies.**Table 3** - Effect of the amount of residues and the rainfall sequence on phosphorus losses.

Résidus (hg ha <sup>-1</sup> )	Pluie	Phosphore (mg m <sup>-2</sup> )						
			Particulaire			Soluble	Biodisp <sup>z</sup>	Total
		Total	Non Mehlich	Mehlich				
<b>LIMON SABLEUX BEAURIVAGE</b>								
<b>0</b>	1	42,8 (56) <sup>y</sup>	23,6	19,2	34,2 (44)	53,4	77,0	
	2	52,3 (73)	25,2	27,1	18,9 (27)	46,0	71,2	
	3	52,0 (75)	23,9	28,1	17,4 (25)	45,5	69,4	
	<b>moy.</b>	<b>49,0 (68)</b>	<b>24,2</b>	<b>24,8</b>	<b>23,5 (33)</b>	<b>48,3</b>	<b>72,5</b>	
<b>500</b>	1	31,4 (47)	17,1	14,3	35,7 (53)	50,0	67,1	
	2	40,4 (66)	21,7	18,7	20,4 (34)	39,1	60,8	
	3	41,4 (69)	20,6	20,8	18,7 (31)	39,5	60,1	
	<b>moy.</b>	<b>37,7 (60)</b>	<b>19,8</b>	<b>17,9</b>	<b>24,9 (40)</b>	<b>42,9</b>	<b>62,7</b>	
<b>1 000</b>	1	8,5 (18)	4,9	3,6	38,4 (82)	42,0	46,9	
	2	18,6 (38)	11,3	7,3	30,1 (62)	37,4	48,7	
	3	16,8 (38)	10,6	6,2	27,4 (62)	33,6	44,2	
	<b>moy.</b>	<b>14,6 (31)</b>	<b>8,9</b>	<b>5,7</b>	<b>32,0 (69)</b>	<b>37,7</b>	<b>46,6</b>	
<b>2 000</b>	1	1,7 (5)	1,1	0,6	32,3 (95)	32,9	34,0	
	2	6,2 (18)	4,4	1,8	27,2 (82)	29,0	33,4	
	3	6,2 (19)	4,3	1,9	26,9 (81)	28,8	33,1	
	<b>moy.</b>	<b>4,7 (14)</b>	<b>3,3</b>	<b>1,4</b>	<b>28,8 (86)</b>	<b>30,2</b>	<b>33,5</b>	
<b>LIMON ARGILEUX FIN NEUBOIS</b>								
<b>0</b>	1	58,7 (47)	31,4	27,3	65,0 (53)	92,3	123,7	
	2	222,1 (87)	109,8	112,2	33,5 (13)	145,8	255,6	
	3	274,1 (90)	145,3	128,8	30,0 (10)	158,8	304,1	
	<b>moy.</b>	<b>185,0 (81)</b>	<b>95,5</b>	<b>89,5</b>	<b>42,8 (19)</b>	<b>132,3</b>	<b>227,8</b>	
<b>500</b>	1	47,7 (42)	26,1	21,6	66,6 (58)	88,2	114,3	
	2	196,5 (83)	91,3	105,2	39,7 (17)	144,9	236,2	
	3	218,5 (87)	113,4	105,1	32,0 (13)	137,1	250,5	
	<b>moy.</b>	<b>154,2 (77)</b>	<b>76,9</b>	<b>77,3</b>	<b>46,1 (23)</b>	<b>123,4</b>	<b>200,3</b>	
<b>1 000</b>	1	13,4 (16)	6,6	6,8	69,8 (84)	76,6	83,2	
	2	48,9 (54)	18,6	30,3	42,2 (46)	72,5	91,1	
	3	68,7 (63)	31,9	36,8	40,4 (37)	77,2	109,1	
	<b>moy.</b>	<b>43,7 (46)</b>	<b>19,0</b>	<b>24,6</b>	<b>50,8 (54)</b>	<b>75,4</b>	<b>94,5</b>	
<b>2 000</b>	1	3,4 (4)	1,8	1,6	79,5 (96)	81,1	82,9	
	2	12,0 (18)	4,3	7,7	55,9 (82)	63,6	67,9	
	3	16,0 (23)	6,8	9,2	54,4 (77)	63,6	70,4	
	<b>moy.</b>	<b>10,5 (14)</b>	<b>4,3</b>	<b>6,2</b>	<b>63,2 (86)</b>	<b>69,4</b>	<b>73,7</b>	

z : Somme du P soluble et du P particulaire Mehlich

y : Fraction du P total (%)

Tableau 4 - Teneur des érodats en phosphore.

Table 4 - Phosphorus content of the eroded material.

Résidus (kg ha <sup>-1</sup> )	Pluie	P total (µg g <sup>-1</sup> )	P Mehlich (µg g <sup>-1</sup> )
<b>LIMON SABLEUX BEAURIVAGE</b>			
<b>0</b>	1	538 (2,2) <sup>z</sup>	241 (3,4)
	2	324 (1,4)	168 (2,4)
	3	265 (1,1)	143 (2,0)
	<b>moy.</b>	<b>376 (1,6)</b>	<b>184 (2,6)</b>
<b>500</b>	1	479 (2,0)	218 (3,1)
	2	289 (1,2)	134 (1,9)
	3	243 (1,0)	122 (1,7)
	<b>moy.</b>	<b>337 (1,4)</b>	<b>158 (2,2)</b>
<b>1 000</b>	1	390 (1,6)	165 (2,3)
	2	257 (1,1)	112 (1,6)
	3	241 (1,0)	89 (1,3)
	<b>moy.</b>	<b>296 (1,2)</b>	<b>123 (1,7)</b>
<b>2 000</b>	1	320 (1,3)	113 (1,6)
	2	252 (1,1)	77 (1,1)
	3	209 (0,9)	65 (0,9)
	<b>moy.</b>	<b>260 (1,1)</b>	<b>85 (1,2)</b>
<b>LIMON ARGILEUX FIN NEUBOIS</b>			
<b>0</b>	1	469 (1,2)	218 (1,7)
	2	842 (2,1)	426 (3,4)
	3	964 (2,4)	453 (3,6)
	<b>moy.</b>	<b>758 (1,9)</b>	<b>366 (2,9)</b>
<b>500</b>	1	432 (1,1)	195 (1,5)
	2	769 (1,9)	408 (3,2)
	3	884 (2,2)	426 (3,4)
	<b>moy.</b>	<b>695 (1,7)</b>	<b>343 (2,7)</b>
<b>1 000</b>	1	317 (0,8)	161 (1,3)
	2	472 (1,2)	293 (2,3)
	3	602 (1,5)	323 (2,6)
	<b>moy.</b>	<b>265 (1,2)</b>	<b>259 (2,1)</b>
<b>2 000</b>	1	247 (0,6)	116 (0,9)
	2	337 (0,8)	217 (1,7)
	3	393 (1,0)	226 (1,8)
	<b>moy.</b>	<b>326 (0,8)</b>	<b>186 (1,5)</b>

z : facteur d'enrichissement, i.e. rapport entre la teneur des érodats et celle du sol en place

particulière (PPT) représente de 5 à 75 % des pertes de PT, pour le sol Beurivage, et de 4 à 90 % pour le sol Neuboïs. Pour les deux sols, l'évolution de cette fraction a suivi de près celle des pertes de sol, augmentant de la première à la dernière pluie et diminuant avec les doses croissantes de résidus (tableau 3). Plusieurs auteurs suggèrent qu'en général, à l'échelle du bassin versant, le PPT représente 70 % et plus du PT (Dorich et al., 1985 ; Burwell et al., 1975 ; Sharpley et Smith, 1990). Sharpley et al. (1992) rapportent cependant que la fraction du PT perdue sous forme de PS augmente avec le pourcentage de couverture du sol, par la végétation vivante ou les résidus de culture, ce qui est également observé dans la présente étude.

## CONCLUSION

Dans le cadre de cette étude, les résidus de culture laissés à la surface du sol ont eu pour effet immédiat de diminuer le ruissellement, l'érosion du sol et les pertes de PT et de P BIO. Ce contrôle ne devient cependant intéressant qu'avec 1 000 kg ha<sup>-1</sup> de résidus. L'évolution des pertes de PPT suit de près celle des pertes de sol. La réduction des pertes de PT et de P BIO est considérablement moins élevée, en raison d'une augmentation des pertes de PS. Elle est donc principalement attribuable à la diminution des pertes de PPT, elle-même associée à la réduction de l'érosion. Ces résultats indiquent donc que la gestion en surface des résidus produit un gain environnemental net, même s'il est moins important que le gain agronomique (réduction de l'érosion).

Les résultats de cette étude suggèrent également qu'une stratégie de lutte à la pollution agricole diffuse qui ne serait fondée que sur le contrôle de l'érosion des sols risquerait de ne pas produire les résultats escomptés là où l'excès de phosphore constitue un problème. D'autres types d'actions, comme une meilleure adéquation entre les besoins des cultures en fertilisants et les apports ou encore l'établissement de zones tampons en bordure des plans d'eau, devront alors être mis à contribution.

Ces résultats expérimentaux doivent par ailleurs être considérés à la lumière des deux éléments suivants. La dimension des unités expérimentales n'excède pas un mètre carré. À l'échelle du champ et du bassin hydrographique, d'autres phénomènes peuvent intervenir. Notamment, la spéciation des pertes de phosphore peut évoluer. D'autre part, la perturbation subie par les sols lors de la préparation des cases lysimétriques peut avoir modifié quelque peu les caractéristiques hydrodynamiques des sols, malgré la période de repos observée avant le début de l'expérimentation. Il est cependant difficile d'estimer l'influence réelle de ces deux points sur les résultats obtenus. Ceux-ci sont cependant consistants avec ceux d'autres auteurs et reflètent vraisemblablement l'effet pro-



tecteur réel des résidus de cultures laissés à la surface du sol.

## BIBLIOGRAPHIE

- Barisas, S.G., Baker, J.L., Johnson, H.P., Laffen, J.M., 1978 - Effect of tillage systems on runoff losses of nutrients. A rainfall simulation study. *Trans. ASAE* 21 : 893-897.
- Bernard, C., Laverdière, M.R., 1992 - Spatial redistribution of Cs-137 and soil erosion on Orléans Island, Québec. *Can. J. Soil Sci.* 72 : 543-554.
- Burwell, R.E., Timmons, D.R., Molt, R.F., 1975 - Nutrient transport in surface runoff as affected by soil cover and seasonal periods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39 : 523-528.
- Clark, E.H., Haverkamp, J.A., Chapman, W., 1985 - Eroding soils. The off-farm impacts. The Conservation Foundation, Washington, D.C. 252 p.
- Dorich, R.A., Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1985 - Estimating algal available phosphorus in suspended sediments by chemical extraction. *J. Environ. Qual.* 14 : 400-405.
- Dubé, A., 1975 - L'eau et l'érosion des sols. *Ressources* 6 : 8-15.
- El-Hassanin, A.S., Labib, T.M., Gaber, E.I., 1993 - Effect of vegetation cover and land slope on runoff and soil losses from watersheds of Burundi. *Agric. Ecosys. Environ.* 43 : 301-308.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W., 1986 - Particle-size analysis. Pages 383-409 dans *Methods of soil analysis. Part. 1. Physical and mineralogical methods. 2nd edition. Agron #9. ASA, SSSA. Madison, WI.*
- George, T.A., Choate, J., 1989 - A first look at the 1987 National Resources Inventory. *J. Soil Water Cons.* 44 : 555-556.
- Gilley, J.E., Finkner, S.C., Spomer, R.G., Mielke, L.N., 1986 - Runoff and erosion as affected by corn residue : Part I. Total losses. *Trans. ASAE* 29 : 157-160.
- Griffith, D.R., Mannering, J.V., Box, J.E., 1986 - Soil and moisture management with reduced tillage. Pages 19-57 dans *No-tillage and surface-tillage agriculture. The tillage revolution. M.A. Sprague et G.B. Triplett édés. J. Wiley & Sons, N.Y.*
- ISABU, 1984 - Étude pédologique semi-détaillée de communes Bitare, Giheta, Gitega, Makekuko, Mutaho et Nyabihango.
- König, D., 1993 - Dégradation et érosion des sols au Rwanda - pages 31-40 dans *Réseau Érosion - Bulletin N° 13. E. Roose éd., ORSTOM, Montpellier.*
- McGregor, K.C., Bergston, R.L., Mutchler, C.K., 1988 - Effects of surface straw on interrill runoff and erosion on Granada silt loam soil. *Trans. ASAE* 31 : 111-116.
- Mclsaac, G.F., Hirschi, M.C., Mitchell, J.K., 1991 - Nitrogen and phosphorus in eroded sediment from corn and soybean tillage systems. *J. Environ. Qual.* 20 : 663-670.
- Mehlich, A., 1984 - Mehlich III soil test extractant : a modification of Mehlich II extractant. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 15 : 1409-1416.
- Meyer, L.D., 1985 - interrill erosion rates and sediment characteristics. Pages 166-177 dans *Soil erosion and conservation. S.A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer et A. Lo édés. Soil Conservation Society of America. Ankeny, IA.*
- Meyer, L.D., Wischmeier, W.H., Foster, G.R., 1970 - Mulch rates required for erosion control on steep slopes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34 : 928-931.
- Mostaghimi, S., Dillaha, T.A., Stanholtz, V.O., 1988 - Runoff, sediment, and phosphorus losses from agriculture lands as affected by tillage and residue levels. *Trans. ASAE* 31 : 236-242.
- Murphy, J., Riley, J.P., 1962 - A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27 : 31-36.
- Nelson, D.W. and Sommers, L.E., 1982 - Total carbon, organic carbon and organic matter. Pages 539-577 dans *Methods of soil analysis. Part. 2. Chemical and microbiological properties. 2nd edition. Agron #9. ASA, SSSA. Madison, WI.*
- Olsen, S.R., Sommers, L.E., 1982 - Phosphorus. Pages 403-430 dans *Methods of soil analysis. Part. 2. Chemical and microbiological properties. 2nd edition. Agron #9. ASA, SSSA. Madison, WI.*
- Pesant, A.R., Dionne, J.L., Genest, J., 1987 - Soil and nutrient losses in surface runoff from conventional and no-till corn systems. *Can. J. Soil Sci.* 67 : 835-842.
- Roose, E.J., 1977 - Use of the universal soil loss equation to predict erosion in West Africa. Pages 60-74 dans *Soil erosion : prediction and control. Special Publ. No. 21, Soil Conservation Society of America, Ankeny, IA.*
- SAS Institute, 1985 - SAS user's guide : Statistics. Version 5. SAS Institute, Cary, NC.
- Sharpley, A.N., 1985 - The selective erosion of plant nutrients in runoff. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49 : 1527-1534.
- Sharpley, A.N., Halvorson, A.D., 1994 - The management of soil phosphorus availability and its impact on surface water quality. Pages 7-90 dans *Soil processes and water quality. R. Lal et B.A. Stewart édés. Lewis Publ. Boca Raton, FL.*
- Sharpley, A.N., Smith, S.J., 1990 - Phosphorus transport in agricultural runoff : the role of soil erosion. Pages 351-365 dans *Soil erosion on agricultural land. J. Boardman, I.D.L. Foster, J.A. Dearing édés. John Wiley & Sons, Chichester, UK.*
- Sharpley, A.N., Smith, S.J., Jones, O.R., Berg, W.A., Coleman, G.A., 1992 - The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. *J. Environ. Qual.* 21 : 30-35.
- Sinukaban, N., 1981 - Erosion selectivity as affected by tillage-planting systems. Ph.D. thesis, University of Wisconsin, Madison, WI.
- Timmons, D.R., Holt, R.F., Latterell, J.J., 1970 - Leaching of crop residues as a source of nutrients in surface runoff water. *Water Res. Research* 6 : 1367-1375.
- Tossel, R.W., Dickinson, W.T., Rudra, R.P., Wall, G.J., 1987 - A portable rainfall simulator. *Can. Agric. Eng.* 29 : 155-162.
- Tran, T.S., Giroux, M., Guilbeault, J., Audesse, P. 1990 - Evaluation of Mehlich III extractant to estimate the available P in Québec soils. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 21 : 1-28.
- Walling, D.E., Moorehead, P.W., 1989 - The particle size characteristics of fluvial suspended sediment : an overview. *Hydrobiologia* 176/177 : 125-149.
- Wischmeier, W.H., Johnson, C.B., Cross, B.V., 1971 - A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. Soil Water Conserv.* 26 : 189-193.
- Zuzel, J.F., Pikell, J.F., 1993 - Effects of straw mulch on runoff and erosion from small agricultural plots in Notheastern Oregon. *Soil Sci.* 156 : 111-117.

