

Université du Québec

Mémoire
présenté à

l'Institut national de la recherche scientifique
(INRS-Eau)

comme exigence partielle
de la
maîtrise ès Sciences de l'Eau
par

Anne Bédard
(Agr., B.Sc.A. Bio-agronomie)

Effets des pratiques culturales et de la pente du terrain
sur la biodisponibilité du phosphore
dans les eaux de ruissellement agricole

Juillet 1989

RÉSUMÉ

Cette étude a été réalisée dans le but de déterminer l'effet des pratiques culturales de conservation des sols sur les concentrations et sur les pertes de phosphore biodisponible dans les eaux de ruissellement agricole. Cette étude tient compte également de l'effet de la pente du terrain, de la condition antécédente de pluie et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, intensité et érosivité de la pluie) sur la biodisponibilité du phosphore.

La partie terrain de ce travail s'est déroulée à St-Lambert-de-Beauce-Nord sur un sol de la série Neubois. Douze parcelles de sol, ensemencées en maïs fourrager, ont été utilisées pour les fins du travail. La moitié de celles-ci était sur une pente de 9,2% tandis que l'autre moitié était sur une pente de 4,6%. Trois pratiques culturales (labour conventionnel, chisel et semis direct sur billons) ont été testées sur chacune des pentes. Les eaux de ruissellement étaient récoltées dans des cuves situées au pied des parcelles. Après chaque pluie importante, un échantillon d'eau était ramassé dans chaque cuve, puis analysé. La quantité de solides en suspension et les concentrations en phosphore total (PT), phosphore total dissout (PTD) et phosphore biodisponible (PBT) étaient mesurées. La charge en matière organique (DBO₅, DCO et COD) était également déterminée. Au total, 12 pluies ont été échantillonnées.

Les résultats de ce travail démontrent que les pratiques culturales de conservation des sols n'augmentent pas les concentrations en PBT (au niveau

p = 0,1) comparativement au labour conventionnel. Par contre, on observe des concentrations en PBT significativement plus faibles (au niveau p = 0,05) pour le chisel (1,81 mg/l) que pour le semis direct (2,94 mg/l). De plus, l'utilisation des pratiques culturales de conservation des sols a permis de diminuer les pertes de PBT de 80% comparativement au labour conventionnel.

Lorsque la pente du terrain est passée de 9,2% à 4,6%, les concentrations en PBT ont diminué de 50%, alors que les pertes (charges) de PBT ont diminué de 80%.

La condition antécédente de pluie n'a pas eu d'effet significatif (au niveau p = 0,1) sur les concentrations en PBT tandis qu'elle a affecté, de façon significative (au niveau p = 0,1), les pertes de PBT. La quantité de pluie tombée a eu un effet significatif sur les concentrations et les pertes de PBT, aux niveaux respectifs de p = 0,1 et p = 0,05. Une augmentation de l'intensité de la pluie (I30) se traduit par une augmentation significative des concentrations de PBT (au niveau p = 0,05) et des pertes de PBT (au niveau p = 0,01).

1. INTRODUCTION

L'agriculture au Québec a considérablement évolué au cours des dernières décennies. Entre 1951 et 1981, parallèlement à l'expansion démographique, la superficie des terres consacrées à l'agriculture est passée de 6,8 à 3,8 millions d'hectares (C.P.V.Q., 1986a). Le secteur agricole a donc été contraint à produire plus d'aliments sur une superficie moindre et par conséquent, à accroître sa productivité.

L'augmentation de productivité a été rendue possible par la capitalisation, la disponibilité de machines agricoles efficaces, l'installation de drainage souterrain, l'utilisation de cultivars améliorés, l'application accrue de pesticides et de fertilisants chimiques ainsi que par l'abandon des productions animales au profit de productions végétales spécialisées (Mehuys, 1984).

L'intensification et la spécialisation de l'agriculture se sont faites au détriment de la qualité des sols. En effet, la surexploitation des sols et les mauvaises pratiques culturales associées à l'intensification de l'agriculture sont à l'origine des problèmes de dégradation des sols qui favorisent l'érosion et le ruissellement de l'eau en surface (Gosselin, 1983).

L'érosion des sols a des conséquences néfastes pour l'agriculture car l'effet principal de l'érosion est l'enlèvement des particules de sol à texture fine et de la matière organique dans la partie la plus fertile du sol, rendant ce dernier moins apte à la production agricole (C.P.V.Q., 1986a).

L'érosion des sols a également un impact négatif sur la qualité de l'eau car les particules de sol érodé transportent vers les cours d'eau des matières nutritives, des métaux lourds, des pesticides et d'autres composés toxiques (Switzer-Howse et Coote, 1984). Le sol érodé peut être considéré comme le principal polluant d'origine agricole (Bernard, 1984). La pollution par le sol érodé est de type diffus parce qu'elle n'origine pas d'un point précis mais de l'ensemble du territoire et reste tributaire des événements météorologiques et du ruissellement sur les sols (Gosselin, 1983).

Parmi les substances nutritives transportées vers les cours d'eau via l'érosion et le ruissellement, le phosphore représente un des éléments les plus importants à considérer car il est souvent cité comme étant le facteur limitant dans le processus de l'eutrophisation des cours d'eau (Grobler et Davies, 1979; Dorich et al., 1984). Cependant, ce n'est qu'une partie du phosphore total transporté qui a un impact négatif sur la qualité de l'eau. C'est la fraction biodisponible et, elle représente entre 20 et 34% du phosphore total dans les eaux de ruissellement agricole (Mueller et al., 1984 ; Andraski et al., 1985b). La réduction de la quantité de phosphore biodisponible dans les eaux de ruissellement agricole via un contrôle de l'érosion représente donc un moyen logique de réduire l'impact négatif de l'agriculture sur l'eutrophisation des cours d'eau (Mueller et al., 1984).

Les pratiques culturales de conservation des sols, qui laissent à la surface du sol les résidus de la culture précédente, protègent celui-ci contre l'érosion et contre les pertes de phosphore qui y sont associées (Baker et Laflen, 1983). Cependant, ces pratiques culturales ne devraient pas diminuer les concentrations et les pertes de phosphore biodisponible proportionnellement à

l'érosion parce qu'elles contribuent à augmenter les concentrations en phosphore soluble dans les eaux de ruissellement ainsi que les concentrations en phosphore dans les particules de sol érodé (Sinukaban, 1981; McDowell et McGregor, 1984).

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les concentrations et les pertes de phosphore biodisponible dans les eaux de ruissellement agricole. Cette étude tient compte de l'effet de la condition antécédente de pluie et des caractéristiques des précipitations (quantité, intensité maximale sur 30 minutes et érosivité) sur la biodisponibilité du phosphore dans les eaux de ruissellement agricole.

CHAPITRE 2

REVUE DE LITTÉRATURE

2. REVUE DE LITTERATURE

2.1 LE PHOSPHORE DANS LE SOL

Le contenu en phosphore dans les sols se situe entre 200 et 5000 $\mu\text{g/g}$ avec une valeur moyenne de 600 $\mu\text{g/g}$ (Lyndsay, 1979). Le phosphore est présent dans les phases solide et liquide du sol (Logan et Adams, 1981). Cependant, la majeure partie du phosphore dans le sol est associée à la phase solide et les concentrations de phosphore dans la solution de sol excède rarement 1 mg/l (Keeney et Wildung, 1977).

2:1.1 Le phosphore dans la solution de sol

La forme ionique de phosphore dans la solution de sol est HPO_4^- et HPO_4^{2-} dépendamment du pH du sol (voir figure 2.1). En plus des formes ioniques, le phosphore peut être présent sous forme de composés organiques solubles provenant de la décomposition de la matière organique du sol (Tisdale et al., 1985). Les plantes absorbent le phosphore principalement sous formes H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} (Stevenson, 1986).

2.1.2 Le phosphore dans la phase solide

2.1.2.1 Phosphore organique

Le phosphore organique provient des résidus végétaux et animaux (Dommergues et Mangenot, 1970). Il peut représenter jusqu'à 79 % du phosphore total dans le sol (Sharpley, 1985). Les principales formes sont les phospholipides, les

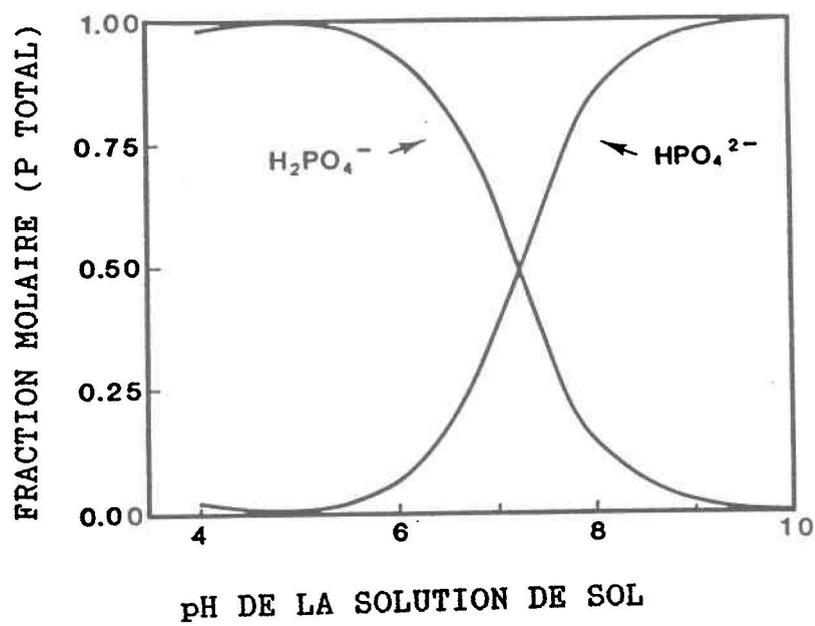


Figure 2.1

Effet du pH du sol sur les formes de phosphore inorganique dans la solution de sol (Barber, 1984).

acides nucléiques, les nucléotides, les sucres phosphorylés et les phosphates inositol (Tisdale et al.,1985).

2.1.2.2 Phosphore inorganique

Selon Keeney et Wildung (1977), le phosphore inorganique dans la phase solide du sol peut se retrouver sous les formes suivantes:

- Adsorbé à la surface des oxydes de fer et d'aluminium;
- Précipité sous forme de phosphates de fer (Fe-P), d'aluminium (Al-P) et de calcium (Ca-P);
- Inclus dans les minéraux cristallins ou dans les oxydes de fer et d'aluminium;
- Minéraux apatites.

2.1.3 **Application de fertilisants phosphatés**

Les fertilisants phosphatés sont généralement appliqués en granules solubles (Barber, 1984). Ils sont sous forme d'orthophosphates et donc, entièrement disponibles pour les plantes (Logan et Adams, 1981). Cependant, plus de 90% des fertilisants phosphatés appliqués au sol ne sont pas utilisés par les plantes mais sont fixés aux particules de sol (Stevenson, 1986). Ils peuvent être soit adsorbés ou précipités, dépendamment de la quantité appliquée. S'ils sont appliqués en quantités telles que la concentration en phosphore dans la solution de sol demeure inférieure à 5 mg/l, ils seront surtout adsorbés à la surface des oxydes de fer et d'aluminium. Si par contre, ils sont appliqués en quantités suffisamment grandes pour rendre la concentration en phosphore

soluble supérieure à 5 mg/l, il y aura précipitation sous formes de Ca-P, Fe-P et Al-P (Barber, 1984).

2.2 LE PHOSPHORE DANS LES EAUX DE RUISSELLEMENT AGRICOLE

Le phosphore dans les eaux de ruissellement agricole peut être regroupé en 2 fractions: la fraction soluble et la fraction particulaire (voir figure 2.2). Étant donnée la forte tendance du phosphore soluble à se fixer sur les particules de sol, la plupart du phosphore dans les eaux de ruissellement est sous forme particulaire (Logan et Adams, 1981). Selon Burwell et al. (1975), 94% des pertes annuelles de phosphore dans les eaux de ruissellement agricole sont sous forme particulaire.

2.2.1 Le phosphore particulaire

Le phosphore particulaire représente le phosphore attaché au sol érodé et transporté dans les eaux de ruissellement (Sharpley et al., 1982). Il est présent sous formes inorganique, organique et condensée. Le phosphore particulaire condensé (pyro-, méta- et autres polyphosphates), qui provient des tissus de plantes en sénescence, ne constitue qu'une faible portion du phosphore particulaire. Le phosphore organique particulaire est composé d'acides nucléiques, de phospholipides et de phosphates inositol. Pour sa part, le phosphore inorganique peut être divisé en 2 groupes: le phosphore inorganique non-apatite (NAIP) et le phosphore inorganique apatite (AIP). La fraction NAIP inclut le phosphore adsorbé sur les oxydes de fer et d'aluminium, les formes Al-P, Fe-P et Ca-P, ainsi que les formes incluses. La fraction AIP contient les minéraux apatites (Sonzogni et al., 1982).

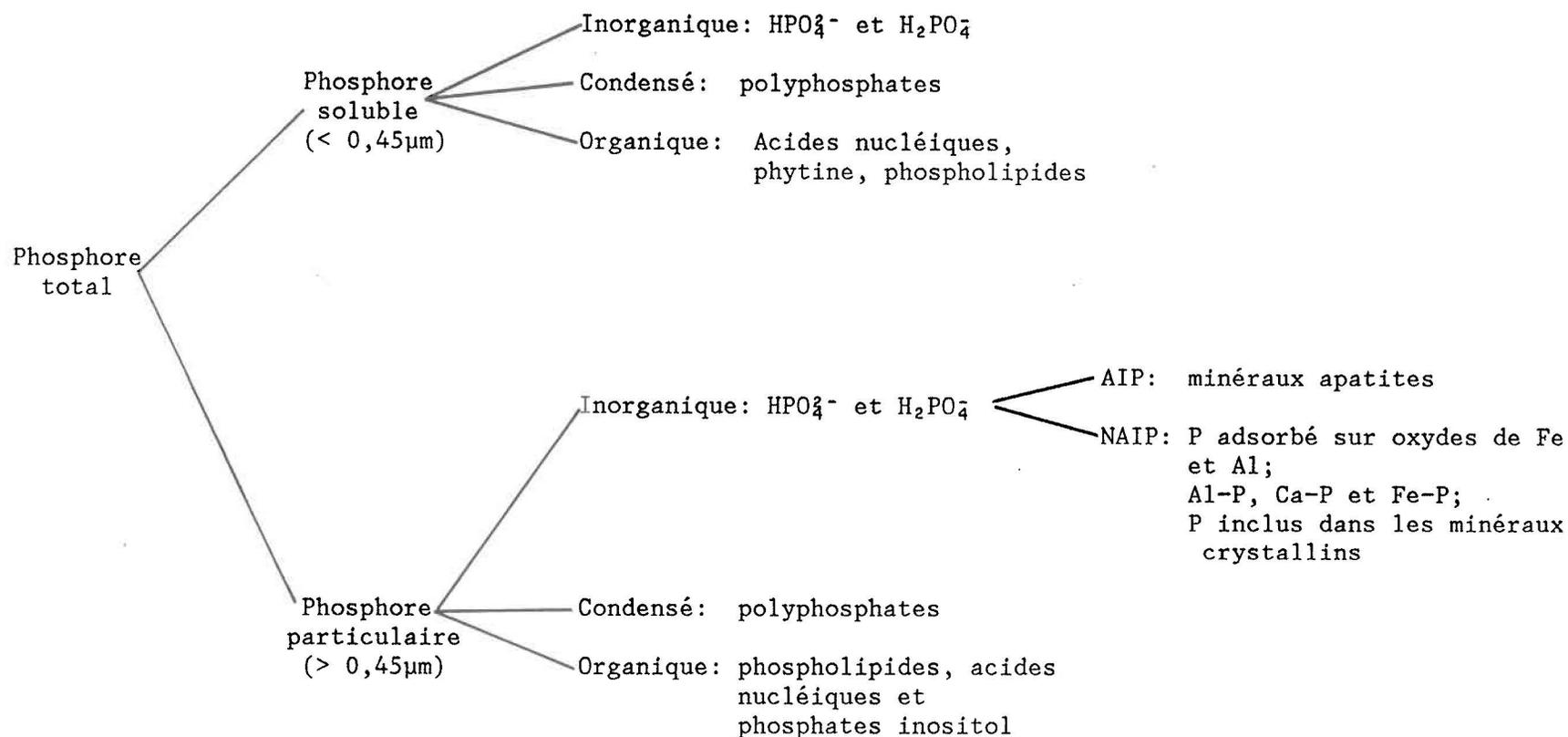


Figure 2.2

Le phosphore dans les eaux de ruissellement agricole.

2.2.1.1 Mécanisme de l'érosion et du transport du phosphore particulaire

L'érosion résulte de l'impact des gouttes de pluie à la surface du sol. Les particules de sol se détachent sous le martèlement des gouttes de pluie et sont emportées en suspension dans la lame d'eau à la surface du sol. Ces particules tendent à colmater les pores du sol et à former une croûte de battance qui a pour effet de réduire la perméabilité du sol. Dès lors, l'eau commence à ruisseller et, si la pente est suffisamment forte, la vitesse de l'eau accentue le processus de détachement commencé par l'impact des gouttes de pluie (C.P.V.Q., 1986a).

L'érosion est un processus sélectif à l'égard des particules fines (Deizman et al., 1987). Elle entraîne de façon sélective les argiles et la matière organique (Bernard, 1984). Deizman et al. (1987) ont comparé la taille des particules de sol érodé à la taille des particules du sol d'origine. Ils ont obtenu des pourcentages d'argile et de limon significativement plus élevés dans le sol érodé alors que le sol d'origine contenait des pourcentages de sable et de gravier significativement plus élevés que dans le sol érodé. Le rapport d'enrichissement (ER) permet de mesurer le degré de sélectivité de l'érosion. Il est défini comme étant le contenu d'une fraction de sol ou d'un nutriment dans le sol érodé divisé par le contenu de cette même fraction dans le sol d'origine (Young et al., 1986). Sharpley (1980) a mesuré le ER pour différentes tailles de particules et il a obtenu un enrichissement (ER >1) uniquement pour les particules de taille inférieure à 20 µm. Les particules fines, particulièrement l'argile et le limon, adsorbent et transportent de grandes quantités de nutriments en raison de leur plus grande surface spécifique (Young et al., 1986). La concentration en nutriments (N,P,K) sera donc plus élevée

dans le sol érodé que dans le sol d'origine (Sinukaban, 1981). Sharpley (1985b) a mesuré le rapport d'enrichissement en phosphore (PER) pour des particules de sol érodé provenant de 6 sols de texture différente. Dans tous les cas, il a obtenu un enrichissement en phosphore ($PER > 1$) qu'il attribue à l'enrichissement en argile et en surface spécifique.

2.2.1.2 Facteurs influençant l'érosion et les pertes de phosphore particulaire

2.2.1.2.1 Pente du terrain

La puissance érosive de l'eau de ruissellement augmente en fonction de la raideur de la pente (Dubé et al., 1984). Dubé (1975) rapporte que sur des parcelles de sol ensemencées en maïs et avec des fortes pentes, les pertes annuelles moyennes de sol se sont élevées à 37900 kg/ha sur la pente de 10% et à 17700 kg/ha sur la pente de 5%. Une augmentation de pente provoque également une augmentation de la taille des particules érodées (Gabriels et Moldenhauer, 1978). En augmentant le pourcentage de pente de 4% à 8%, Sharpley (1980) a observé une augmentation du pourcentage de particules grossières ($> 50 \mu\text{m}$) qui est passé de 20,6% à 27,3%. L'augmentation du pourcentage de particules grossières a eu pour effet de diminuer le PER de 5,87 à 4,23.

2.2.1.2.2 Pluviométrie

L'action érosive de l'eau de précipitation est liée d'une part à la quantité d'eau tombée et d'autre part, à son intensité. Toutefois, même si la quantité d'eau tombée peut affecter le volume d'eau susceptible de ruisseller, c'est

l'intensité de la pluie qui détermine l'importance du ruissellement et de l'érosion (Dubé et al., 1984). De plus, une augmentation de l'intensité de la pluie provoque une augmentation de la taille des particules ce qui a pour effet de diminuer le PER. En augmentant l'intensité de la pluie de 6 cm/h à 12 cm/h, Sharpley (1980) a observé une diminution du PER de 5,87 à 5,59.

2.2.1.2.3 Présence d'un couvert végétal

Le matériel végétal en absorbant une partie importante de l'énergie de la pluie, protège le sol de l'impact des gouttes de pluie, augmente l'infiltration et retarde le ruissellement ainsi que le mouvement des particules de sol (C.P.V.Q., 1986a).

Burwell et al. (1975) ont mesuré des pertes annuelles de sol de 37 t/ha pour un sol nu comparativement à des pertes de 16 t/ha pour le même sol, mais ensemencé en maïs. De plus, le volume de ruissellement a été de 13 cm d'eau pour le sol nu contre seulement 8,61 cm d'eau pour le sol cultivé. Pour leur part, Reddy et al. (1978) ont observé une diminution des pertes de sol de 77 % sur un loam limoneux cultivé comparativement à ce même sol non-cultivé.

2.2.1.2.4 Pourcentage de résidus à la surface du sol

Les résidus de culture laissés à la surface du sol protègent ce dernier contre l'impact des gouttes de pluie limitant ainsi la quantité de sol détaché (Dickey et al., 1984). Ils favorisent une bonne infiltration de l'eau et réduisent le ruissellement (C.P.V.Q., 1986a). De plus, les résidus favorisent la création

d'étangs qui peuvent piéger de grandes quantités de sédiments (Laflen et Colvin, 1981).

En ajoutant des résidus au taux de 1500 kg/ha, Mostaghimi et al. (1988) ont observé une diminution du volume de ruissellement de 49%, une diminution des pertes de sol de 82% ainsi qu'une diminution de 64% de la concentration des sédiments dans l'eau de ruissellement comparativement au même sol sans résidus. Ils ont également obtenu une diminution des pertes de phosphore particulaire de 1,54 kg/ha à 0,725 kg/ha malgré une augmentation de la concentration de phosphore lié aux sédiments de 7,29 µg/g à 9,69 µg/g.

L'application de résidus au taux de 13,5 t/ha a permis d'éliminer complètement le ruissellement et les pertes de sol qui étaient de 30,8 mm et 4,26 t/ha, respectivement, sur les mêmes parcelles sans résidus (Gilley et al., 1986).

2.2.1.2.5 Texture et état physique du sol

La texture et l'état physique du sol peuvent jouer un rôle considérable sur l'intensité de l'érosion par l'eau. En général, à cause de leur conductivité hydraulique élevée, les sols sableux et graveleux sont peu exposés bien qu'ils puissent également s'éroder. Le risque s'intensifie à mesure que la texture du sol de surface devient plus argileuse et que le contenu en matière organique décroît. Un humus abondant et bien décomposé favorise la formation d'aggrégats stables, résistants à la dispersion dans l'eau et assure une infiltration plus rapide de l'eau ce qui diminue le risque de ruissellement (Mehuys, 1981).

La teneur en eau dans le sol au moment de la pluie a un effet sur l'érosion et le ruissellement (Dubé, 1975; Dubé et al., 1984). Pour 2 pluies de même intensité, Deizman et al. (1987) ont observé des pertes de sol de 1894 kg/ha lorsque le sol était humide contre seulement 1093 kg/ha lorsque ce même sol était sec.

2.2.2 Le phosphore soluble

La fraction DMRP (Dissolved Molybdate Reactive Phosphorus) constitue 85% du phosphore soluble total (Wendt et Corey, 1980). Cette fraction est aussi appelée DRP (Dissolved Reactive Phosphorus), orthophosphates solubles ou encore phosphore inorganique par différents auteurs. Elle représente le phosphore soluble dosé directement par la méthode de Murphy et Riley (1962). Elle est composée principalement d'orthophosphates et, d'une petite quantité de phosphore condensé hydrolysé par les réactifs lors du dosage (APHA, 1985). Pour sa part, le phosphore organique constitue de 8 à 15% du phosphore soluble total (Reddy et al., 1978).

2.2.2.1 Processus de relâchement du phosphore soluble

Le phosphore soluble dans les eaux de ruissellement est relâché d'une mince couche de sol qui réagit avec l'eau de pluie et de ruissellement (Sharpley et al., 1981a). Cette mince couche appelée EDI (Effective Depth of Interaction) est définie comme étant l'épaisseur de la couche de surface du sol dans laquelle le degré d'interaction des particules de sol avec l'eau de pluie et de ruissellement est le même qu'à la surface du sol (Sharpley, 1985a). Selon Ahuja et al. (1981), cette couche mesure entre 0,2 et 0,3 centimètres. Cependant,

l'épaisseur de cette couche augmente avec l'intensité de la pluie et le pourcentage de pente alors qu'elle diminue lorsque le couvert végétal devient plus abondant (Sharpley et al., 1981a).

Lorsque l'eau de pluie et de ruissellement réagit avec la surface du sol (la couche d'interaction), le phosphore soluble présent dans les pores du sol est délogé, les composés phosphorés solubles à l'eau sont dissous et une partie du phosphore inorganique est désorbé. Aussi, une partie du phosphore soluble provient de la décomposition des résidus de plantes (Logan et Adams, 1981). Le couvert végétal en croissance représente également une source de phosphore soluble (Sharpley, 1981). Par la suite, une partie du phosphore soluble relâché peut être réadsorbé par les particules de sol érodé durant le ruissellement (Sharpley et al., 1981b).

2.2.2.2 Facteurs influençant les concentrations en phosphore soluble dans les eaux de ruissellement agricole

2.2.2.2.1 Phosphore extractible à l'eau dans le sol

Sharpley et al. (1982) ont observé une relation linéaire significative entre la quantité de phosphore extractible à l'eau à la surface du sol avant la pluie et la concentration en DMRP dans le ruissellement. Romkens et Nelson (1974) ont observé le même phénomène. La quantité de phosphore extractible à l'eau est fonction du pourcentage d'argile dans le sol (Sharpley et al., 1982).

2.2.2.2.2 Concentration en sédiments dans l'eau de ruissellement

Selon Sharpley et al. (1981b), la concentration de phosphore soluble diminue lorsque la concentration de sédiments dans le ruissellement augmente (voir figure 2.3).

2.2.2.2.3 Application de fertilisants phosphatés

La concentration en orthophosphates solubles est proportionnelle au taux d'application des fertilisants phosphatés lorsque ces derniers sont appliqués à la surface du sol (Romkens et Nelson, 1974). Baker et Laflen (1982) ont également obtenu une augmentation de la concentration d'orthophosphates suite à l'application de fertilisants phosphatés à la surface du sol. Par contre, l'incorporation des fertilisants dans le sol (5 cm de profondeur) n'a permis aucune augmentation de concentration en orthophosphates comparativement au témoin non fertilisé.

2.2.2.2.4 Pourcentage de résidus à la surface du sol

La concentration en orthophosphates solubles augmente lorsque le pourcentage de résidus en surface augmente (Barisas et al., 1978; Baker et Laflen, 1982; Mostaghimi et al., 1988). Barisas et al. (1978) attribuent cette augmentation de concentration au lessivage des résidus. Pour leur part, Baker et Laflen (1982) expliquent l'augmentation de la concentration en DMRP par la diminution de la quantité de sédiments en suspension plutôt qu'au lessivage des résidus. Selon Mostaghimi et al. (1988), l'augmentation de concentration en phosphore

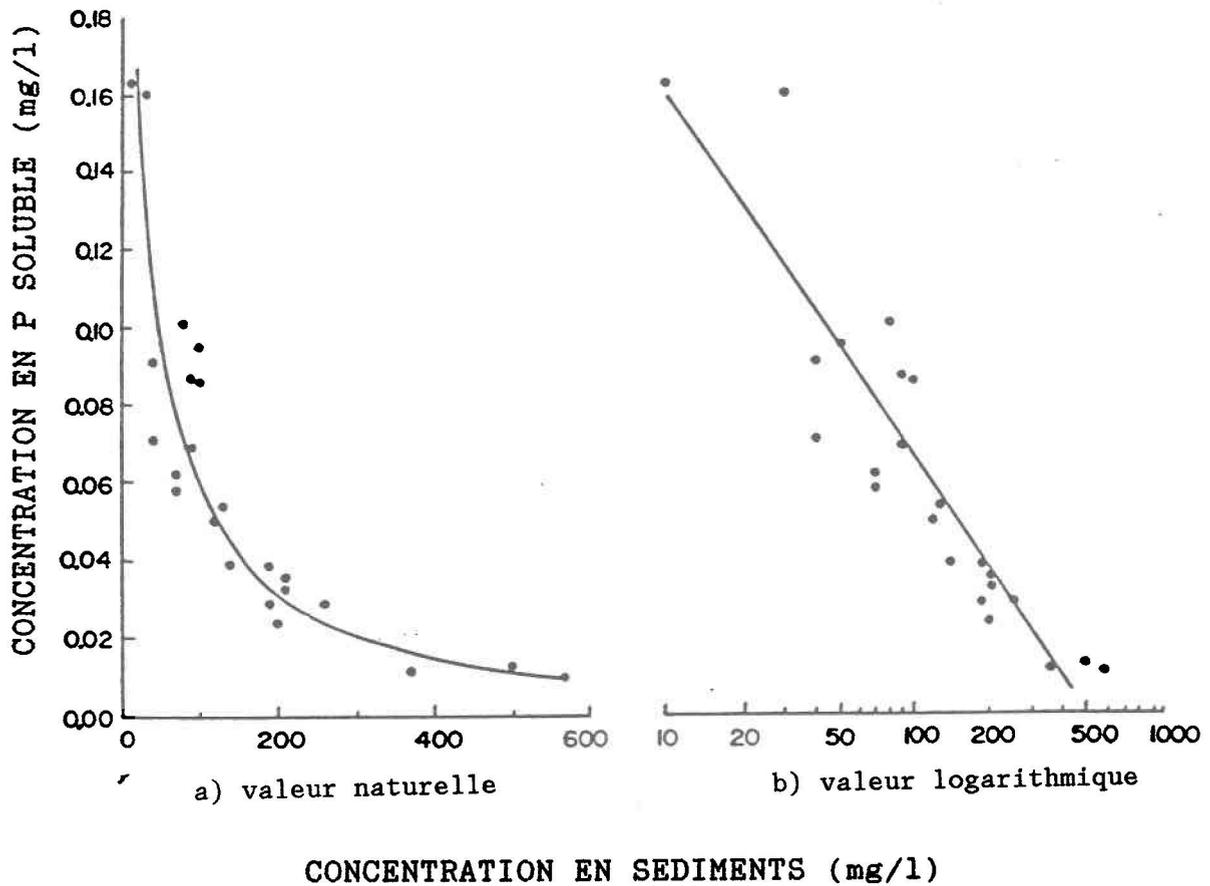


Figure 2.3

Relation entre la concentration de phosphore soluble et la concentration de sédiments dans le ruissellement (Sharpley et al., 1981b).

soluble est due aux deux facteurs, soit le lessivage des résidus et la diminution de la quantité de sédiments en suspension.

2.2.2.2.5 Présence d'un couvert végétal

La concentration en phosphore soluble est plus élevée dans un sol cultivé que dans un sol nu. Cette différence est attribuable au lessivage en provenance du couvert végétal en croissance. De plus, la concentration augmente avec l'âge de la plante (Sharpley, 1981).

2.2.2.2.6 Pente du terrain

Selon Ahuja et al. (1982), une augmentation du pourcentage de pente provoque un accroissement linéaire de la concentration de phosphore soluble total.

2.2.2.2.7 Intensité de la pluie

Sharpley et al. (1981a) ont obtenu une diminution de la concentration en phosphore soluble en augmentant l'intensité de la pluie. Ils attribuent cette baisse à l'augmentation de la concentration des sédiments en suspension qui augmentent la capacité d'adsorption dans le ruissellement.

2.3 LE PHOSPHORE BIODISPONIBLE

Le phosphore inorganique dissous ($H_2PO_4^-$ et HPO_4^{2-}) est la forme de phosphore directement utilisable par les algues (Wendt et Alberts, 1984) et il représente 30% du phosphore biodisponible total (Andraski et al., 1985b). Les autres

formes de phosphore soluble (condensé et organique) deviennent disponibles suite à leur conversion en DMRP soit par hydrolyse pour le phosphore condensé et par minéralisation biologique dans le cas du phosphore organique (Sonzogni et al., 1982).

Pour sa part, le phosphore particulaire n'est pas immédiatement disponible pour les algues. Cependant, une certaine fraction du phosphore particulaire peut devenir disponible lorsque la concentration en DMRP diminue (Mueller et al., 1981). Selon Dorich et al., (1980), 20% du phosphore total dans les particules de sol érodé est biodisponible. Le phosphore organique particulaire et la fraction AIP ne sont pas utilisables par les algues à court terme tandis qu'entre 38 et 83% de la fraction NAIP est utilisable (Williams et al., 1980).

Comme la majorité du phosphore dans les eaux de ruissellement agricole est associé aux sédiments, les effets du ruissellement agricole sur la qualité des eaux réceptrices ne peut être complètement évalué sans que la biodisponibilité du phosphore dans les sédiments en suspension ne soit déterminée (Dorich et al., 1984).

2.3.1 Détermination de la biodisponibilité du phosphore particulaire

Il existe 2 approches pour déterminer la biodisponibilité du phosphore particulaire: les bioessais et les extractions chimiques.

2.3.1.1 Bioessais

Un bioessai représente une mesure plus réaliste de la quantité de phosphore particulaire qui est utilisable par les algues (Young et al., 1985). Par contre, l'utilisation des bioessais pour déterminer la biodisponibilité du phosphore particulaire représente une méthode fastidieuse, elle ne permet d'analyser qu'un nombre limité d'échantillons et la période de temps avant d'obtenir des résultats peut s'étendre jusqu'à un mois (Grobler et Davies, 1979). De plus, étant donné que plusieurs jours sont nécessaires pour la croissance des algues, la relation entre le résultat des bioessais et la biodisponibilité du phosphore à court terme peut être invalide. Cette dernière est importante parce que la période de temps durant laquelle le sol érodé est présent dans la zone photique est relativement courte (Huettl et al., 1979). Les résultats des bioessais peuvent également être éronnés à cause de la présence de composés toxiques (pesticides) qui peuvent inhiber la croissance des algues (Young et al., 1985).

Cependant, l'utilisation de bioessais parallèlement à des extractions chimiques a permis de caractériser les différentes formes de phosphore particulaire qui sont disponibles et donc, à développer des méthodes d'extractions chimiques (Sagher, 1976; Grobler et Davies, 1979; Huettl et al., 1979; Dorich et al., 1980; Williams et al., 1980; Depinto et al., 1981; Dorich et al., 1984; Dorich et al., 1985; Young et al., 1985).

2.3.1.2 Extractions chimiques

Les méthodes d'extractions chimiques offrent de nombreux avantages dont le plus important est qu'elles sont rapides à effectuer et qu'elles permettent d'analyser une grande quantité d'échantillons en une courte période de temps (Grobler et Davies, 1979).

Dans la littérature, 2 méthodes d'extractions chimiques sont fréquemment utilisées pour déterminer la biodisponibilité du phosphore particulaire: l'extraction au NaOH 0,1N et l'extraction avec une résine cationique hydroxy-Al.

2.3.1.2.1 Extraction au NaOH 0,1N

Il existe une forte relation entre l'utilisation du phosphore particulaire par les algues et la quantité de phosphore extraite au NaOH 0,1N (Sagher, 1976; Williams et al., 1980; Dorich et al., 1984; Dorich et al., 1985; Young et al., 1985).

Sagher (1976) recommande donc une simple extraction au NaOH 0,1N au rapport sol:solution de 1:1000 ou plus afin d'évaluer le phosphore inorganique particulaire biodisponible dans les sols. Williams et al. (1980) ont adapté cette méthode pour les sédiments dans les lacs en utilisant un rapport sol:solution de 1:1000. La fraction extraite au NaOH représente le phosphore disponible à court terme car cette fraction contient le phosphore particulaire le plus labile et le plus facilement échangeable (Logan, 1978).

2.3.1.2.2 Extraction avec résine cationique hydroxy-Al

Huettl et al. (1979) ont observé une forte corrélation ($r=0,98$) entre la quantité de phosphore biodisponible déterminée par des bioessais et celle obtenue par extractions avec une résine cationique hydroxy-Al. La quantité de phosphore enlevée par la résine représentait, en moyenne, 98% de la quantité de phosphore utilisée par l'algue Selenastrum Capricornutum. La résine agit comme un réservoir pour le phosphore en solution favorisant ainsi la désorption du phosphore lié aux sédiments (Sonzogni et al., 1982).

2.4 LE PHOSPHORE ET LA QUALITÉ DE L'EAU

Le phosphore n'est pas toxique même aux fortes concentrations que contiennent parfois les eaux libres (Switzer-Howse et Coote, 1984). Cependant, le phosphore est considéré comme l'élément majeur dans l'eutrophisation des cours d'eau (Sonzogni et al., 1982).

L'eutrophisation est la conséquence de l'enrichissement d'un cours d'eau en nutriments (Grobler et Davies, 1979) qui se traduit par une augmentation des macrophytes, des algues périphtiques et planctoniques dans les zones littorales et pélagiques (Vollenweider, 1968; Couillard et Trudel, 1981).

La croissance excessive de plantes aquatiques cause des problèmes multiples. Par exemple, elles sont inesthétiques et gâchent les plages; elles épuisent les concentrations d'oxygène lorsqu'elles se décomposent, éliminant ainsi les

poissons et organismes aérobies et elles produisent des odeurs et des goûts désagréables (Switzer-Howse et Coote, 1984).

Selon Campbell et al. (1976), une concentration en phosphore inorganique soluble de 0,009 mg/l dans un cours d'eau est acceptable tandis qu'une concentration de 0,027 mg/l représente un seuil critique à partir duquel on peut s'attendre à une surabondance de végétation aquatique.

2.5 EFFET DU TRAVAIL DU SOL SUR L'ÉROSION, LE RUISSELLEMENT ET SUR LA QUALITÉ DES EAUX DE RUISSELLEMENT

Les pratiques culturales permettent de rencontrer les objectifs suivants:

- Améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol cultivé.
- Détruire la végétation inutile, incorporer les résidus, les amendements, les fertilisants et les pesticides.
- Rendre le sol propice aux opérations de semis, d'entretien et de récolte et créer un bon lit de semence (C.P.V.Q., 1986b).

2.5.1 Description des différentes pratiques culturales

2.5.1.1 Travail conventionnel

Le labour conventionnel (CN) se distingue des autres méthodes par l'utilisation de la charrue à corps (Mueller et al., 1981). Il se fait en 2 étapes: une opération primaire (labour) et une ou des opérations secondaires (disquage

et/ou hersage) (C.P.V.Q., 1986b). Le labour conventionnel résulte en un retournement complet de la couche de labour permettant ainsi l'incorporation des fertilisants, du fumier et des résidus de la culture en profondeur. Ce système produit une surface lisse et dénudée (Sinukaban, 1981). D'après Andraski et al. (1985a), le labour conventionnel ne permet de recouvrir de résidus que 3% de la surface totale du sol.

2.5.1.2 Méthodes de conservation des sols

Toutes les façons culturales qui réduisent le retournement de la couche arable et qui favorisent le maintien des résidus organiques, des amendements et des fertilisants à la surface du sol font partie des pratiques culturales de conservation des sols (C.P.V.Q., 1986a). Le travail réduit consiste à éliminer totalement certaines opérations (le labour par exemple) ou à les remplacer par d'autres généralement plus rapides ou moins exigeantes en énergie (C.P.V.Q., 1986b).

Ces méthodes de conservation laissent, selon la méthode utilisée, des quantités variables de résidus à la surface du sol augmentant ainsi la capacité de rétention de l'eau (Sinukaban, 1981). Les méthodes de conservation les plus fréquemment utilisées dans les travaux de recherche sur l'érosion des sols sont: le chisel (CH), le semis direct (NT), le labour et semis combinés (TP) et la culture sur billons.

2.5.1.2.1 Chisel

Dans ce système, la charrue à corps est remplacée par le chisel. Le chisel n'inverse pas le sol comme le fait la charrue à corps (Sinukaban, 1981). Selon Mueller et al. (1981), l'utilisation de ce système permet de conserver entre 40 et 75% des résidus à la surface du sol et de former une surface rugueuse.

2.5.1.2.2 Labour et semis combinés (TP)

Cette méthode permet de combiner le labour et le semis en une seule opération. Malgré le fait qu'il n'y ait pas d'opérations primaires, seulement 30 à 40% des résidus sont laissés à la surface parce que la machinerie utilisée pour ce système enterre une portion des résidus entre les rangs (Mueller et al., 1981). L'utilisation de cette méthode permet de recouvrir de résidus 20% de la surface totale du sol (Johnson et al., 1977).

2.5.1.2.3 Aucun labour ou semis direct (NT)

Le semis direct est la forme extrême des pratiques culturales minimales et la plus efficace au point de vue conservation des sols. Elle ne nécessite aucune préparation, autre que l'ouverture d'une étroite tranchée de largeur et profondeur suffisante pour déposer le grain de semence. Les résidus restent entièrement à la surface du sol tout au long de l'année, permettant une protection maximale du sol contre l'érosion, l'impact des gouttes de pluie et le ruissellement (C.P.V.Q., 1986a). Selon Mueller et al. (1982), le semis direct permet de recouvrir de résidus 62% de la surface totale du sol.

2.5.1.2.4 Culture sur billons

La culture sur billons est une pratique complémentaire aux façons culturales réduites et consiste à cultiver année après année des plantes annuelles sur des rangs surélevés. Cette méthode permet de concentrer entre les billons les résidus de culture associés aux pratiques culturales de conservation des sols (C.P.V.Q., 1986a). Sur des parcelles de sol non-labourées et cultivées sur billons, Johnson et al. (1977) ont remarqué que 45% de la surface totale du sol était recouverte de résidus.

2.5.2 Effet des pratiques culturales sur le volume de ruissellement

Parce qu'elles laissent des quantités appréciables de résidus à la surface du sol, les pratiques culturales de conservation des sols favorisent l'infiltration de l'eau dans le sol diminuant ainsi le volume de ruissellement (Logan et Adams, 1981). L'efficacité des pratiques culturales à réduire le volume de ruissellement est reliée au pourcentage de résidus qu'elles laissent à la surface du sol et diminuent, donc, dans l'ordre suivant: semis direct > chisel > labour et semis combinés > labour conventionnel (Mueller et al., 1982). Deizman et al. (1987) et Pesant et al. (1987) ont mesuré des diminutions du volume de ruissellement de plus de 60% sur des parcelles de sol non labourées comparativement aux mêmes parcelles labourées conventionnellement.

2.5.3 Effet sur les pertes de sol

Les pratiques culturales de conservation des sols diminuent les pertes de sol parce qu'elles réduisent le volume de ruissellement et les concentrations de

sédiments dans les eaux de ruissellement (Mueller et al., 1982). McDowell et McGregor (1984), Deizman et al. (1987) et Pesant et al. (1987) ont observé des diminutions de pertes de sol d'environ 90% sur des parcelles de sol non labourées par rapport aux témoins labourés conventionnellement. Le chisel est moins efficace que le semis direct pour contrer l'érosion (Andraski et al. 1985a; Sinukaban, 1981). La distribution de la taille des particules sera également affectée par les pratiques culturales (voir tableau 2.1). La concentration en particules fines dans le sol érodé est significativement plus élevée (au niveau $p=0,05$) pour le NT et le CH que pour les parcelles labourées conventionnellement parce que les résidus retiennent les particules grossières (Sinukaban, 1981).

2.5.4 Pertes de phosphore total

Les pratiques culturales de conservation des sols réduisent les pertes de phosphore total parce qu'elles réduisent les pertes de sol (Johnson et al., 1979). Mueller et al. (1984) ont mesuré des pertes de phosphore total de 237, 92 et 71 g/m² pour le CN, le CH et le TP respectivement. Pour leur part, Andraski et al. (1985b) ont obtenu des diminutions des pertes de phosphore total de 81, 70 et 59% par rapport au CN, pour le NT, CH et TP respectivement. Sur des parcelles de sol non labourées, Deizman et al. (1987) ont observé une diminution des pertes de phosphore total de 94% comparativement aux mêmes parcelles alors labourées conventionnellement.

Tableau 2.1

Effet des pratiques culturales sur la distribution
de la taille des particules érodées.

Pratique culturale	% des sédiments		
	Sable (50 - 2 000 µm)	Limon (2 - 50 µm)	Argile (< 2 µm)
Labour (CN)	6,5 a*	73,0 c	20,5 a
Chisel (CH)	5,9 a	46,3 b	47,8 b
Semis direct(NT)	3,9 a	23,8 a	72,3 c

Tiré de Sinukaban (1981)

* pour chaque colonne, les nombres suivis d'une même lettre ne sont pas différents significativement au niveau 5%.

2.5.5 Pertes de phosphore particulaire

Malgré le fait qu'elles augmentent les concentrations de phosphore total dans le sol érodé et le PER, les pratiques culturales de conservation des sols permettent la réduction des pertes totales de phosphore particulaire (tableau 2.2) (Sinukaban, 1981). McDowell et McGregor (1984) ont mesuré des pertes annuelles moyennes de phosphore particulaire de 17,4 kg/ha pour les parcelles de sol labourées contre seulement 1,2 kg/ha pour les mêmes parcelles non-labourées. Cependant, le phosphore particulaire représentait 99% du phosphore total pour le CN tandis qu'il ne représentait que 60% du phosphore total dans le cas du NT.

2.5.6 Pertes de phosphore soluble

En ce qui concerne les pertes de phosphore soluble, les résultats semblent très contradictoires. Johnson et al. (1977) ont mesuré des concentrations de DMRP de 0,18, 0,50 et 0,73 mg/l respectivement pour le CN, le TP et le NT sur billons. Ils attribuent cette augmentation de concentration à la mauvaise incorporation des fertilisants associée aux pratiques culturales de conservation des sols. Barisas et al. (1978) ont observé une augmentation des concentrations et des pertes totales de DMRP dans l'ordre suivant: CN < TP < CH < NT. Ils expliquent l'augmentation des pertes de DMRP par la mauvaise incorporation des fertilisants ainsi que par le lessivage des résidus qui est plus important dans le cas des méthodes de conservation.

En injectant les fertilisants sous la surface du sol, Mueller et al. (1982) n'ont observé aucune différence dans les concentrations en DMRP dans les eaux

Tableau 2.2

Effet des pratiques culturales sur les pertes de phosphore particulaire.

Pratique culturale	Pertes de phosphore particulaire (kg/ha)	Concentration en phosphore dans le sol érodé ($\mu\text{g/g}$)	PER
Labour (CN)	4,4 a*	300 a	0,62 a
Chisel (CH)	1,6 b	700 ab	1,39 ab
Semis direct(NT)	1,1 bc	1 400 b	2,44 b

Tiré de Sinukaban (1981)

* à l'intérieur de chaque colonne, les nombres suivis d'une même lettre ne sont pas différents significativement au niveau 5%.

de ruissellement provenant de parcelles traitées selon 4 pratiques culturales différentes (CN, NT, TP et CH). Cependant, les pertes totales de DMRP ont diminué de 80%, 75% et 40% par rapport aux parcelles labourées conventionnellement, pour le NT, CH et TP respectivement. Pour leur part, Mueller et al. (1984) et Andraski et al. (1985b) n'ont observé aucune différence significative dans les concentrations et dans les pertes totales de DMRP pour différentes pratiques culturales après avoir injecté les fertilisants sous la surface du sol.

Sinukaban (1981) a mesuré des concentrations en phosphore soluble total de 0,02, 0,39 et 0,67 mg/l pour le CN, le CH et le NT respectivement. Il attribue les différences de concentration uniquement au lessivage des résidus car les fertilisants ont été incorporés sous la surface du sol. En injectant également les fertilisants sous la surface du sol, McDowell et McGregor (1984) ont observé des pertes annuelles de phosphore inorganique soluble de 0,8 kg/ha pour des parcelles non-labourées contre seulement 0,1 kg/ha pour les parcelles labourées conventionnellement. Tout comme Sinukaban (1981), ils attribuent la différence dans les pertes de phosphore soluble au lessivage des résidus qui est plus important dans le cas des parcelles non-labourées.

2.5.7 Pertes de phosphore biodisponible

Mueller et al. (1982) ont obtenu des diminutions des pertes de phosphore biodisponible, comparativement aux parcelles labourées, de 95% pour le NT et de 90% pour le CH. Mueller et al. (1984) ont mesuré des pertes annuelles de phosphore biodisponible de 52, 20 et 24 g/m² pour le CN, le CH et le NT respectivement. Pour leur part, Andraski et al. (1985b) ont observé des

Tableau 2.3

Tableau récapitulatif. Effet des méthodes de conservation des sols sur le volume de ruissellement, sur l'érosion et sur la qualité des eaux de ruissellement agricole.

Auteurs	Méthode de conservation	VOL	PSP	SeS	PPT	PT	PPP	PS	PER	PID	PPID	PPBT	PBT
Andraski et al. (1985a)	TP	↓*23%	↓ 88%	↓ 69%									
	CH	↓ 47%	↓ 80%	↓ 63%									
	NT	↓ 27%	↓ 93%	↓ 78%									
Andraski et al. (1985b)	TP		↓ 59%							↔		↓ 27%	
	CH		↓ 70%							↔		↓ 58%	
	NT		↓ 81%							↔		↓ 63%	
Angle et al. (1984)	NT	↓ 81%	↓ 87%	↓ 90%							↔		
Deizman et al. (1987)	NT	↓ 67%	↓ 92%										
Johnson et al. (1977)	TP		↓ 62%										
	NT		↓ 89%										
McDowell et McGregor (1984)	NT	↓ 37%	↓ 97%		↓ 89%			↑ 163%	↑ 175%	↑ 137%	↑ 700%		
Mueller et al. (1982)	TP	↓ 63%	↓ 89%	↓ 72%						↔	↓ 40%	↓ 78%	↓ 35%
	CH	↓ 80%	↓ 94%	↓ 77%						↔	↓ 75%	↓ 80%	↓ 65%
	NT	↓ 86%	↓ 94%	↓ 80%						↔	↓ 80%	↓ 95%	↓ 65%
Mueller et al. (1984)	CH				↓ 61%	↓ 37%						↓ 62%	↔
	NT				↓ 70%	↓ 80%						↓ 54%	↓ 67%
Pesant et al. (1987)	NT	↓ 64%	↓ 92%		↓ 94%								
Simukaban (1981)	TP		↓ 84%				↓ 80%	↑ 200%	↑ 203%	↑ 2750%	↑ 2600%		
	CH		↓ 94%				↓ 64%	↑ 133%	↑ 124%	↑ 1850%	↑ 2500%		
	NT		↓ 94%				↓ 75%	↑ 367%	↑ 290%	↑ 3250%	↑ 5300%		

Légende

↓ - %: % de diminution par rapport au labour conventionnel.

↑ - %: % d'augmentation par rapport au labour conventionnel.

↔ : Aucune différence significative par rapport au labour conventionnel.

diminutions des pertes de phosphore biodisponible de 63%, 58% et 27% respectivement pour le NT, CH et TP.

2.6 MATIÈRE ORGANIQUE DANS LES EAUX DE RUISSELLEMENT

La matière organique est très facilement érodée et transportée (Switzer-Howse et Coote, 1984). Lowrance et Williams (1988) rapportent que le carbone organique dans le sol est un des premiers éléments enlevés par le processus de l'érosion parce qu'il a une faible densité et qu'il est concentré à la surface du sol. Sharpley (1985b) a mesuré les rapports d'enrichissement en carbone organique dans le sol érodé provenant de 6 sols différents. Il a obtenu des valeurs se situant entre 1,48 et 2,46. Le carbone organique est également transporté sous forme soluble (Schreiber et McGregor, 1979).

Sinukaban (1981) a étudié l'effet des pratiques culturales sur le transport de la matière organique dans les eaux de ruissellement. Il a observé que la concentration en matière organique dans le matériel érodé est plus élevée dans le cas de l'utilisation des méthodes de conservation des sols. Cependant, les pertes totales de matière organique ont diminué de 80 et 71% pour le NT et le CH respectivement, comparativement aux parcelles labourées conventionnellement.

Pour leur part, Schreiber et McGregor (1979) ont comparé l'effet de 2 pratiques culturales (CN et NT) sur le transport du carbone organique ainsi que sur les demandes chimiques et biochimiques en oxygène dans les eaux de ruissellement provenant de parcelles de sol ensemencées en maïs. Ils ont mesuré des pertes annuelles de carbone organique total (soluble + particulaire) de 279 kg/ha pour le CN contre seulement 41 kg/ha pour les parcelles non labourées. Cependant,

44% du carbone organique perdu était dans la phase soluble pour le NT tandis que dans le cas du CN, le carbone organique soluble ne représentait que 7% des pertes totales de carbone organique total. Les concentrations en carbone organique dans la phase soluble ont été plus élevées pour le NT que pour le CN à cause du lessivage des résidus qui est plus important dans le cas du NT. Les concentrations en carbone organique dans la phase solide augmente avec le pourcentage de résidus parce que ces derniers favorisent l'érosion sélective des particules fines. Ils ont ainsi observé des ER en carbone organique de 2,0 pour le NT et de 1,5 pour le CN. Par contre, les pertes totales de carbone organique particulaire ont été plus élevées pour le CN étant donné les plus grandes pertes de sol occasionnées par cette méthode.

Pour ce qui est de la demande chimique en oxygène (DCO), elle est directement reliée à la concentration en carbone organique aussi bien dans la phase soluble ($r=0,99$) que dans la phase solide ($r=0,96$). Quant à la demande biochimique en oxygène pour 5 jours (DBO_5), Schreiber et McGregor (1979) ont observé des valeurs annuelles moyennes semblables pour les 2 pratiques culturales, soit de 19,2 mg O_2/l pour le NT et de 19,6 mg O_2/l pour le CN.

REMERCIEMENTS

Je désire exprimer ma reconnaissance à monsieur Denis Couillard, qui a assuré la direction de cette thèse, pour toute sa disponibilité, ses conseils toujours très judicieux et son support tout au long de ce travail.

Je remercie également monsieur Claude Bernard pour sa collaboration à la partie expérimentale et pour ses nombreux conseils durant les différentes étapes de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à tout le personnel du laboratoire de l'INRS-Eau. Finalement, je remercie madame Suzanne Dussault pour sa contribution à la présentation finale de ce mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
REMERCIEMENTS	i
RÉSUMÉ	iii
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES FIGURES	xiii
NOMENCLATURE	xvii
CHAPITRE 1 - INTRODUCTION	
1. INTRODUCTION	3
CHAPITRE 2 - REVUE DE LITTÉRATURE	
2. REVUE DE LITTÉRATURE	9
2.1 Le phosphore dans le sol	9
2.1.1 Le phosphore dans la solution de sol	9
2.1.2 Le phosphore dans la phase solide	9
2.1.2.1 Phosphore organique	9
2.1.2.2 Phosphore inorganique	11
2.1.3 Application de fertilisants phosphatés	11
2.2 Le phosphore dans les eaux de ruissellement agricole	12
2.2.1 Le phosphore particulaire	12
2.2.1.1 Mécanisme de l'érosion et du transport du phosphore particulaire	14
2.2.1.2 Facteurs influençant l'érosion et les pertes de phosphore particulaire	15
2.2.1.2.1 Pente de terrain	15
2.2.1.2.2 Pluviométrie	15
2.2.1.2.3 Présence d'un couvert végétal	16
2.2.1.2.4 Pourcentage de résidus à la surface du sol	16
2.2.1.2.5 Texture et état physique du sol ...	17

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
2.2.2 Le phosphore soluble	18
2.2.2.1 Processus de relâchement du phosphore soluble	18
2.2.2.2 Facteurs influençant les concentrations en phosphore soluble dans les eaux de ruissellement agricole	19
2.2.2.2.1 Phosphore extractible à l'eau dans le sol	19
2.2.2.2.2 Concentration en sédiments dans l'eau de ruissellement	20
2.2.2.2.3 Application de fertilisants phosphatés	20
2.2.2.2.4 Pourcentage de résidus à la surface du sol	20
2.2.2.2.5 Présence d'un couvert végétal	22
2.2.2.2.6 Pente du terrain	22
2.2.2.2.7 Intensité de la pluie	22
2.3 Le phosphore biodisponible	22
2.3.1 Détermination de la biodisponibilité du phosphore particulaire	23
2.3.1.1 Bioessais	24
2.3.1.2 Extractions chimiques	25
2.3.1.2.1 Extraction du NaOH 0,1N	25
2.3.1.2.2 Extraction avec résine cationique hydroxy-Al	26
2.4 Le phosphore et la qualité de l'eau	26
2.5 Effet du travail du sol sur l'érosion, le ruissellement et sur la qualité des eaux de ruissellement	27
2.5.1 Description des différentes pratiques culturales	27
2.5.1.1 Travail conventionnel	27
2.5.1.2 Méthodes de conservation des sols	28
2.5.1.2.1 Chisel	29
2.5.1.2.2 Labour et semis combinés (TP)	29
2.5.1.2.3 Aucun labour ou semis direct (NT) .	29
2.5.1.2.4 Culture sur billons	30

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
2.5.2 Effet des pratiques culturales sur le volume de ruissellement	30
2.5.3 Effet sur les pertes de sol	30
2.5.4 Pertes de phosphore total	31
2.5.5 Pertes de phosphore particulaire	33
2.5.6 Pertes de phosphore soluble	33
2.5.7 Pertes de phosphore biodisponible	35
2.6 Matière organique dans les eaux de ruissellement	37
 CHAPITRE 3 - PHASE EXPÉRIMENTALE	
3. PHASE EXPÉRIMENTALE	41
3.1 Terrain	41
3.2 Échantillonnage	44
3.3 Préparation et préservation des échantillons	47
3.3.1 Protocole A	47
3.3.2 Protocole B	50
3.4 Méthodes d'analyse des échantillons	52
3.4.1 Carbone organique dissous	52
3.4.2 Carbone organique dans les particules de sol érodé	52
3.4.3 Demande biochimique en oxygène	53
3.4.4 Demande chimique en oxygène	53
3.4.5 Solides en suspension	54
3.4.6 Orthophosphates	54
3.4.7 Phosphore total	54
3.4.8 Phosphore biodisponible	55
3.4.8.1 Extraction au NaOH	55
3.4.8.2 Extraction avec résine cationique hydroxy-Al .	56
3.5 Analyses de sol	56
3.5.1 Carbone organique	56
3.5.2 Phosphore total	57
3.5.3 Phosphore extractible au NaOH	57
3.6 Résultats bruts	57

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
CHAPITRE 4 - ANALYSE DES RÉSULTATS	
4.1 Analyse statistique	73
4.1.1 Remarques préliminaires	73
4.1.2 Analyse de variance	73
4.1.3 Test de comparaison d'échantillons appariés	78
4.2 Interprétation des résultats	78
4.2.1 Volume de ruissellement	78
4.2.2 Solides en suspension	80
4.2.3 Pertes de sol	84
4.2.4 Phosphore total	88
4.2.4.1 Concentrations en phosphore total dans les eaux de ruissellement	88
4.2.4.2 Concentrations en phosphore total dans les particules de sol érodé	88
4.2.5 Phosphore total dissous	91
4.2.6 Phosphore biodisponible total	96
4.2.6.1 Concentrations en phosphore biodisponible total dans les eaux de ruissellement	96
4.2.6.2 Concentrations en phosphore biodisponible total dans le sol érodé	99
4.2.7 Pertes de phosphore total	102
4.2.8 Pertes de phosphore dissous	102
4.2.9 Pertes de phosphore biodisponible	105
4.3 Comparaisons des deux méthodes d'extraction chimique pour déterminer les concentrations en phosphore biodisponible	109
CHAPITRE 5 - DISCUSSION	
5. DISCUSSION	117
5.1 Biodisponibilité du phosphore dans les eaux de ruissellement agricole	117
5.1.1 Choix d'une méthode d'extraction chimique pour mesurer les concentrations en phosphore biodisponible	117
5.1.2 Pourcentage du phosphore total biodisponible	119

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
5.2 Facteurs influençant la biodisponibilité du phosphore dans les eaux de ruissellement agricole	120
5.2.1 Pratiques culturales	121
5.2.1.1 Effet sur les concentrations en phosphore biodisponible	121
5.2.1.2 Effet sur les pertes de phosphore biodisponible	124
5.2.2 Pente du terrain	126
5.2.2.1 Effet sur les concentrations en phosphore biodisponible	126
5.2.2.2 Effet sur les pertes de phosphore biodisponible	126
5.2.3 Condition antécédente de pluie	130
5.2.4 Quantité de pluie	131
5.2.4.1 Effet sur les concentrations en PBT	131
5.2.4.2 Effet sur les pertes de PBT	132
5.2.5 Intensité maximale de la pluie sur 30 minutes	133
5.2.5.1 Effet sur les concentrations en PBT	133
5.2.5.2 Effet sur les pertes de PBT	135
5.2.6 Érosivité de la pluie	135
5.3 Choix d'une pratique culturale adaptée au climat du Québec ...	137
CONCLUSION	143
BIBLIOGRAPHIE	147
ANNEXES	159

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 2.1: Effet des pratiques culturales sur la distribution de la taille des particules erodées	32
Tableau 2.2: Effet des pratiques culturales sur les pertes de phosphore particulaire	34
Tableau 2.3: Tableau récapitulatif. Effet des méthodes de conservation des sols sur le volume de ruissellement, sur l'érosion et sur la qualité des eaux de ruissellement agricole	36
Tableau 3.1: Caractéristiques chimiques et physiques des parcelles de sol	42
Tableau 3.2: Répartition des traitements sur les parcelles	43
Tableau 3.3: Caractéristiques des pluies échantillonnées	46
Tableau 3.4: Protocole d'analyse utilisé pour les différents échantillonnages	48
Tableau 3.5: Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 1	58
Tableau 3.6: Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 2	59
Tableau 3.7: Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 3	60
Tableau 3.8: Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 4	61
Tableau 3.9: Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 5	62
Tableau 3.10: Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 6	63
Tableau 3.11: Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 7	64
Tableau 3.12: Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 8	65
Tableau 3.13: Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 9	66

LISTE DES TABLEAUX (suite)

	Page
Tableau 3.14: Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 10	67
Tableau 3.15: Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 11	68
Tableau 3.16: Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 12	69
Tableau 3.17: Résultats des analyses de sol	70
Tableau 4.1: Liste des variables incluses dans l'analyse de variance .	74
Tableau 4.2: Analyse de variance (valeurs de F) pour les effets principaux	76
Tableau 4.3: Analyse de variance (valeurs de F) pour les interactions entre les effets principaux	77
Tableau 4.4: Analyse de variance (valeurs de F) pour l'effet des pluies	79
Tableau 4.5: Synthèse des résultats	113

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 2.1: Effet du pH du sol sur les formes de phosphore inorganique dans la solution de sol (Barber, 1984)	10
Figure 2.2: Le phosphore dans les eaux de ruissellement agricole	13
Figure 2.3: Relation entre la concentration de phosphore soluble et la concentration de sédiments dans le ruissellement (Sharpley et al., 1981b)	21
Figure 3.1: Emplacement des cuves au pied des parcelles	45
Figure 3.2: Préparation et préservation des échantillons (protocole A)	49
Figure 3.3: Préparation et préservation des échantillons (protocole B)	51
Figure 4.1: Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur le volume du ruissellement	81
Figure 4.2: Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur le volume de ruissellement	82
Figure 4.3: Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur la quantité de solides en suspension (SeS) ...	83
Figure 4.4: Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les concentrations de solides en suspension dans les eaux de ruissellement	85
Figure 4.5: Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les pertes de sol par parcelle	86
Figure 4.6: Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les pertes de sol par parcelle	87
Figure 4.7: Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les concentrations en phosphore total dans les eaux de ruissellement	89

LISTE DES FIGURES (suite)

	Page
Figure 4.8: Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les concentrations en phosphore total dans les eaux de ruissellement	90
Figure 4.9: Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les concentrations en phosphore total dans le sol érodé	92
Figure 4.10: Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les concentrations en phosphore total dans le sol érodé	93
Figure 4.11: Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les concentrations en phosphore total dissous dans les eaux de ruissellement	94
Figure 4.12: Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les concentrations en phosphore total dissous dans les eaux de ruissellement ...	95
Figure 4.13: Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les concentrations en phosphore biodisponible total dans les eaux de ruissellement	97
Figure 4.14: Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les concentrations en phosphore biodisponible total dans les eaux de ruissellement	98
Figure 4.15: Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les concentrations en phosphore biodisponible total dans le sol érodé	100
Figure 4.16: Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les concentrations en phosphore biodisponible total dans le sol érodé	101
Figure 4.17: Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les pertes de phosphore total par parcelle ...	103

LISTE DES FIGURES (suite)

	Page
Figure 4.18: Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les pertes de phosphore total par parcelle	104
Figure 4.19: Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les pertes de phosphore total dissous par parcelle	106
Figure 4.20: Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les pertes de phosphore total dissous par parcelle	107
Figure 4.21: Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les pertes de phosphore biodisponible total (PBT) et particulaire (PPB) par parcelle	108
Figure 4.22: Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les pertes de phosphore biodisponible total par parcelle	110
Figure 4.23: Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les pertes de phosphore biodisponible particulaire par parcelle	111
Figure 4.24: Relation entre les concentrations en phosphore biodisponible total mesurées par la méthode d'extraction au NaOH et par la méthode de la résine cationique	112
Figure 5.1: Effet relatif des pratiques culturales sur l'érosion, PT et PBT (labour = 100)	125
Figure 5.2: Effet relatif des pratiques culturales sur l'érosion, sur les pertes de PT et sur les pertes de PBT (labour = 100) .	127
Figure 5.3: Effet relatif de la pente du terrain sur l'érosion, sur PT et sur PBT (pente 9,2% = 100)	128
Figure 5.4: Effet relatif de la pente du terrain sur l'érosion, sur les pertes de PT et sur les pertes de PBT (pente 9,2% = 100)	129
Figure 5.5: Effet relatif de I30 sur l'érosion et sur les pertes de PBT (classe 3 = 100)	136

NOMENCLATURE

- AIP : phosphore inorganique apatite;
- API : condition antécédente de pluie;
- CH : chisel;
- CN : labour conventionnel;
- COD : concentration en carbone organique dissous;
- COP : concentration en carbone organique particulaire;
- CorgER : rapport d'enrichissement en carbone organique;
- DBO₅ : demande biochimique en oxygène déterminée en 5 jours;
- DCO-T : demande chimique en oxygène dans l'échantillon total;
- DCO-S : demande chimique en oxygène dans l'échantillon filtré;
- DMRP : concentration en orthophosphates;
- FPBTP : pourcentage du phosphore biodisponible total qui est sous forme particulaire;
- FPBTS : pourcentage du phosphore biodisponible total qui est sous forme soluble;
- FPPB : pourcentage du phosphore particulaire qui est biodisponible;
- FPTB : pourcentage du phosphore total qui est biodisponible;
- HCl-P : concentration en DMRP dans la solution de HCl 0,2N;
- I30 : intensité maximale de la pluie sur une période de 30 minutes;
- NAIP : phosphore inorganique non-apatite;
- NaOHER : rapport d'enrichissement en phosphore extractible au NaOH;
- NaOHP : concentration en phosphore extractible au NaOH dans le sol;
- NaOH-P : concentration en DMRP dans la solution de NaOH 0,1N;

NaOHS : concentration en phosphore biodisponible dans les particules de sol érodé;

NT : aucun labour ou semis direct;

PBT : concentration en phosphore biodisponible total;

PER : rapport d'enrichissement en phosphore;

PNaOHS : pertes de phosphore particulaire biodisponible par parcelle;

PP : concentration en phosphore particulaire;

PPB : concentration en phosphore particulaire biodisponible;

PPPB : pertes de phosphore particulaire biodisponible;

PPBT : pertes de phosphore biodisponible par parcelle;

PPP : pertes de phosphore particulaire par parcelle;

PPSPT : pourcentage du phosphore total qui est sous forme particulaire;

PPSPTD : pourcentage du phosphore total qui est sous forme soluble;

PPT : pertes de phosphore total par parcelle;

PPTD : pertes de phosphore total dissous par parcelle;

PS : concentration en phosphore dans les particules de sol érodé;

PSP : pertes de sol par parcelle;

PT : concentration en phosphore total;

PTD : concentration en phosphore total dissous;

PTP : concentration en phosphore total dans le sol;

SeS : concentration de solides en suspension;

VOL : volume d'eau de ruissellement;

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

CHAPITRE 3

PHASE EXPÉRIMENTALE

3. PHASE EXPÉRIMENTALE

3.1 TERRAIN

La partie terrain de ce travail s'est déroulée à la station de recherche du Service de recherche en sols du MAPAQ, située à St-Lambert-de-Beauce-Nord sur un sol de la série Neubois. Douze parcelles de sol mesurant chacune 15 mètres de longueur par 3,5 mètres de largeur ont été utilisées pour les fins du travail. La moitié des 12 parcelles était sur une pente de 9,2% tandis que les 6 autres étaient localisées sur une pente de 4,6%. Les caractéristiques physiques et chimiques du sol de chacune des parcelles sont données au tableau 3.1. La différence de texture entre les parcelles 1 à 6 et 7 à 12 est due aux travaux de nivellement effectués avant l'établissement des parcelles situées sur la pente de 9,2% dans le but de la rendre uniforme. Cette modification peut affecter les concentrations en phosphore dans le sol érodé puisque son contenu est lié à la texture du sol (Young et al., 1986). Les quantités de sol érodé seront également affectées par cette différence de texture étant donné l'influence de la texture du sol sur le processus d'érosion (Mehuys, 1981).

Trois pratiques culturales (labour conventionnel (CN), chisel (CH) et semis direct sur billons (NT)) ont été testées en 2 répétitions sur chacune des pentes (tableau 3.2). La répartition des traitements sur les parcelles a été faite au hasard. Les 12 parcelles ont étéensemencées en maïs fourrager (hybride 2300 UTM) mais cultivé dans les conditions du maïs grain. Le semis a été fait le 23 mai 1988. Les fertilisants ont été appliqués en 2 étapes: une première application en bande (injection) lors du semis au taux de 400 kg/ha de 10-10-10 et une deuxième application à la volée le 15 juillet au taux de

Tableau 3.1

Caractéristiques chimiques et physiques du sol
dans les parcelles expérimentales

No. de parcelle	% de pente	pH du sol	% M. Org.	% Sable	% Limon	% Argile	TEXTURE
1	9,2	5,5	3,8	40,8	32,4	26,8	Loam
2	9,2	5,7	3,3	36,4	37,6	26,0	Loam
3	9,2	5,8	3,1	37,6	39,2	23,2	Loam
4	9,2	5,7	2,7	37,6	36,4	26,0	Loam
5	9,2	5,9	2,4	36,8	32,0	31,2	Loam argileux
6	9,2	5,9	2,2	32,4	34,4	33,2	Loam argileux
7	4,6	6,1	1,8	50,8	28,0	21,2	Loam sableux
8	4,6	6,3	2,1	51,6	29,2	19,2	Loam sableux
9	4,6	6,3	2,5	55,2	26,4	18,4	Loam sableux
10	4,6	6,3	2,9	61,6	22,2	16,2	Loam sableux
11	4,6	6,3	2,8	65,2	20,4	14,4	Loam sableux
12	4,6	6,3	2,9	58,4	23,4	18,2	Loam sableux

Tableau 3.2

Répartition des traitements sur les parcelles

No de parcelle	Pratique culturale	% de résidus en surface*
1	Labour conventionnel	17
2	Chisel	38
3	Chisel	36
4	Semis direct sur billons	47
5	Labour conventionnel	15
6	Semis direct sur billons	47
7	Labour conventionnel	17
8	Chisel	34
9	Semis direct sur billons	47
10	Labour conventionnel	15
11	Chisel	35
12	Semis direct sur billons	47

* Ces pourcentages ont été mesurés avant le semis.

1600 kg/ha de 10-10-10. Dans le but d'éliminer les mauvaises herbes, il y a eu application d'atrazine au taux de 2,5 kg/ha de matière active lorsque les plants étaient au stade 2-3 feuilles.

Au pied de chaque parcelle, une cuve de 184 cm de largeur par 92 cm de longueur par 64 cm de profondeur (capacité de 1065 litres) était installée dans le but de recueillir les eaux de ruissellement suite aux précipitations (figure 3.1).

La quantité de pluie tombée était mesurée par un pluviographe à augets basculants cumulé sur un pas de temps de 10 minutes. À partir des données du pluviographe, l'énergie cinétique de la pluie, l'intensité maximale sur 30 minutes (I30) et l'érosivité étaient calculées à l'aide des équations de Wischmeier et Smith (1978) converties au Système International d'unités par Foster et al. (1981).

Dans le but de déterminer l'état hydrique du sol avant chaque pluie, la condition antécédente de pluie (API) était calculée à l'aide de l'équation de Hoang (1979). Ce paramètre, qui tient compte de la quantité de pluie tombée dans les 14 jours précédant la pluie échantillonnée, donne une estimation du contenu en eau du sol avant la pluie.

3.2 ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillonnage était effectué après chaque pluie suffisamment importante pour occasionner un ruissellement de surface significatif. Dans chacune des cuves, le volume d'eau de ruissellement recueilli était mesuré et un échantillon de 1 litre était ramassé. Ensuite, les échantillons étaient

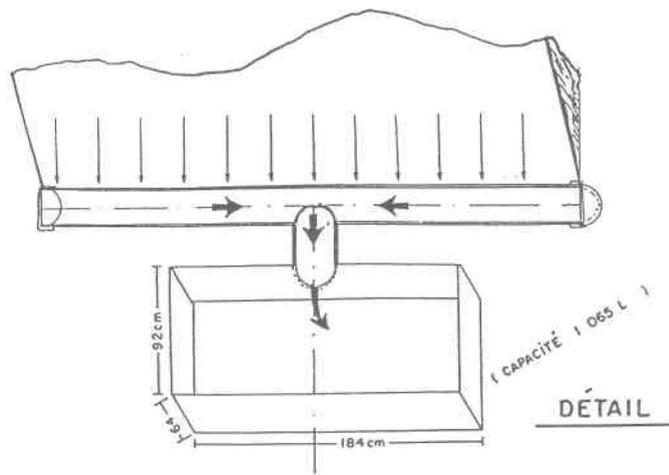
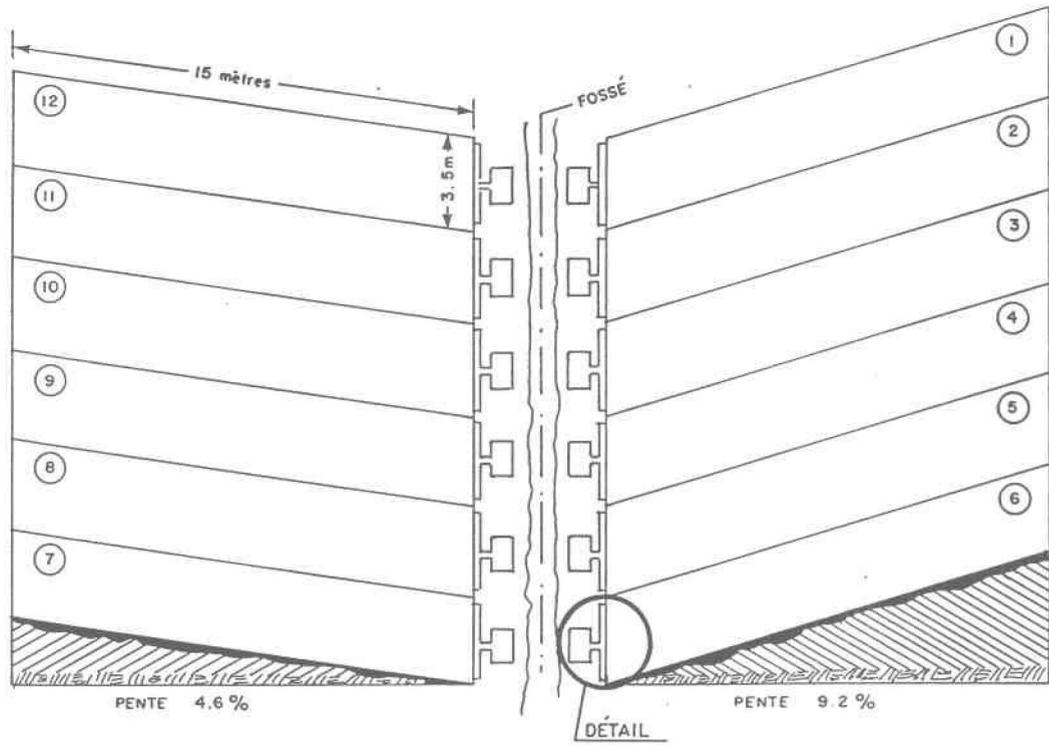


Figure 3.1

Emplacement des cuves au pied des parcelles.

Tableau 3.3

Caractéristiques des pluies échantillonnées

No. de pluie	Date de la pluie	Date d'échantillonnage	API (mm)	Quantité de pluie (mm)	Énergie cinétique (MJ/ha)	I30 (mm/hre)	Érosivité (MJ mm/ha·hre)
1	17/05/88	17/05/88	6,35	34,7	6,06	9,12	55,2
2	22/06/88	23/06/88	7,02	14,1	2,17	11,8	25,6
3	25/06/88	27/06/88	24,7	19,8	3,90	13,0	50,7
4	10/07/88	11/07/88	7,21	27,6	6,43	31,0	199
5	14/07/88	15/07/88	34,5	6,04	1,31	11,6	15,6
6	26/07/88	27/07/88	7,20	15,4	3,25	12,1	39,3
7	03/08/88	04/08/88	14,0	13,2	2,94	15,3	44,9
8	12,14,15/ /08/88	15/08/88	23,9	34,5	6,28	15,3	96,0
9	27/08/88	29/08/88	10,5	6,16	1,05	6,38	6,73
10	20/09/88	21/09/88	3,99	7,30	1,85	7,57	14,0
11	1,2,3/10/ 88	03/10/88	13,3	37,3	6,26	10,7	67,1
12	13/11/88	14/11/88	—	—	—	—	—

transportés au laboratoire de l'INRS-Eau à Ste-Foy. Au total, 12 pluies ont été échantillonnées durant la période comprise entre le 17 mai et le 14 novembre 1988 (tableau 3.3). Pour les pluies no. 2 et no. 10, les données de précipitations d'Environnement Québec ont été utilisées car le pluviographe était hors d'usage à ce moment. Comme ces données ont été cumulées à un pas de temps de 60 minutes, une régression a été faite entre les données obtenues par le pluviographe et celles d'Environnement Québec pour chacun des paramètres (quantité, intensité maximale sur 30 minutes, énergie cinétique et érosivité de la pluie) sur l'ensemble des pluies. Ensuite, les paramètres des pluies manquantes ont été estimés à l'aide de la régression. Pour la pluie no. 12, aucune donnée de précipitation n'est disponible.

3.3 PRÉPARATION ET PRÉSERVATION DES ÉCHANTILLONS

Immédiatement après leur arrivée au laboratoire, les échantillons étaient préservés et préparés pour faciliter les différentes analyses. Deux protocoles d'analyses ont été utilisés en alternance: le protocole A et le protocole B (tableau 3.4). Le protocole A permettait d'analyser les différentes formes de phosphore et la charge en matière organique (COD, COP, DCO-S, DCO-T et DBO₅) tandis que le protocole B ne servait que pour l'analyse des différentes formes de phosphore.

3.3.1 Protocole A

Lorsque ce protocole était utilisé (figure 3.2), 3 sous-échantillons de volumes différents étaient prélevés de l'échantillon initial:

Tableau 3.4

Protocole d'analyse utilisé pour les différents échantillonnages

No. de pluie	Protocole utilisé
1	B
2	A
3	B
4	A
5	B
6	A
7	B
8	A
9	A
10	B
11	A
12	A

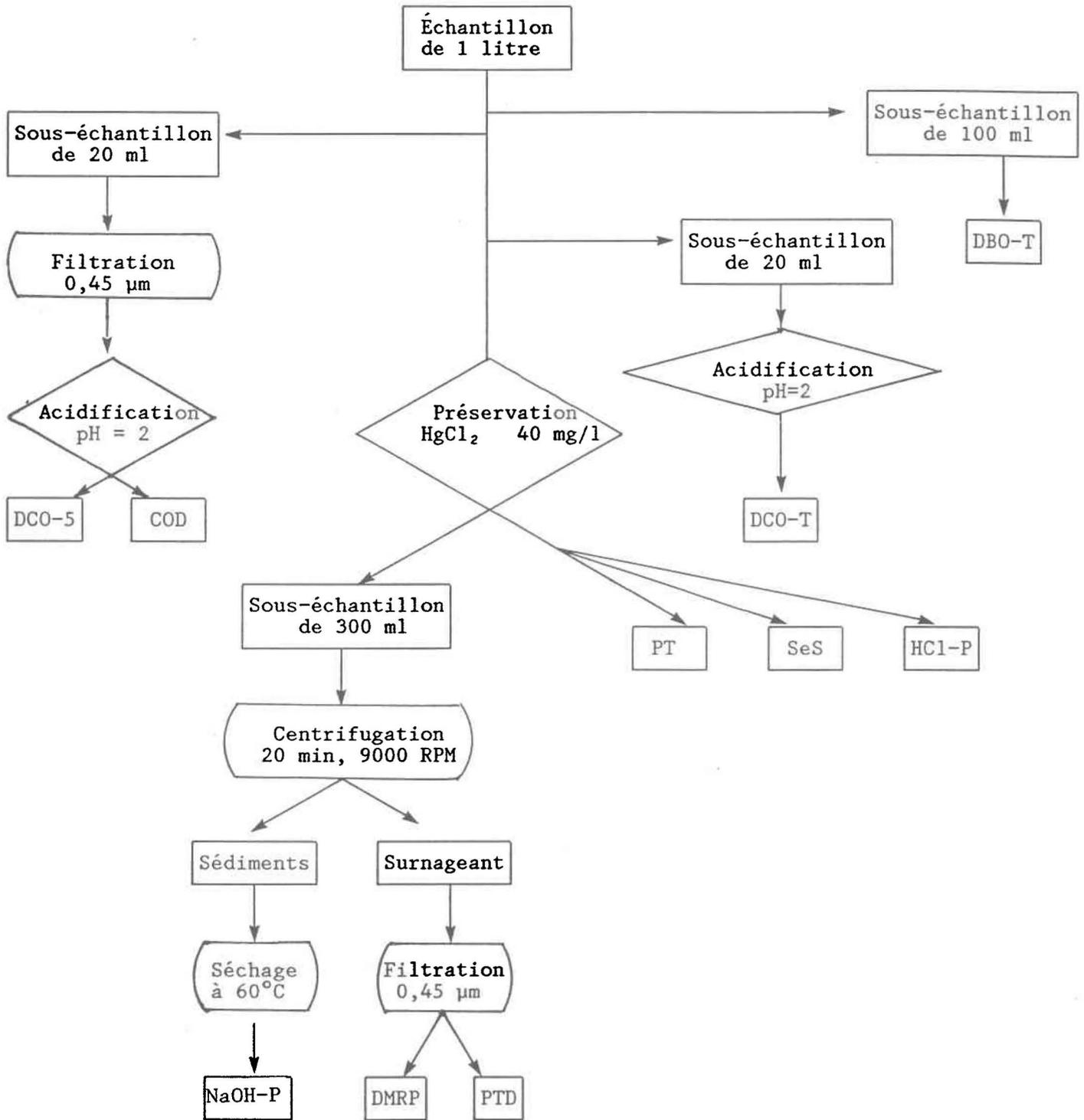


Figure 3.2

Préparation et préservation des échantillons (protocole A).

- 1- un sous-échantillon de 100 ml était dilué 5 fois. La DBO_5 était immédiatement déterminée dans ce sous-échantillon qui ne subissait aucun traitement de préservation;
- 2- un sous-échantillon de 20 ml était filtré sur un filtre millipore de 0,45 μm puis acidifié à $\text{pH}=2$. La DCO-S et le COD étaient mesurés dans ce sous-échantillon;
- 3- un sous-échantillon de 20 ml était acidifié à $\text{pH}=2$ afin d'en déterminer la DCO-T.

Le reste de l'échantillon était préservé en ajoutant du HgCl_2 au taux de 40 mg/l afin d'inhiber l'activité bactérienne (APHA, 1985). Environ 300 ml de cette solution était centrifugée pendant 20 minutes à 9000 RPM. Le surnageant était filtré sur un filtre millipore de 0,45 μm tandis que les sédiments récoltés au fond étaient séchés à 60°C pendant la nuit. Tous les échantillons préservés et préparés étaient réfrigérés à 1°C jusqu'à ce qu'ils soient analysés.

3.3.2 Protocole B

Le protocole B était semblable au protocole A excepté que les 3 premiers sous-échantillons n'étaient pas prélevés. L'échantillon entier était préservé avec du HgCl_2 (figure 3.3).

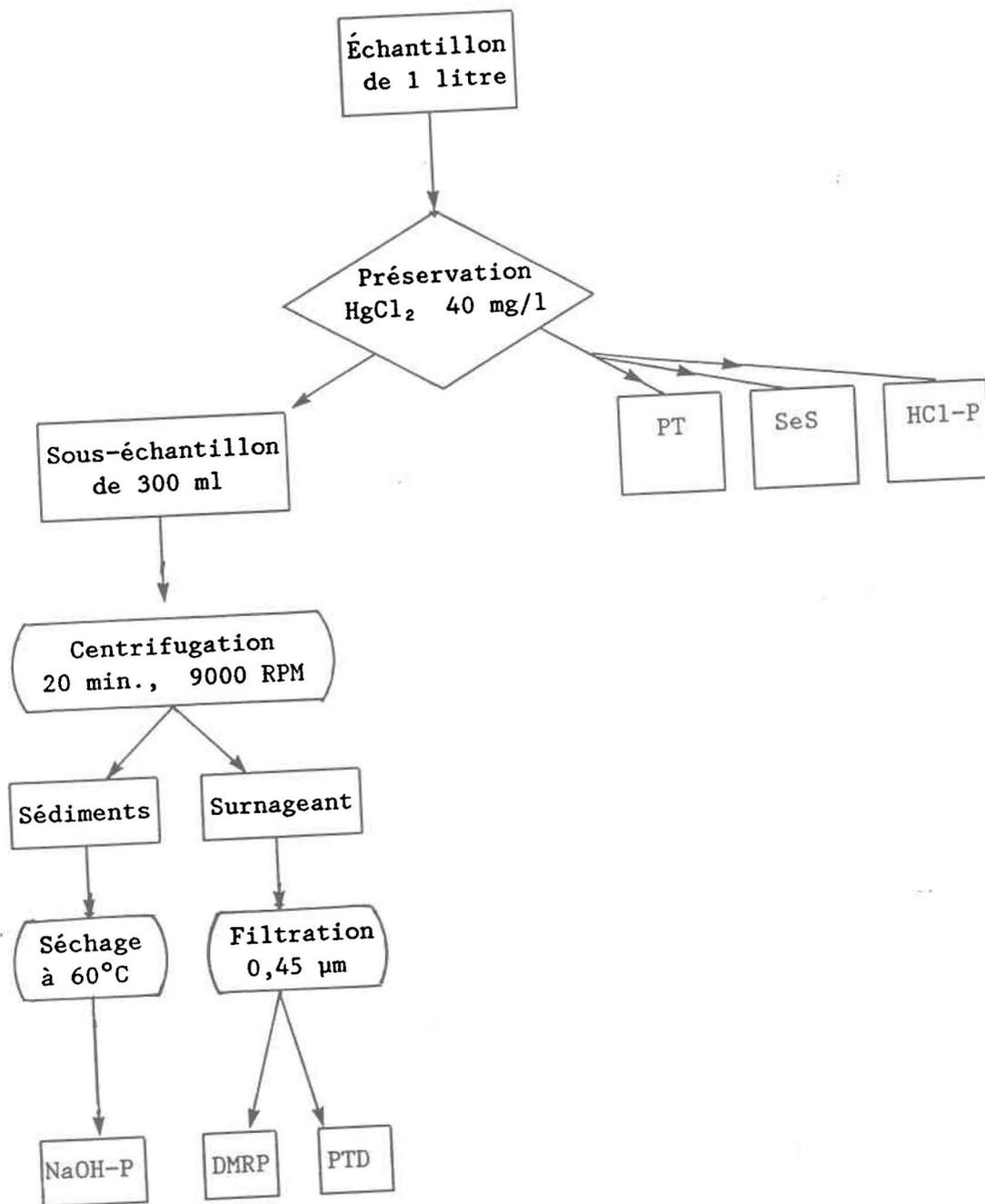


Figure 3.3

Préparation et préservation des échantillons (protocole B)

3.4 MÉTHODES D'ANALYSE DES ÉCHANTILLONS

3.4.1 Carbone organique dissous

La mesure du carbone organique dissous (COD) a été faite par la méthode MENVIQ 86.01/303-C2.1 du Ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ, 1986). Cette méthode consiste d'abord à éliminer le carbone inorganique présent dans l'échantillon par un pré-traitement automatisé. L'échantillon ainsi pré-traité est mélangé avec du persulfate de potassium puis, irradié à l'aide de rayons ultraviolets. L'acide carbonique formé par la décomposition du carbone organique est absorbé dans une solution de NaOH dont la mesure de la conductivité électrique permet de quantifier la concentration en carbone organique dissous.

3.4.2 Carbone organique dans les particules de sol érodé

La teneur en carbone organique dans les particules de sol érodé (COP) a été déterminée à l'aide d'un analyseur NA 1500 Carlo Erba configuré pour le dosage de l'azote, du carbone et du soufre (Carlo Erba Strumentazione, 1986). La méthode consiste à introduire un échantillon contenant environ 5 mg de sol érodé dans une chambre à combustion dont la température est maintenue à 1000°C. Ensuite, l'échantillon passe dans une colonne contenant successivement du trioxyde de tungstène et du cuivre ultra-pur. À la sortie de la colonne, l'échantillon se retrouve sous forme de N₂, CO₂ et SO₂. Ces gaz sont alors séparés dans une colonne à chromatographie où ils sont détectés un à la suite de l'autre par un détecteur de conductivité thermique (DCT). Le DCT traduit par une courbe le contenu en azote, en carbone et en soufre de l'échantillon. Étant

donné que le contenu en carbone inorganique dans le sol de la série Neubois est négligeable, la teneur en carbone total déterminée par cette méthode représente une bonne estimation du contenu en carbone organique des échantillons.

3.4.3 Demande biochimique en oxygène

La demande biochimique en oxygène pour 5 jours (DBO_5) a été mesurée sur les échantillons non filtrés par la méthode No. 507 de Standard Methods (APHA, 1985). Cette méthode consiste à incuber l'échantillon à 20°C pendant 5 jours dans une bouteille à DBO placée à l'obscurité. L'oxygène dissous contenu dans l'échantillon est mesuré avant et après l'incubation. La DBO_5 représente la différence entre la concentration en oxygène dissous avant et après l'incubation. La quantité d'oxygène consommée après 5 jours d'incubation est proportionnelle à la concentration de matière organique assimilée par les micro-organismes (Gariépy, 1987).

3.4.4 Demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène dans la suspension totale (DCO-T) et dans les échantillons filtrés (DCO-S) a été déterminée à l'aide des éprouvettes préparées HACH contenant du dichromate de potassium et un catalyseur d'argent (Hach, 1987). Une digestion de l'échantillon à 150°C est faite, suivie d'une mesure de l'absorbance par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 600 nm. La DCO est proportionnelle à l'absorbance et elle est déterminée à partir d'étalons dont la DCO est connue.

3.4.5 Solides en suspension

La mesure de la quantité de solides en suspension (SeS) a été effectuée en filtrant un volume connu de l'échantillon successivement sur un filtre en fibre de verre GF/C et sur un filtre millipore de 0,45 µm préalablement pesés. Suite à la filtration, les filtres étaient séchés à 60°C pendant la nuit puis repesés après avoir refroidi pendant 15 minutes dans le dessiccateur. L'augmentation de poids des filtres divisée par le volume filtré permet de déterminer la quantité de solides en suspension.

3.4.6 Orthophosphates

La concentration en orthophosphates (DMRP) dans les échantillons filtrés a été déterminée par la méthode #155-71W de Technicon (1973a). Cette procédure automatisée pour la détermination des orthophosphates est basée sur la méthode de Murphy et Riley (1962). Elle dépend de la formation d'un complexe bleu de phosphomolybdène qui est détecté par colorimétrie à 880 nm. Le phosphore qui réagit à ce test colorimétrique est appelé DMRP (Dissolved Molybdate Reactive Phosphorus) et contient en plus des orthophosphates, une petite fraction de phosphore condensé hydrolysé durant la procédure (APHA, 1985).

3.4.7 Phosphore total

La détermination du contenu en phosphore total dans la suspension (PT) et dans la phase soluble (PTD) est faite par la méthode de digestion au persulfate d'ammonium (EPA, 1979 et APHA, 1985). Le principe de cette méthode est que sous l'action de l'acide sulfurique et du persulfate d'ammonium, les polyphosphates

et le phosphore organique sont transformés en orthophosphates solubles. La teneur en orthophosphates dans la solution était ensuite mesurée par la méthode automatisée #90-70W de Technicon (1973b). La différence entre PT et PTD a permis de déterminer la concentration en phosphore particulaire dans l'échantillon (PP).

3.4.8 Phosphore biodisponible

Pour ce qui est de la détermination du phosphore biodisponible, 2 méthodes d'extraction chimique ont été utilisées. La première méthode (extraction au NaOH) a été utilisée pour tous les échantillons et servira à l'interprétation des résultats. La seconde méthode (extraction avec résine cationique) n'a été utilisée que lors des 6 derniers échantillonnages parce que la résine n'était pas disponible au début de l'échantillonnage. Ainsi, les résultats obtenus par cette méthode ne serviront qu'à comparer son efficacité avec la première méthode.

3.4.8.1 Extraction au NaOH

Le contenu en phosphore biodisponible dans les particules de sol érodé (NaOHS) a été mesuré par la méthode de Williams et al. (1980). Cette méthode permet d'extraire sous forme d'orthophosphates solubles, le phosphore particulaire biodisponible. Elle consiste à agiter pendant 17 heures une solution de NaOH 0,1N contenant des particules de sol érodé au rapport sol:solution de 1:1000 (poids:volume). Après la période d'agitation, la solution était centrifugée pendant 15 minutes à 15 000 RPM. La concentration en orthophosphates dans le surnageant (NaOH-P) était alors déterminée par la méthode #90-70W de Technicon (1973b).

3.4.8.2 Extraction avec résine cationique hydroxy-Al

La méthode de Huettl et al. (1979) telle que modifiée par Wendt et Corey (1980) a été utilisée pour déterminer la concentration de phosphore biodisponible dans la suspension totale (sédiments et solution). Cependant, la résine utilisée était une résine Dowex 50X2-100 50-100 mesh plutôt que la résine Dowex 50W-X2 20-50 mesh utilisée par Huettl et al. (1979). Le principe de cette méthode est que la résine attire le phosphore soluble, favorisant ainsi la désorption du phosphore contenu dans les particules de sol érodé. Le phosphore retenu par la résine est ensuite récupéré sous forme d'orthophosphates en nettoyant la résine avec du HCl 0,2N. La concentration en orthophosphates dans la solution de HCl 0,2N (HCl-P) était ensuite déterminée par la méthode #90-70W de Technicon (1973b).

3.5 ANALYSES DE SOL

Des analyses ont été faites sur des échantillons de sol dans le but de mesurer les rapports d'enrichissement (ER) en carbone organique (CorgER), en phosphore total (PER) et en phosphore extractible au NaOH (NaOHER) dans les particules de sol érodé.

3.5.1 **Carbone organique**

Le contenu en carbone organique dans les particules de sol a été déterminé par la méthode décrite en 3.4.2.

3.5.2 Phosphore total

La détermination du contenu en phosphore dans les échantillons de sol (PTP) a été faite par la méthode de digestion au persulfate d'ammonium tel que décrite en 2.4.7. La digestion a été faite sur une suspension contenant de l'eau déminéralisée et du sol au rapport sol:solution de 1:1000 (poids:volume).

3.5.3 Phosphore extractible au NaOH

Le contenu en phosphore extractible au NaOH (NaOHP) dans les particules de sol a été mesuré selon la procédure décrite en 2.4.8.1.

3.6 RÉSULTATS BRUTS

Les tableaux 3.5 à 3.16 donnent les résultats bruts des analyses effectuées sur tous les échantillons d'eau de ruissellement récoltés durant la période d'échantillonnage. Pour sa part, le tableau 3.17 indique les résultats des analyses faites sur les échantillons de sol.

Tableau 3.5

Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 1

No de parcelle	VOL (l)	SeS (mg/l)	PT (mg/l)	PTD (mg/l)	DMRP (mg/l)	NaOH-P (mg/l)
1	21	600	0,874	0,057	0,035	1,14
2	20	554	1,29	0,057	0,047	1,57
3	22	891	1,29	0,068	0,052	1,41
4	22	1 628	1,23	0,112	0,088	0,570
5	22	1 108	2,27	0,052	0,037	1,16
6	22	1 432	1,89	0,074	0,065	1,73
7	18	388	0,725	0,046	0,036	0,648
8	18	320	0,743	0,079	0,056	0,454
9	22	395	0,902	0,096	0,076	1,53
10	22	427	0,613	0,052	0,025	---
11	19	719	1,11	0,057	0,040	0,687
12	22	875	1,57	0,118	0,094	3,34

Tableau 3.6

Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 2.

No. de parcelle	VCL (l)	SeS (mg/l)	PT (mg/l)	PID (mg/l)	DMRP (mg/l)	NaOH-P (mg/l)	COD (mg/l)	COP (%)	DBO ₅ (mg/l)	DCO-T (mg/l)	DCO-S (mg/l)
1	471	16 553	11,3	0,057	0,023	0,228	9,0	1,73	14,2	1 155	28,5
2	142	12 791	10,8	0,035	0,028	0,265	23,0	1,82	18,0	900	31,4
3	92	12 013	10,7	0,063	0,064	0,265	23,0	1,85	23,9	984	86,9
4	55	14 148	10,2	1,36	0,112	0,435	20,0	1,81	27,2	549	31,4
5	530	36 570	23,5	0,071	0,063	0,172	24,0	0,896	18,1	1 474	115
6	83	9 198	14,7	0,156	0,157	0,359	21,0	1,29	22,3	853	73,0
7	233	13 463	6,75	0,030	0,023	0,209	15,5	2,63	16,8	956	31,4
8	100	5 276	3,56	0,074	0,067	0,321	17,8	3,94	22,0	1 435	31,4
9	22	2 702	3,83	0,151	0,151	0,378	18,3	2,85	17,8	268	17,5
10	158	11 168	6,48	0,024	—	0,209	21,1	2,29	12,8	892	31,4
11	22	6 572	4,16	0,085	0,014	0,302	15,5	2,05	15,1	384	0,0
12	22	10 277	8,75	0,205	0,205	0,359	21,6	2,18	13,7	262	0,0

Tableau 3.7

Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 3.

No de parcelle	VOL (l)	SeS (mg/l)	PT (mg/l)	PTD (mg/l)	DMRP (mg/l)	NaOH-P (mg/l)
1	150	6 114	3,94	0,013	0,010	0,246
2	50	5 752	4,26	0,035	0,028	0,265
3	20	3 023	3,49	0,134	0,142	0,321
4	19	3 988	4,12	0,276	0,252	0,435
5	283	14 718	10,7	0,046	0,041	0,191
6	33	4 815	4,45	0,134	0,114	0,454
7	125	5 720	2,22	0,030	0,026	0,209
8	13	1 271	1,78	0,352	0,345	0,378
9	14	1 284	2,06	0,292	0,282	0,473
10	100	4 095	2,89	0,019	0,018	0,191
11	11	2 755	2,41	0,200	0,205	0,302
12	12	3 875	3,77	0,254	0,252	0,331

Tableau 3.8

Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 4.

No. de parcelle	VOL (l)	SeS (mg/l)	PT (mg/l)	FID (mg/l)	DMRP (mg/l)	NaOH-P (mg/l)	COD (mg/l)	COP (%)	DBO ₅ (mg/l)	DCO-T (mg/l)	DCO-S (mg/l)
1	533	19 478	7,05	0,016	0,015	0,170	9,60	2,04	15,6	1 287	136
2	253	15 397	7,36	0,030	0,025	0,183	9,00	1,87	16,6	907	151
3	190	17 027	8,24	0,060	0,044	0,196	9,60	1,91	18,6	1 066	62,3
4	97	13 076	8,69	0,162	0,160	0,363	14,6	1,69	18,9	622	136
5	673	50 059	17,4	0,063	0,063	0,110	12,2	0,797	15,7	1 405	121
6	158	17 118	9,84	0,156	0,156	0,334	10,2	1,25	17,0	984	366
7	521	13 400	4,52	0,013	0,172	0,134	8,30	2,68	15,9	901	0,0
8	180	6 232	2,75	0,030	0,026	0,216	8,30	4,01	12,9	722	—
9	67	6 830	5,02	0,110	0,013	0,348	12,1	3,20	16,1	701	—
10	423	14 805	5,13	0,016	0,112	0,116	10,9	2,40	17,4	1 405	91,7
11	216	8 464	3,67	0,030	0,016	0,192	7,10	2,16	15,3	701	357
12	47	12 078	7,67	0,167	0,021	0,321	12,1	2,24	0,0	737	151

Tableau 3.9

Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 5.

No de parcelle	VOL (l)	SeS (mg/l)	PT (mg/l)	PTD (mg/l)	NaOH-P (mg/l)
1	130	14 043	5,07	0,013	0,179
2	82	11 663	7,36	0,035	0,225
3	30	15 425	8,24	0,046	0,216
4	13	12 979	8,69	0,211	0,437
5	150	27 427	17,4	0,024	0,139
6	18	12 116	9,84	0,112	0,393
7	95	7 843	4,52	0,024	0,172
8	18	3 193	2,75	0,046	0,241
9	7	4 667	5,02	0,156	0,374
10	113	4 661	5,13	0,024	0,170
11	16	3 018	3,67	0,063	0,339
12	8	6 521	7,67	0,173	0,372

Tableau 3.10

Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 6.

No. de parcelle	VOL (l)	SeS (mg/l)	PT (mg/l)	PID (mg/l)	DMRP (mg/l)	NaOH-P (mg/l)	COD (mg/l)	COP (%)	DBO ₅ (mg/l)	DCO-T (mg/l)	DCO-S (mg/l)
1	103	14 969	12,3	0,262	0,334	0,576	23,0	2,04	30,0	1 139	349
2	53	11 724	8,50	0,183	0,241	0,334	20,9	1,86	35,7	958	349
3	53	9 201	6,51	0,162	0,223	0,301	12,1	2,17	31,2	964	436
4	42	15 109	13,8	0,352	0,446	0,436	17,6	1,62	29,5	1 037	888
5	216	20 340	15,0	1,82	1,70	0,416	17,1	0,929	16,6	935	582
6	67	13 548	10,9	0,330	0,447	0,449	16,5	1,76	27,3	1 180	480
7	70	8 100	7,61	0,558	0,619	0,489	25,3	3,76	31,5	1 066	494
8	5	3 880	4,52	0,446	0,619	0,476	17,6	4,71	43,7	752	0
9	13	4 423	4,20	0,276	0,371	0,383	8,8	3,46	43,7	874	262
10	19	5 614	4,20	0,308	0,428	0,281	12,1	2,99	38,7	810	495
11	13	4 276	3,62	0,276	0,428	0,319	12,1	2,56	37,0	979	334
12	15	6 908	5,18	0,145	0,223	0,285	13,2	2,51	38,9	623	407

Tableau 3.11

Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 7

No de parcelle	VOL (l)	SeS (mg/l)	PT (mg/l)	PTD (mg/l)	DMRP (mg/l)	NaOH-P (mg/l)	HCl-P (mg/l)
1	88	8 850	7,73	0,118	0,135	0,536	0,352
2	22	8 862	7,85	0,243	0,309	0,325	0,334
3	20	6 854	5,98	0,249	0,341	0,303	0,306
4	22	11 421	9,57	0,555	0,499	0,429	0,316
5	187	27 669	22,3	1,44	0,260	0,442	0,431
6	22	13 495	10,2	0,352	0,448	0,442	0,352
7	22	5 713	6,04	0,459	0,637	0,422	0,361
8	12	4 004	3,41	0,319	0,376	0,388	0,325
9	12	3 775	3,30	0,222	0,253	0,381	0,316
10	19	4 825	3,41	0,167	0,201	0,245	0,316
11	10	3 778	2,64	0,167	0,212	0,288	0,288
12	14	6 838	4,47	0,112	---	0,288	0,307

Tableau 3.12

Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 8.

No. de parcelle	VOL (l)	SeS (mg/l)	PT (mg/l)	PID (mg/l)	DMRP (mg/l)	NaOH-P (mg/l)	HCl-P (mg/l)	COD (mg/l)	COP (%)	DBO ₅ (mg/l)	DCO-T (mg/l)	DCO-S (mg/l)
1	516	8 091	6,69	0,205	0,256	0,442	0,249	15,2	1,85	16,4	895	41,0
2	200	8 638	6,10	0,118	0,144	0,243	0,307	10,9	1,96	19,9	541	41,0
3	173	10 100	7,67	0,254	0,290	0,317	0,325	10,9	1,66	17,3	626	0,0
4	187	7 745	6,51	0,156	0,209	0,377	0,297	12,1	1,77	16,1	412	0,0
5	899	19 060	14,1	0,818	1,08	0,386	0,316	14,6	1,07	26,8	734	57,0
6	308	7 493	6,63	0,384	0,579	0,422	0,343	12,1	1,36	16,8	475	0,0
7	358	4 122	3,67	0,486	0,565	0,436	0,379	7,1	3,00	23,7	550	8,0
8	183	1 422	2,20	0,057	0,740	0,556	0,506	7,7	4,69	10,1	374	187
9	22	7 391	5,80	0,384	0,530	0,416	0,316	7,1	3,18	19,3	911	0,0
10	221	2 640	2,91	0,400	0,540	0,397	0,370	8,4	3,10	16,6	399	0,0
11	103	2 639	4,34	1,25	1,44	0,501	0,610	7,1	2,34	11,7	374	0,0
12	51	7 934	7,23	1,15	1,39	0,422	0,361	12,7	2,09	21,2	633	0,0

Tableau 3.13

Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 9.

No. de parcelle	VOL (l)	SeS (mg/l)	PT (mg/l)	PID (mg/l)	DMRP (mg/l)	NaOH-P (mg/l)	HCl-P (mg/l)	COD (mg/l)	COP (%)	DBO ₅ (mg/l)	DCO-T (mg/l)	DCO-S (mg/l)
1	50	4 458	4,47	0,062	0,025	0,548	0,387	17,2	2,99	31,0	987	0,00
2	16	4 852	3,88	0,227	0,181	0,302	0,352	20,0	2,56	40,0	316	0,00
3	16	6 753	5,69	0,163	0,113	0,339	0,352	16,7	2,46	35,6	474	0,00
4	19	5 635	5,69	0,297	0,240	0,471	0,379	16,7	2,10	23,2	20	0,00
5	100	4 745	5,02	0,118	0,088	0,548	0,370	14,4	1,74	23,8	264	0,00
6	22	4 979	4,91	0,258	0,203	0,576	0,396	16,1	2,13	20,1	361	0,00
7	13	4 809	2,83	0,185	0,137	0,500	0,370	17,2	4,56	31,95	812	0,00
8	6	5 145	3,72	0,286	0,198	0,500	0,316	12,2	4,62	32,1	530	0,00
9	8	3 341	2,51	0,291	0,194	0,433	0,388	12,2	4,28	29,3	372	0,00
10	7	2 817	2,80	0,308	0,245	0,284	0,406	10,0	3,14	23,3	324	0,00
11	7	2 012	2,44	0,374	0,207	0,349	0,440	11,1	3,60	38,0	324	0,00
12	5	4 452	3,76	0,213	0,170	0,452	0,370	11,7	3,08	25,9	387	0,00

Tableau 3.14

Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 10

No de parcelle	VOL (l)	SeS (mg/l)	PT (mg/l)	PTD (mg/l)	DMRP (mg/l)	NaOH-P (mg/l)	HCl-P (mg/l)
1	22	792	1,40	0,174	0,109	0,639	0,379
2	21	692	1,64	0,452	0,423	0,481	0,514
3	18	368	0,76	0,157	0,124	0,368	0,325
4	22	1 267	2,05	0,291	0,229	0,548	0,465
5	150	1 225	1,78	0,068	0,039	0,586	0,423
6	22	1 812	1,82	0,197	0,162	0,509	0,352
7	17	221	0,710	0,155	0,100	0,615	0,307
8	11	92	0,549	0,197	0,158	0,567	0,334
9	14	123	0,812	0,419	0,328	0,576	0,388
10	16	146	1,07	0,446	0,365	0,452	0,558
11	14	127	1,05	0,413	0,358	0,386	0,414
12	15	328	1,17	0,330	0,318	0,786	0,490

Tableau 3.15

Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 11.

No. de parcelle	VOL (l)	SeS (mg/l)	PT (mg/l)	PTD (mg/l)	DMRP (mg/l)	NaOH-P (mg/l)	HCl-P (mg/l)	COD (mg/l)	COP (%)	DBO ₅ (mg/l)	DCO-T (mg/l)	DCO-S (mg/l)
1	90	1 759	1,45	0,074	0,043	0,462	0,334	7,4	3,89	29,8	338	38,2
2	38	3 216	1,69	0,363	0,337	0,302	0,259	9,2	3,17	32,8	454	38,2
3	38	3 122	2,01	0,174	0,144	0,298	0,316	5,6	3,29	29,0	391	38,2
4	65	2 817	4,43	0,152	0,144	0,462	0,406	4,2	2,82	21,9	358	35,2
5	175	2 776	1,62	0,146	0,135	0,368	0,339	8,3	2,61	31,4	394	53,2
6	76	2 856	3,01	0,096	0,073	0,462	0,316	9,2	2,59	11,1	304	41,2
7	47	4 702	3,74	0,385	0,347	0,377	0,352	14,7	4,72	44,7	678	125
8	15	2 673	3,28	0,540	0,530	0,405	—	11,5	4,30	43,3	514	89,1
9	107	469	0,745	0,336	0,293	0,500	0,361	14,3	5,19	16,3	224	62,1
10	22	1 256	1,64	0,526	0,474	0,386	0,539	10,2	5,10	30,0	236	56,1
11	55	1 035	2 09	0 890	0,999	0,443	0,740	6,5	4,44	30,5	266	62,1
12	63	1 418	2 68	0,923	1,03	0,548	—	14,3	3,97	21,5	322	62,1

Tableau 3.16

Résultats bruts de l'analyse des échantillons de la pluie no. 12.

No. de parcelle	VOL (l)	SeS (mg/l)	PT (mg/l)	PTD (mg/l)	DMRP (mg/l)	NaOH-P (mg/l)	HCl-P (mg/l)	COD (mg/l)	COP (%)	DBO ₅ (mg/l)	DCO-T (mg/l)	DCO-S (mg/l)
1	72	2 234	1,02	0,079	0,041	0,424	0,259	1,4	3,82	22,8	212	75,3
2	22	2 294	1,18	0,349	0,271	0,237	0,307	23,0	3,17	43,9	251	115
3	22	2 887	1,82	0,202	0,163	0,274	0,229	23,0	3,44	42,4	285	115
4	48	5 853	2,05	0,291	0,224	0,377	0,249	14,1	2,63	29,7	410	97,4
5	50	6 187	3,19	0,213	0,233	0,311	0,239	11,3	2,11	28,4	316	36,1
6	62	4 038	2,10	0,419	0,314	0,438	0,278	13,4	2,30	29,6	217	75,3
7	13	890	1,06	0,218	0,177	0,415	0,307	13,0	5,96	24,3	192	107
8	105	270	0,812	0,324	0,286	0,741	0,334	13,5	6,97	17,5	—	85,1
9	135	191	0,946	0,573	0,452	0,771	0,406	18,2	10,8	22,4	—	120
10	22	238	0,554	0,213	0,200	0,349	0,352	11,5	7,82	16,1	—	36,1
11	105	323	1,54	0,841	0,907	0,890	0,594	11,5	5,95	15,5	127	112
12	82	538	2,21	1,21	0,966	0,781	0,653	21,2	5,85	38,7	220	140

Tableau 3.17

Résultats des analyses de sol.

No de parcelle	COP (%)	COP (µg/g)	NaOHP (µg/g)
1	1,99	236	217
2	1,66	289	127
3	1,32	242	185
4	1,72	336	208
5	1,08	439	139
6	1,16	517	188
7	1,77	193	155
8	1,97	181	132
9	1,77	157	147
10	1,74	236	111
11	1,18	187	98
12	1,43	206	128

CHAPITRE 4

ANALYSE DES RÉSULTATS

4. ANALYSE DES RÉSULTATS

4.1 ANALYSE STATISTIQUE

4.1.1 Remarques préliminaires

L'analyse statistique des résultats a été faite à l'aide du logiciel SAS version 6.02. Les résultats des analyses de la charge en matière organique (COD, COP, DBO₅, DCO-S et DCO-T) ont été exclus de l'analyse statistique. Les résultats des analyses du contenu en orthophosphates (section 3.4.6) sont également exclus de l'analyse statistique parce que la méthode de dosage utilisée (Technicon #155-71W) était inappropriée pour les concentrations en orthophosphates retrouvées dans les échantillons (Technicon, 1973a). Les concentrations en phosphore total dissous (PTD) serviront donc au calcul des concentrations en phosphore biodisponible total. Étant donné que les caractéristiques de la pluie no. 12 ne sont pas disponibles, les résultats des analyses effectuées sur ces échantillons ne sont pas inclus dans l'analyse de variance (section 4.1.2).

4.1.2 Analyse de variance

Une analyse de variance à 3 voies a été faite pour chacune des variables énumérées au tableau 4.1. Les données ont été traitées en split-split plot avec les pentes comme parcelles principales, les pratiques culturales comme sous-parcelles et les pluies comme sous-sous parcelles. Le programme SAS utilisé à cette fin est donné à l'annexe 2. Préalablement à l'analyse de variance, toutes les variables ont été transformées logarithmiquement. Ces

Tableau 4.1

Liste des variables incluses dans l'analyse de variance

<u>Variabes primaires</u>	<u>unités</u>
VOL	litres
SeS	mg/l
PT	mg/l
PTD	mg/l
<u>Variabes calculées (voir annexe 1)</u>	
$\text{NaOHS} = \text{NaOH-P} * 1000$	$\mu\text{g/g}$
$\text{PS} = \text{PP/SeS} * 1 * 10^6$	$\mu\text{g/g}$
$\text{PP} = \text{PT} - \text{PTD}$	mg/l
$\text{PPSPT} = (\text{PP/PT}) * 100$	%
$\text{PTDSPT} = (\text{PTD/PT}) * 100$	%
$\text{NaOHER} = \text{NaOHS} / \text{NaOHP}$	--
$\text{PER} = \text{PS/PTP}$	--
$\text{PBT} = (\text{NaOH-P} * \text{SeS}) + \text{PTD}$	mg/l
$\text{FPTB} = (\text{PBT/PT}) * 100$	%
$\text{FPPB} = \text{NaOHS/PS} * 100$	%
$\text{FPBTS} = (\text{PTD/PBT}) + 100$	%
$\text{PSP} = \text{SeS} * \text{VOL}/1000$	g
$\text{PPT} = \text{VOL} * \text{PT}$	mg
$\text{PPP} = \text{VOL} * \text{PP}$	mg
$\text{PPTD} = \text{VOL} * \text{PTD}$	mg
$\text{PNaOHS} = (\text{NaOHS} * \text{PSP})/1000$	mg
$\text{PPBT} = \text{VOL} * \text{PBT}$	mg
$\text{FPBTP} = (\text{PBT} - \text{PTD})/\text{PBT} * 100$	%

transformations ont été rendues nécessaires parce qu'un test de Bartlett, effectué sur les 2 pentes séparément, a démontré qu'aucune variance n'était homogène. Étant donné que la plupart des données géophysiques ont une distribution lognormale (Howarth et Earle, 1979), la transformation logarithmique a été utilisée. C'est d'ailleurs ce type de transformation que l'on retrouve dans la littérature pour des travaux similaires et, les résultats obtenus sur les données transformées sont utilisées pour conclure sur les données réelles (Johnson et Moldenhauer, 1979; Mueller et al., 1984; Andraski et al., 1985a; Andraski et al., 1985b; Wendt et Burwell, 1985; Kramer, 1986). Suite aux transformations logarithmiques, le test de Bartlett a été fait à nouveau et il a permis de constater l'homogénéité des variances.

Le tableau 4.2 donne les valeurs de F obtenues par l'analyse de variance pour les 3 effets principaux (pratique culturale, pente et pluie). Un exemple du cheminement suivi pour arriver aux conclusions du tableau 4.2 est donné à l'annexe 3a. Le tableau 4.3 donne les valeurs de F pour les interactions entre les effets principaux et un exemple du cheminement suivi pour arriver à ces conclusions se retrouve à l'annexe 3b.

Pour chacune des variables du tableau 4.1, un test de comparaison multiple (test de Duncan) a été fait sur les valeurs logarithmiques moyennes obtenues pour chaque pratique culturale. Ce test compare entre elles les moyennes afin de déterminer lesquelles sont égales et lesquelles sont statistiquement différentes. Les résultats du test de Duncan, transposés aux données réelles, sont donnés à l'annexe 4a.

Pour déterminer si la condition antécédente de pluie, la quantité de pluie tombée, l'intensité maximale de la pluie sur 30 minutes ainsi que l'érosivité

Tableau 4.2

Analyse de variance (valeurs de F) pour les effets principaux

Source Variables	Pratique culturelle	Pente	Pluie
VOL	33,7 ***	39,3 ***	17,1 ***
SeS	2,28 NS	26,7 ***	17,7 ***
PT	1,42 NS	18,6 ***	9,09 ***
PTD	8,56 **	1,92 NS	8,31 ***
NaOHS	16,8 ***	0,06 NS	23,9 ***
PS	14,2 ***	10,0 **	63,8 ***
PP	1,52 NS	21,9 ***	9,99 ***
PPSPT	2,11 NS	27,3 ***	12,5 ***
PTDSPT	18,4 ***	56,1 ***	34,1 ***
NaOHER	2,80 NS	10,3 **	7,69 **
PER	1,85 NS	19,0 **	3,14 *
PBT	4,07 *	23,1 ***	8,05 ***
FPTB	5,47 **	0,12 NS	5,66 **
FPPB	4,80 *	2,55 NS	4,43 **
FPBTS	8,75 **	37,4 ***	17,1 ***
PSP	12,6 ***	38,2 ***	15,9 ***
PPT	10,9 ***	32,9 ***	11,2 ***
PPP	11,1 ***	35,3 ***	11,5 ***
PPTD	2,45 NS	5,47 *	6,90 **
PNaOHS	10,2 **	39,5 ***	11,1 ***
PPBT	10,8 **	36,2 ***	10,7 ***
FPBTP	2,34 NS	25,4 ***	13,7 ***

***: Effet significatif au niveau $p = 0,01$;

** : Effet significatif au niveau $p = 0,05$;

* : Effet significatif au niveau $p = 0,1$;

NS: pas d'effet significatif

Tableau 4.3

Analyse de variance (valeurs de F) pour les interactions entre les effets principaux

Interaction Variables	Pratique culturelle X pente	Pratique culturelle X pluie	Pente X pluie	Pratique culturelle X pluie X pente
VOL	0,46 NS	1,61 NS	0,97 NS	0,45 NS
SeS	0,04 NS	0,28 NS	0,44 NS	0,17 NS
PT	0,09 NS	0,11 NS	0,27 NS	0,18 NS
PTD	0,78 NS	1,45 NS	1,15 NS	0,28 NS
NaOHS	2,54 NS	1,87 NS	0,67 NS	1,27 NS
PS	2,15 NS	3,85 *	7,86 **	1,86 NS
PP	0,05 NS	0,09 NS	0,15 NS	0,22 NS
PPSPT	0,38 NS	0,42 NS	4,11 **	0,59 NS
PTDSPT	1,40 NS	2,14 NS	0,84 NS	0,58 NS
NaOHER	1,07 NS	0,60 NS	0,22 NS	0,41 NS
PER	1,11 NS	0,19 NS	0,39 NS	0,09 NS
PBT	0,43 NS	0,33 NS	0,58 NS	0,20 NS
FPTB	0,80 NS	1,00 NS	1,49 NS	0,65 NS
FPPB	0,28 NS	0,72 NS	1,46 NS	0,36 NS
FPBTS	0,67 NS	1,51 NS	0,69 NS	0,37 NS
PSP	0,08 NS	0,64 NS	0,38 NS	0,07 NS
PPT	0,27 NS	0,54 NS	0,49 NS	0,08 NS
PPP	0,22 NS	0,51 NS	0,41 NS	0,09 NS
PPTD	0,72 NS	0,39 NS	0,79 NS	0,14 NS
PNaOHS	0,35 NS	0,49 NS	0,37 NS	0,10 NS
PPBT	0,53 NS	0,57 NS	0,50 NS	0,12 NS
FPBTP	0,30 NS	0,59 NS	4,98 **	0,16 NS

** : Effet significatif au niveau $p = 0,05$;

* : Effet significatif au niveau $p = 0,1$;

NS : pas d'effet significatif

de la pluie ont un effet sur les différentes variables, un test de comparaison par contrastes a été fait pour l'ensemble des pluies. Ce test permet de comparer entre eux les résultats d'une variable pour un paramètre de pluie donné afin de vérifier si ce dernier a un effet significatif sur la variable en question. Les résultats obtenus par ce test sont donnés au tableau 4.4 et un exemple du cheminement suivi pour arriver aux conclusions se trouve à l'annexe 3c. Ce test a également été fait pour chaque classe de pluie. Un exemple d'interprétation est donné à l'annexe 3d. Les annexes 4d à 4 g donnent les résultats de ce test transposés aux données réelles.

4.1.3 Test de comparaison d'échantillons appariés

Pour comparer les concentrations en phosphore biodisponible obtenues par la méthode d'extraction au NaOH et par la méthode de la résine cationique, un test de student a été fait sur la différence des concentrations obtenues par les 2 méthodes pour les 72 échantillons concernés (pluies no.7 à no.12) (annexe 5).

4.2 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

4.2.1 Volume de ruissellement

Les pratiques culturales et la pente du terrain ont un effet significatif (au niveau $p=0,01$) sur le volume de ruissellement. Pour les pratiques culturales, le volume de ruissellement moyen décroît dans l'ordre suivant: labour (186 litres) > chisel (59,5 litres) > billons (44,9 litres). Cependant, seul le labour donne des résultats significativement différents. En diminuant la pente

Tableau 4.4

Analyse de variance (valeurs de F) pour l'effet des pluies

Source Variable	API	Quantité de pluie	I30	Érosivité
VOL	10,6 **	16,1 ***	36,3 ***	32,8 ***
SeS	5,09 *	18,0 ***	17,8 ***	21,3 ***
PT	2,99 NS	9,78 **	7,07 **	12,9 ***
PTD	8,10 **	3,30 NS	17,5 ***	8,92 **
NaOHS	14,17 ***	44,3 ***	27,2 ***	21,3 ***
PS	37,1 ***	49,0 ***	79,6 ***	51,3 ***
PP	3,58 *	10,9 ***	7,57 **	13,5 ***
PPSPT	5,09 **	9,55 **	5,48 **	15,6 ***
PTDSPT	35,7 ***	43,3 ***	44,2 ***	10,1 ***
NaOHER	4,72 *	14,3 ***	8,75 **	6,86 **
PER	1,83 NS	2,42 NS	3,92 *	2,53 NS
PBT	0,400 NS	4,31 *	8,51 **	12,7 ***
FPTB	9,81 **	13,2 ***	0,89 NS	2,68 NS
FPPB	0,26 NS	5,88 **	0,54 NS	1,64 NS
FPBTS	13,7 ***	16,4 ***	25,0 ***	15,6 ***
PSP	5,18 **	11,1 ***	29,9 ***	25,8 ***
PPT	4,48 *	6,27 **	20,9 ***	19,6 ***
PPP	4,57 *	6,82 **	21,3 ***	19,9 ***
PPTD	9,22 **	5,46 **	11,6 ***	12,2 ***
PNaOHS	3,37 NS	6,94 **	21,1 ***	26,4 ***
PPBT	3,63 *	6,29 **	22,0 ***	20,6 ***
FPBTP	3,64 *	5,24 **	4,69 *	7,72 ***

***: Effet significatif au niveau $p = 0,01$;

** : Effet significatif au niveau $p = 0,05$;

* : Effet significatif au niveau $p = 0,1$;

NS: Pas d'effet significatif.

de 9,2 % à 4,6 %, le volume de ruissellement a diminué de 50 % (129 litres à 64,7 litres). L'effet combiné des pratiques culturales et de la pente sur le volume de ruissellement est illustré à la figure 4.1.

Pour les classes d'API 1 et 3, les volumes de ruissellement sont identiques tandis que l'API de classe 2 donne des volumes de ruissellement significativement plus élevés (figure 4.2a). Le volume de ruissellement augmente lorsque la quantité de pluie tombée passe de la classe 1 à la classe 2 tandis qu'aucune différence dans le volume de ruissellement n'est observée entre les classes 2 et 3 (figure 4.2b). En augmentant l'I30 et l'érosivité de la pluie, le volume de ruissellement augmente significativement (figures 4.2c et 4.2d).

4.2.2 Solides en suspension

Malgré que l'effet des pratiques culturales sur les concentrations de solides de suspension (SeS) ne soit pas significatif, on observe une forte diminution des concentrations de SeS avec les pratiques culturales de conservation des sols. Les concentrations moyennes de SeS obtenues sont de 9599 mg/l pour les parcelles labourées conventionnellement contre seulement 6309 mg/l pour le chisel et 5405 mg/l pour la culture sur billons. La pente a un effet significatif sur les concentrations de SeS. Une diminution de la pente de 9,2 % à 4,6 % a provoqué une diminution de SeS de 55% (9833 mg/l à 4375 mg/l). La figure 4.3 démontre l'effet combiné de la pente du terrain et des pratiques culturales sur les concentrations de SeS.

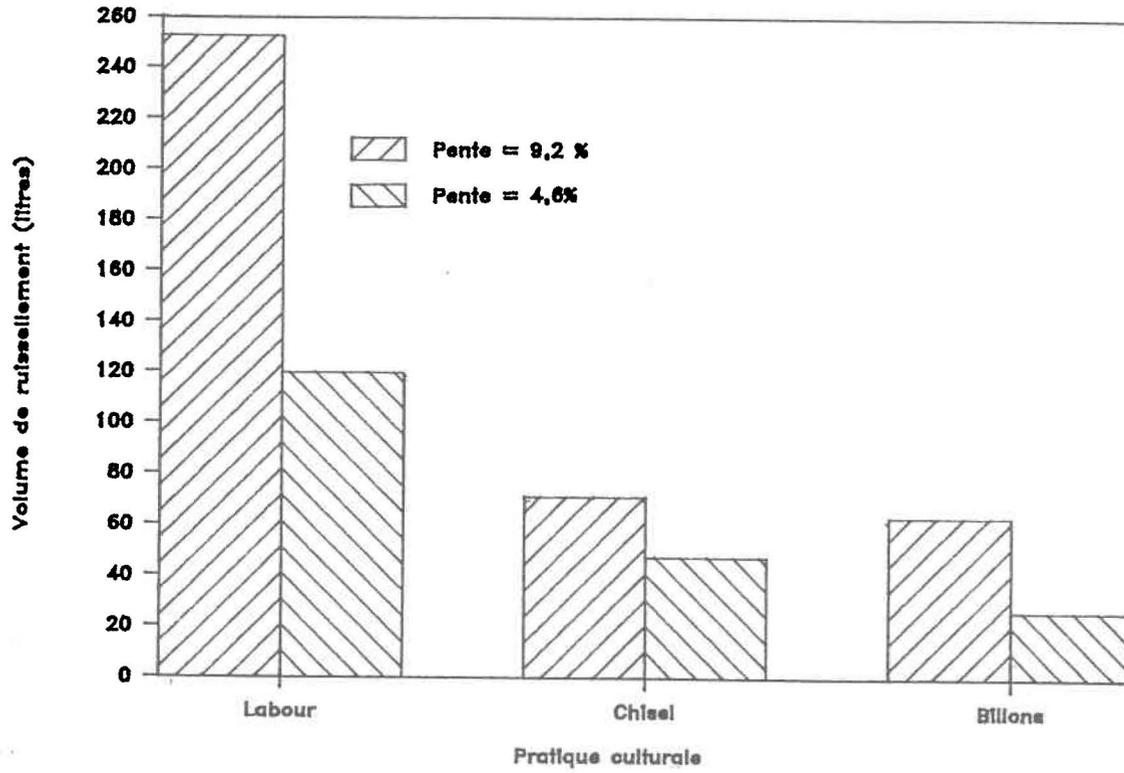


Figure 4.1

Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur le volume du ruissellement.

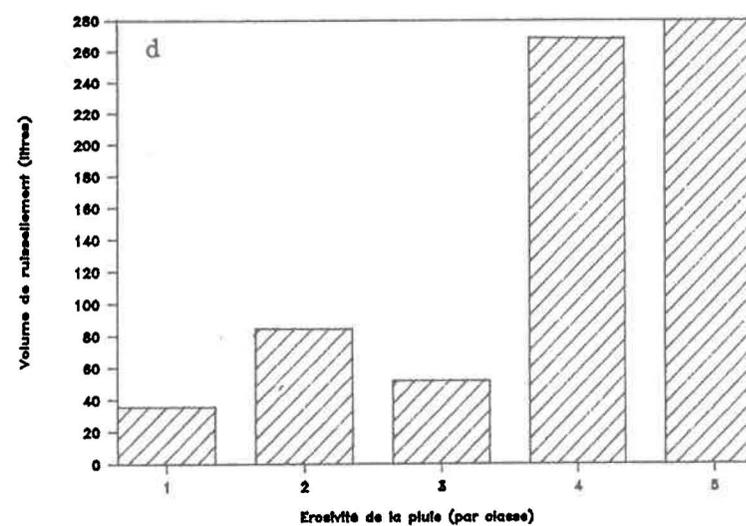
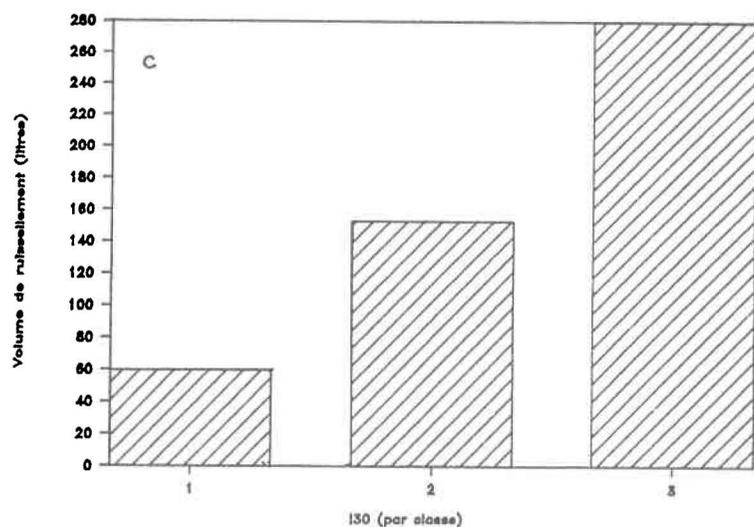
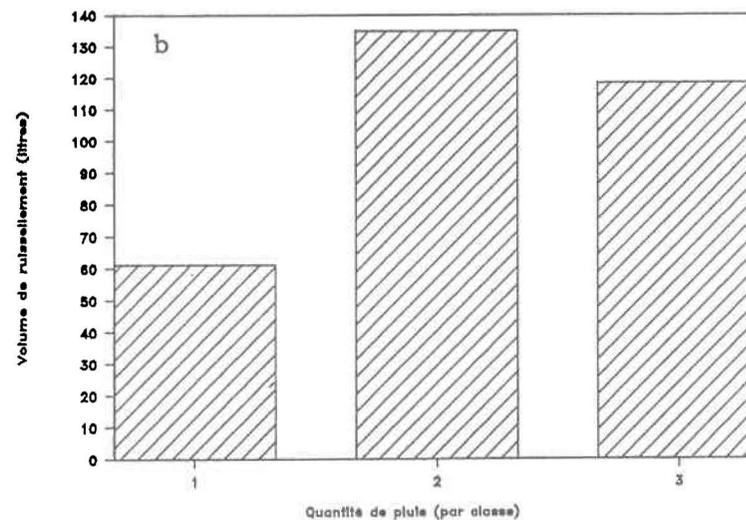
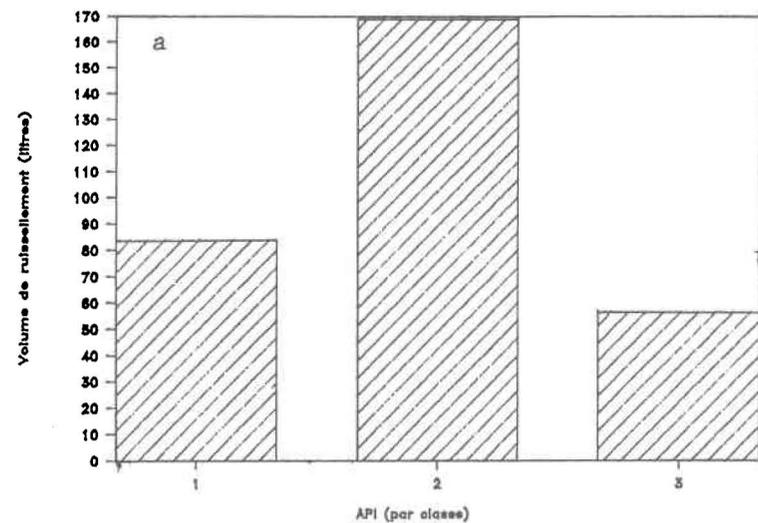


Figure 4.2

Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur le volume de ruissellement.

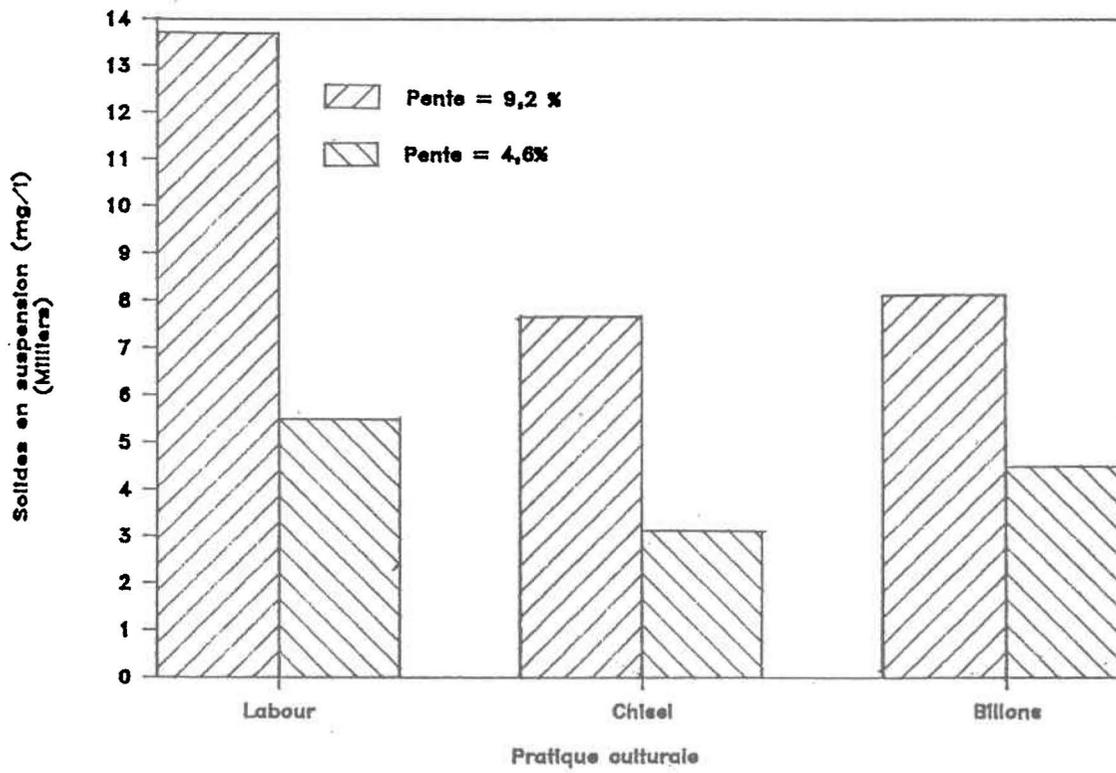


Figure 4.3

Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur la quantité de solides en suspension (SeS).

La quantité de solides en suspension est significativement plus élevée pour API de classe 3 tandis qu'aucune différence significative n'est observée entre les classes 1 et 2 (figure 4.4a). Pour ce qui est de la quantité de pluie tombée, SeS varie comme suit (figure 4.4b): classe 2 (10263 mg/l) > classe 1 (7393 mg/l) > classe 3 (3464 mg/l). La quantité de SeS augmente significativement avec une augmentation de I30 (figure 4.4c). L'érosivité de la pluie a un effet semblable à I30 (figure 4.4d).

4.2.3 Pertes de sol

Les pratiques culturales et la pente du terrain ont un effet significatif (au niveau $p=0,01$) sur les pertes de sol. Pour les pratiques culturales, les pertes de sol par parcelle varient dans l'ordre suivant: labour (3202 g) > chisel (496 g) > billons (348 g). Cependant, seul les pertes de sol pour les parcelles labourées conventionnellement sont significativement différentes des 2 autres pratiques culturales. La diminution de la pente de 9,2 % à 4,6 % se traduit par une diminution des pertes de sol de 79 % (2227 g à 471 g). L'effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain est illustré à la figure 4.5.

La quantité de sol perdu est également influencée par le contenu en eau dans le sol, par la quantité de pluie tombée, par l'I30 et par l'érosivité de la pluie. Pour l'API, les pertes de sol varient comme suit (figure 4.6a) : classe 2 (1608 g) > classe 1 (1356 g) > classe 3 (767 g). Pour ce qui est de la quantité de pluie tombée, on observe des pertes de sol significativement plus élevées pour la classe 2 comparativement aux classes 1 et 3 (figure 4.6b). On remarque une augmentation significative des pertes de sol avec une augmentation de I30 et de l'érosivité de la pluie (figures 4.6c et 4.6d).

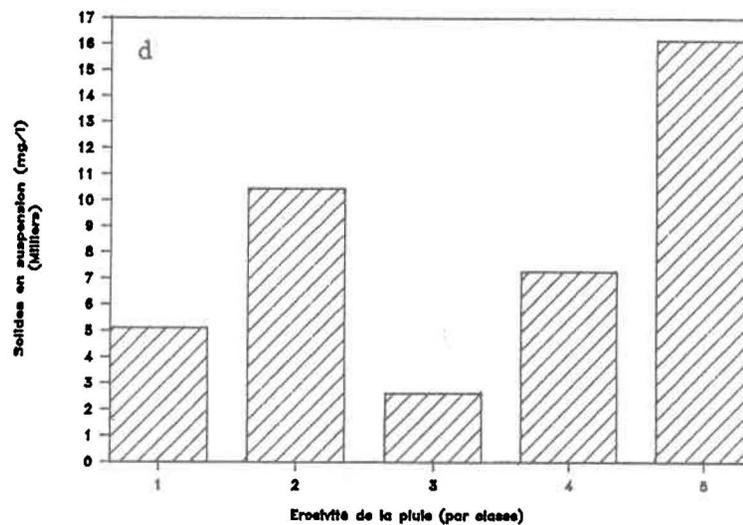
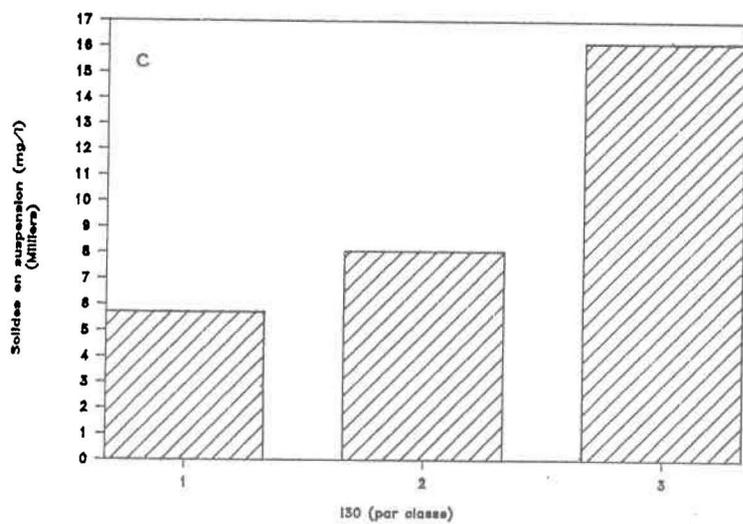
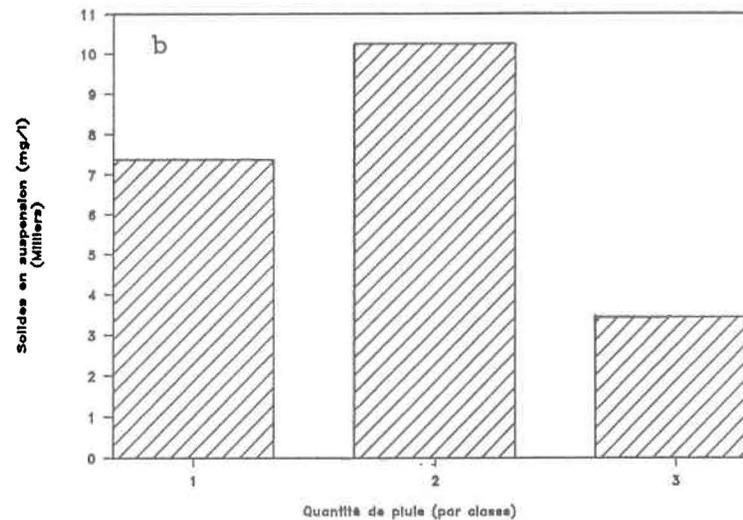
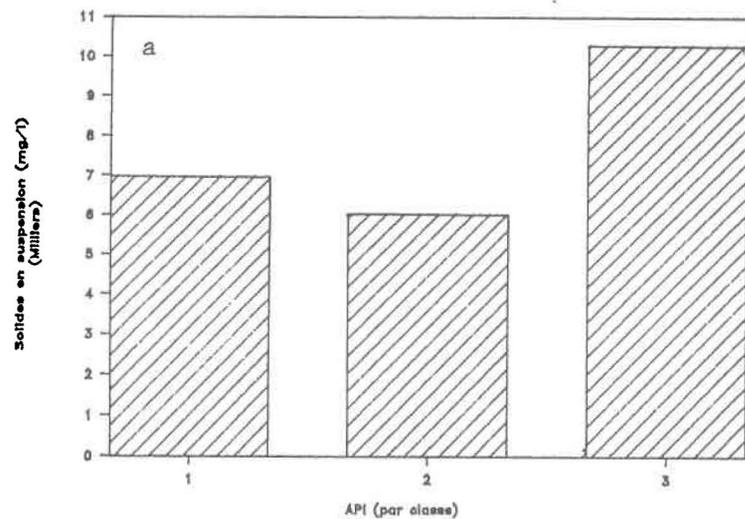


Figure 4.4

Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les concentrations de solides en suspension dans les eaux de ruissellement.

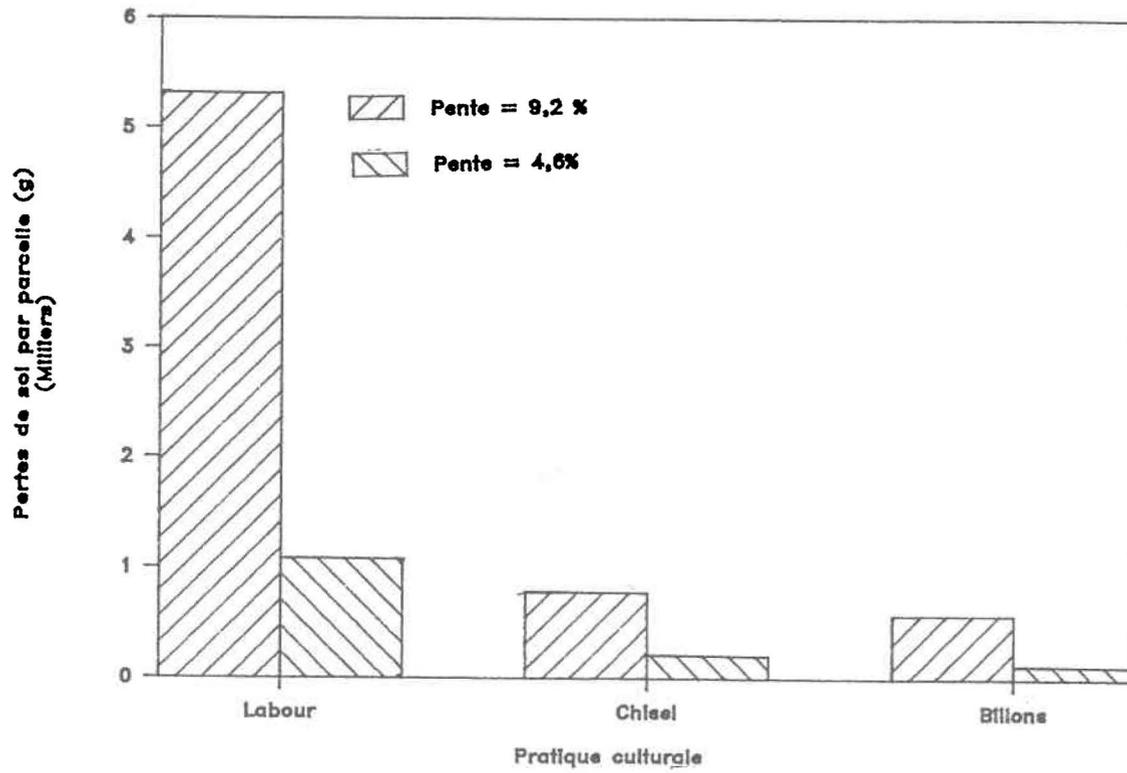


Figure 4.5

Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les pertes de sol par parcelle.

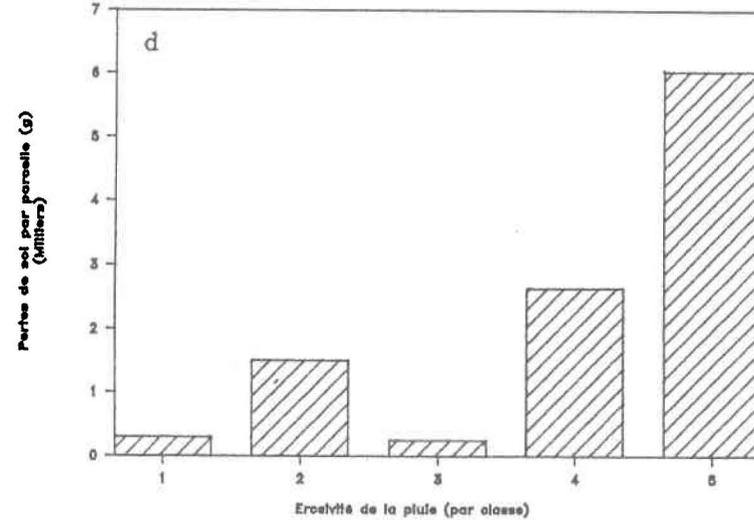
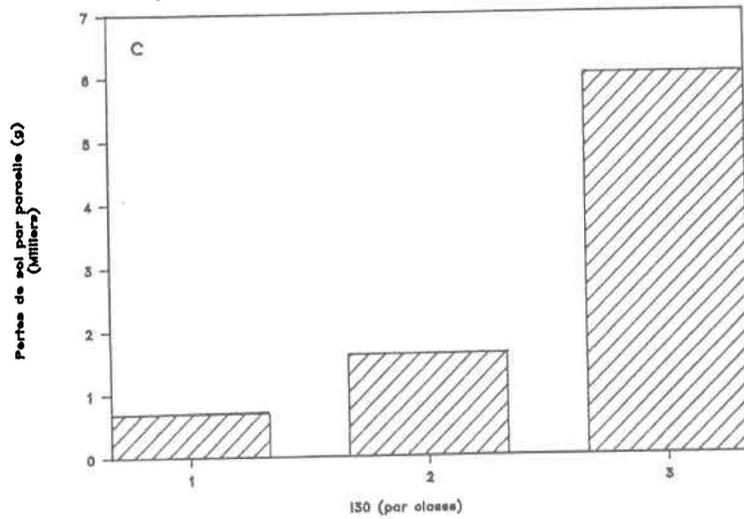
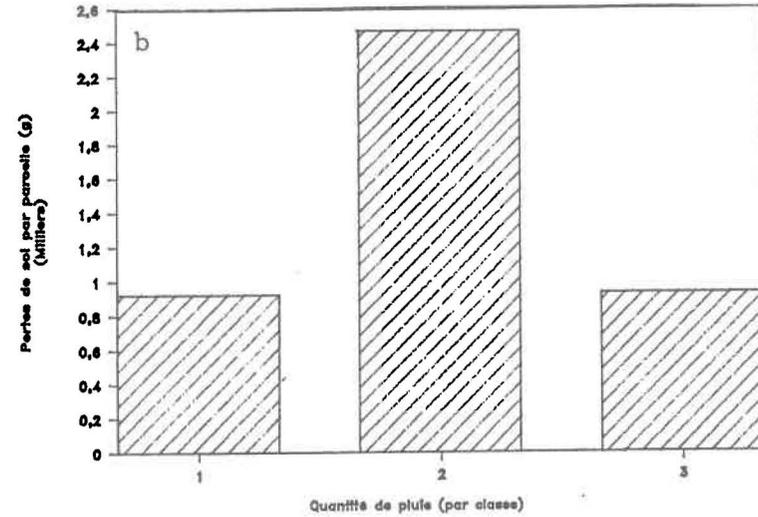
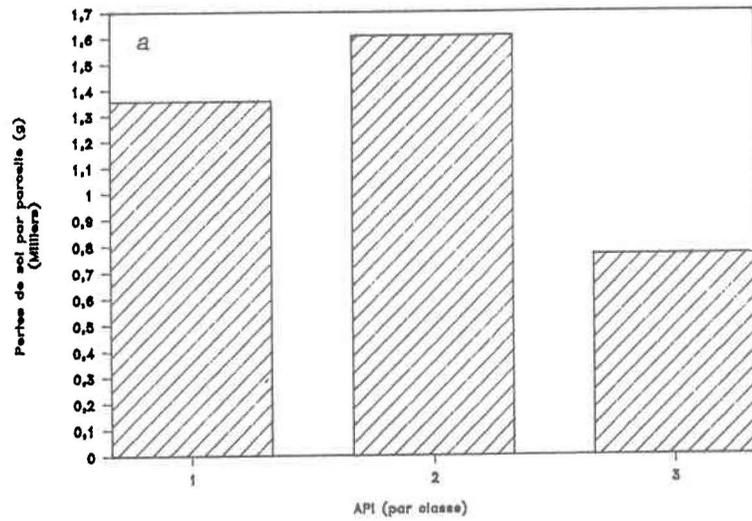


Figure 4.6

Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les pertes de sol par parcelle.

4.2.4 Phosphore total

4.2.4.1 Concentrations en phosphore total dans les eaux de ruissellement

Les concentrations en phosphore total (PT) dans les eaux de ruissellement varient dans l'ordre suivant: labour (6,21 mg/l) > billons (5,48 mg/l) > chisel (4,14 mg/l). Ces valeurs ne sont toutefois pas significativement différentes (au niveau $p=0,1$). Contrairement aux pratiques culturales, la pente du terrain a un effet significatif sur les concentrations en PT. Sur la pente de 9,2 %, les concentrations moyennes en PT sont de 7,09 mg/l contre seulement 3,46 mg/l sur la pente de 4,6 %. La figure 4.7 démontre l'effet combiné de la pente du terrain et des pratiques culturales sur les concentrations en PT dans les eaux de ruissellement.

Le contenu en eau dans le sol avant la pluie (API) n'a pas d'effet significatif sur les concentrations en PT dans les eaux de ruissellement (figure 4.8a). En ce qui concerne la quantité de pluie tombée, on observe des concentrations en PT significativement plus élevées pour les classes 1 et 2 que pour la classe 3 (figure 4.8b). Une augmentation de l'I30 se traduit par une augmentation significative de PT (figure 4.8c). Malgré que l'effet de l'érosivité de la pluie sur PT soit significatif, aucune tendance générale n'est observée (figure 4.8d).

4.2.4.2 Concentrations en phosphore total dans les particules de sol érodé

Les pratiques culturales et la pente du terrain ont un effet significatif sur les concentrations en phosphore total dans les particules de sol érodé (PS). Le

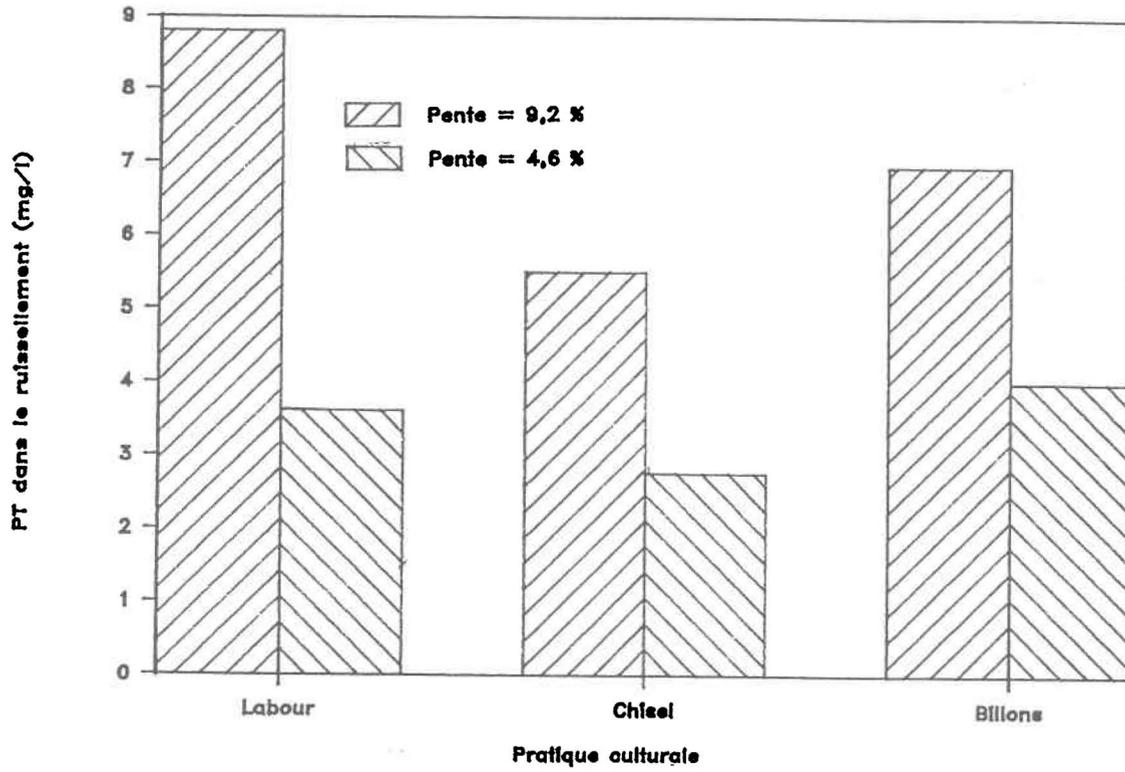


Figure 4.7

Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les concentrations en phosphore total dans les eaux de ruissellement.

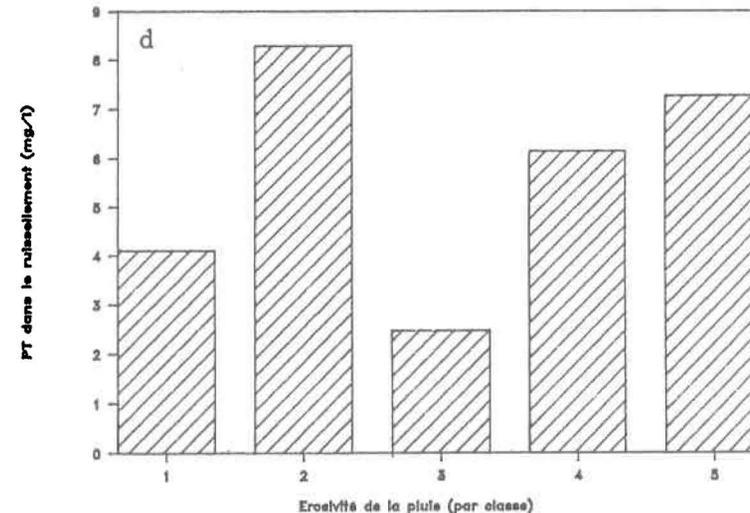
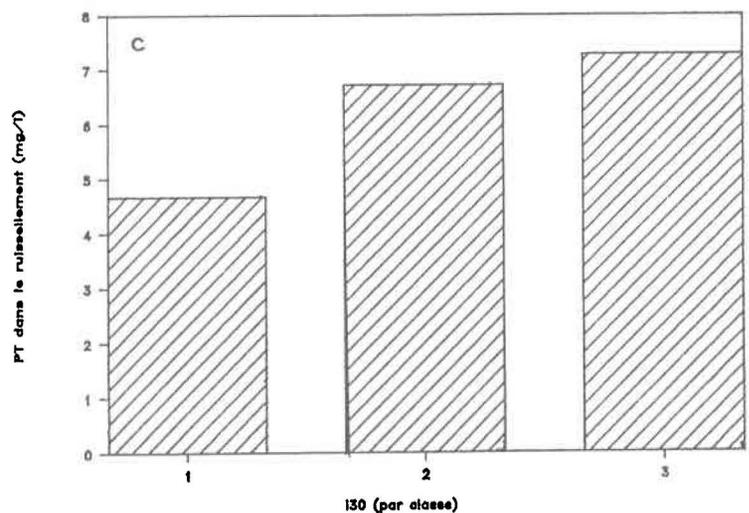
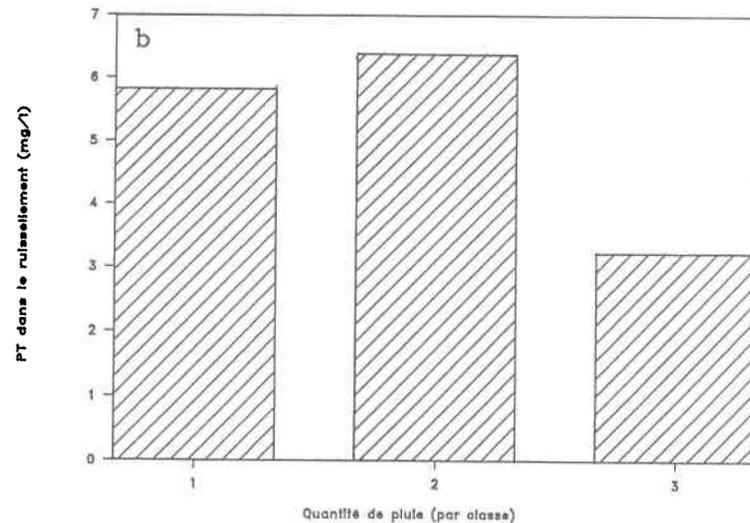
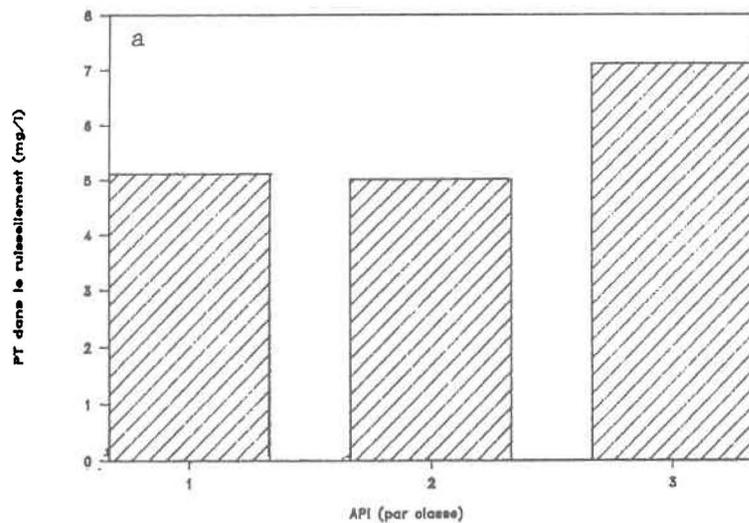


Figure 4.8

Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les concentrations en phosphore total dans les eaux de ruissellement.

chisel donne des concentrations en PT dans le sol érodé significativement plus élevées pour le labour (1087 µg/g vs 908 µg/g). Quant à la culture sur billons, elle donne des valeurs de PS intermédiaires (1011 µg/g). Une diminution de la pente du terrain de 9,2% à 4,6 % se traduit par une augmentation significative de PS de 24 % (896 µg/g à 1109 µg/g). L'effet combiné de la pente et des pratiques culturales est illustré à la figure 4.9.

La concentration en PT dans le sol érodé diminue significativement lorsque le contenu en eau dans le sol augmente (figure 4.10a). Pour la quantité de pluie, PT varie comme suit (figure 4.10b): classe 3 (1135 µg/g) > classe 1 (1093 µg/g) > classe 2 (718 µg/g). L'I30 et l'érosivité de la pluie ont le même effet que l'API (figures 4.10c et 4.10d).

4.2.5 Phosphore total dissous

Les concentrations en phosphore total dissous (PTD) sont significativement plus élevées dans les eaux de ruissellement provenant des parcelles cultivées sur billons que celles provenant des parcelles labourées conventionnellement ou avec le chisel. Elles varient comme suit : billons (0,289 mg/l) > labour (0,235 mg/l) > chisel (0,227 mg/l). La pente du terrain n'a pas d'effet significatif sur PTD. La figure 4.11 démontre l'effet combiné de la pente et des pratiques culturales sur PTD.

Les concentrations en PTD sont significativement plus élevées pour les classes d'API 1 et 2 que pour la classe 3 (figure 4.12a). La quantité de pluie tombée n'a pas d'effet significatif sur PTD (figure 4.12b). Lorsque I30 passe de la classe 1 à la classe 2, il y a une augmentation significative des

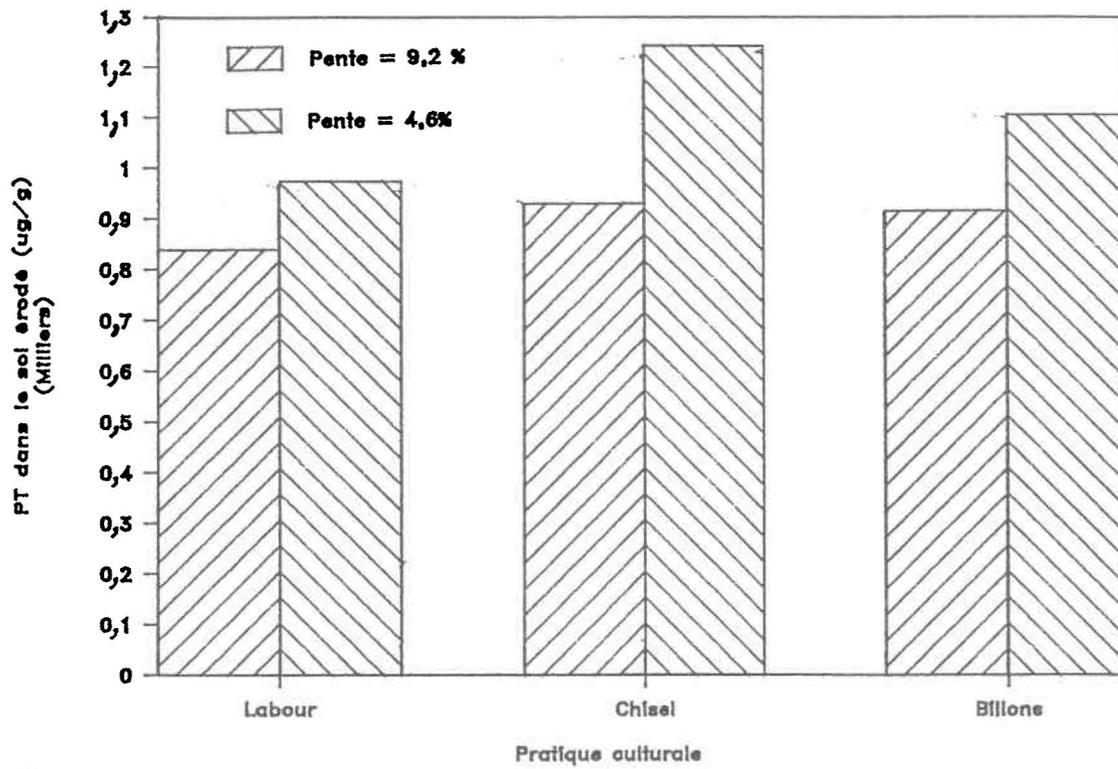


Figure 4.9

Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les concentrations en phosphore total dans le sol érodé.

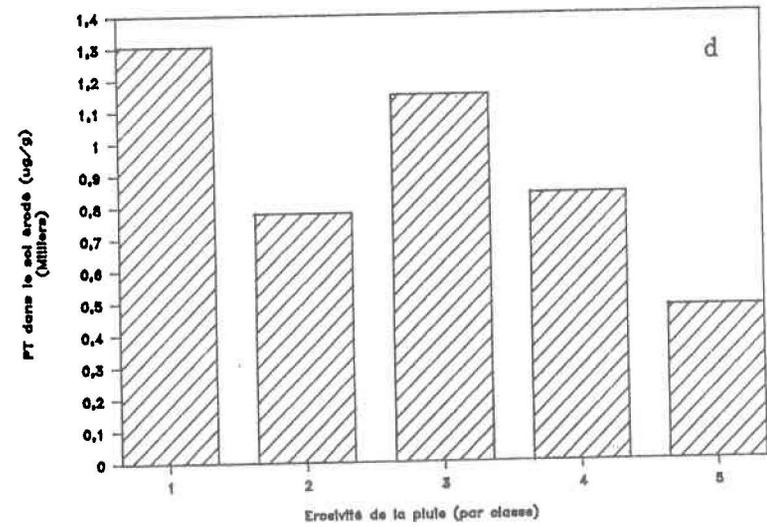
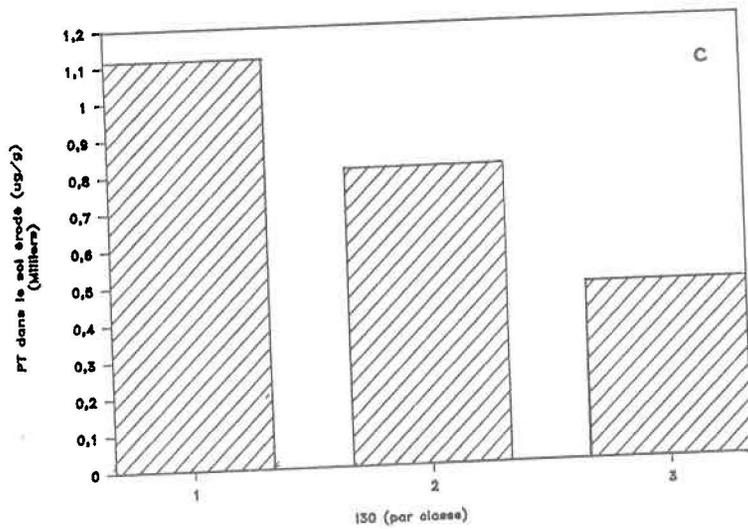
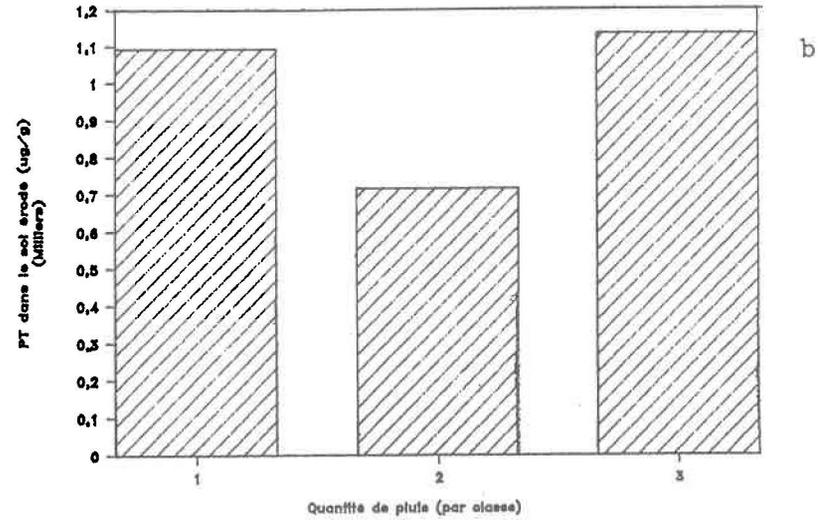
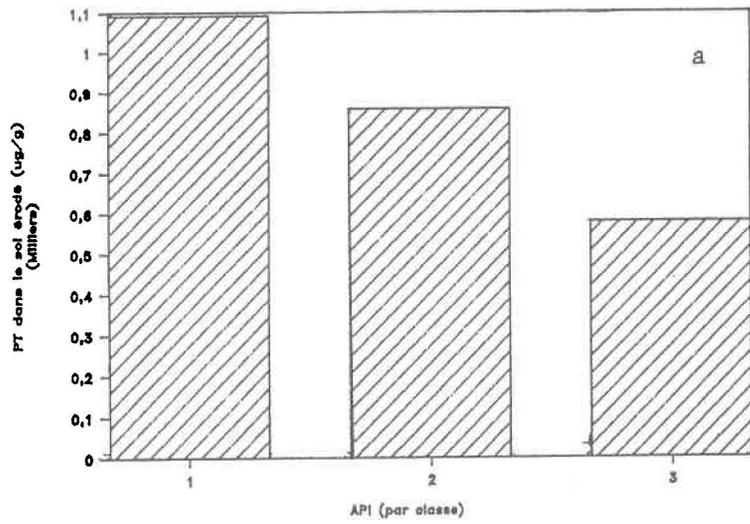


Figure 4.10

Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les concentrations en phosphore total dans le sol érodé.

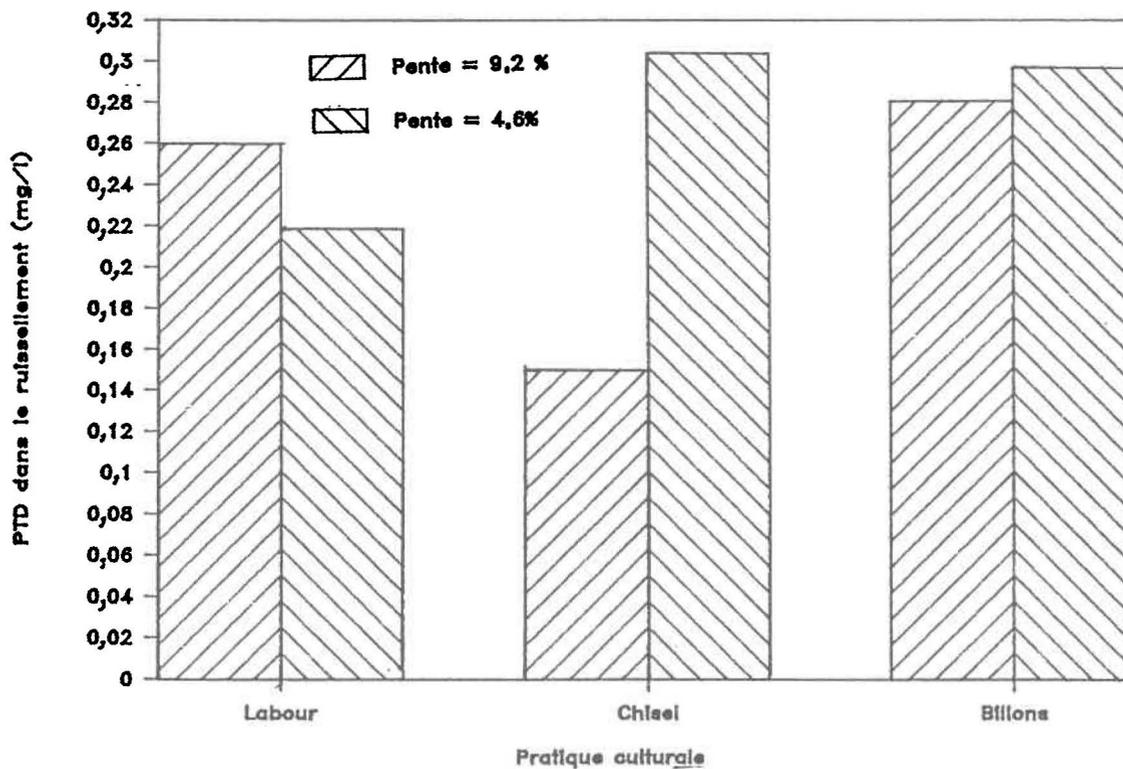


Figure 4.11

Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les concentrations en phosphore total dissous dans les eaux de ruissellement.

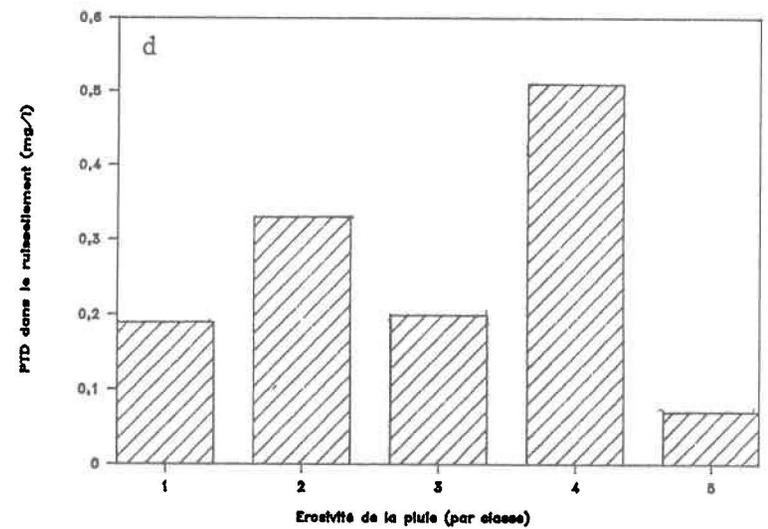
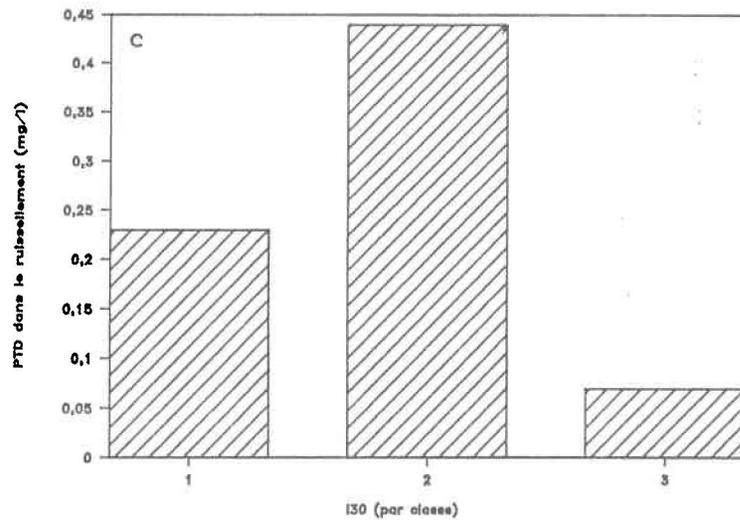
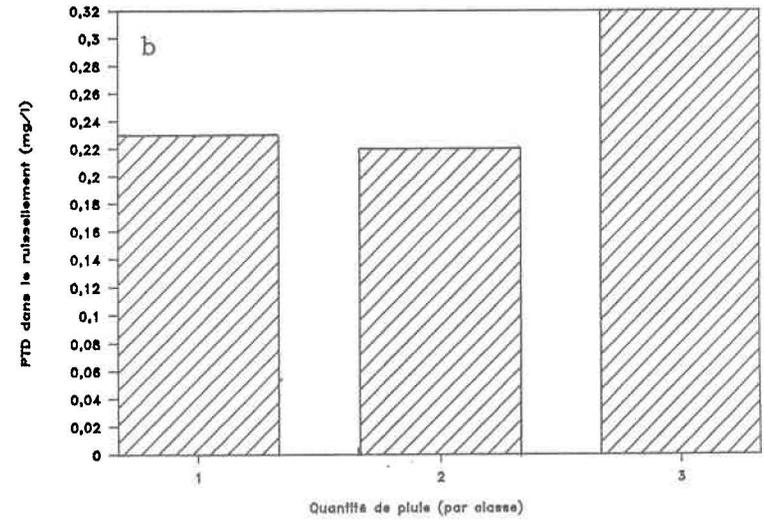
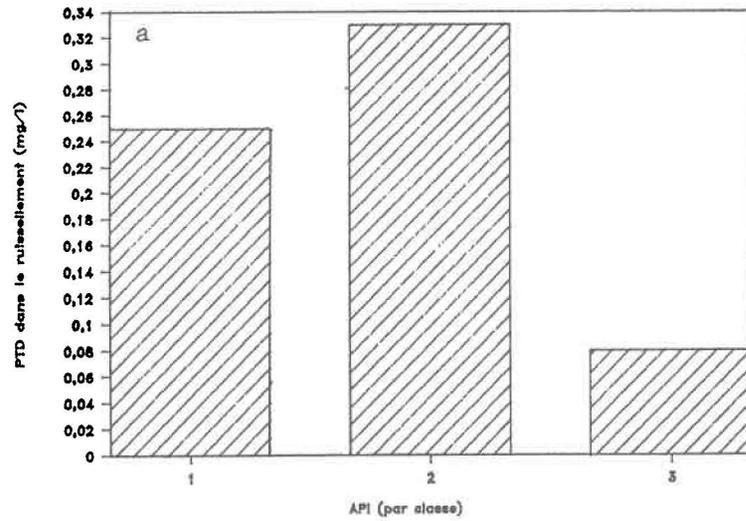


Figure 4.12

Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les concentrations en phosphore total dissous dans les eaux de ruissellement.

concentrations en PTD tandis qu'entre les classes 1 et 3, il n'y a pas de différence significative (figure 4.12c). L'érosivité de la pluie agit de la même façon que I30 (figure 4.12d).

4.2.6 Phosphore biodisponible total

4.2.6.1 Concentrations en phosphore biodisponible total dans les eaux de ruissellement

Les concentrations en phosphore biodisponible total (PBT) sont significativement plus élevées dans les eaux de ruissellement provenant des parcelles cultivées sur billons qu'avec le chisel (2,94 mg/l vs 1,81 mg/l). Le labour conventionnel apporte des concentrations intermédiaires (2,86 mg/l). De plus, pour la culture sur billons, le pourcentage du phosphore total qui est biodisponible est significativement plus élevé que le labour et le chisel. Dans le cas de la culture sur billons, 59 % du phosphore total est biodisponible contre seulement 47 % pour le chisel et 49 % pour le labour conventionnel. La pente du terrain a également un effet significatif sur les concentrations en PBT. Une diminution de la pente de 9,2 % à 4,6 % a diminué les concentrations en PBT de 50 % (3,38 mg/l vs 1,69 mg/l). La figure 4.13 donne l'effet combiné de la pente et des pratiques culturales sur les concentrations en phosphore biodisponible total dans les eaux de ruissellement.

Le contenu en eau dans le sol avant la pluie n'a pas d'effet sur PBT (figure 4.14a). Lorsque la quantité de pluie tombée passe de la classe 2 à la classe 3, il se produit une diminution significative de PBT (4.14b). Les concentrations en PBT dans les eaux de ruissellement sont significativement plus élevées pour

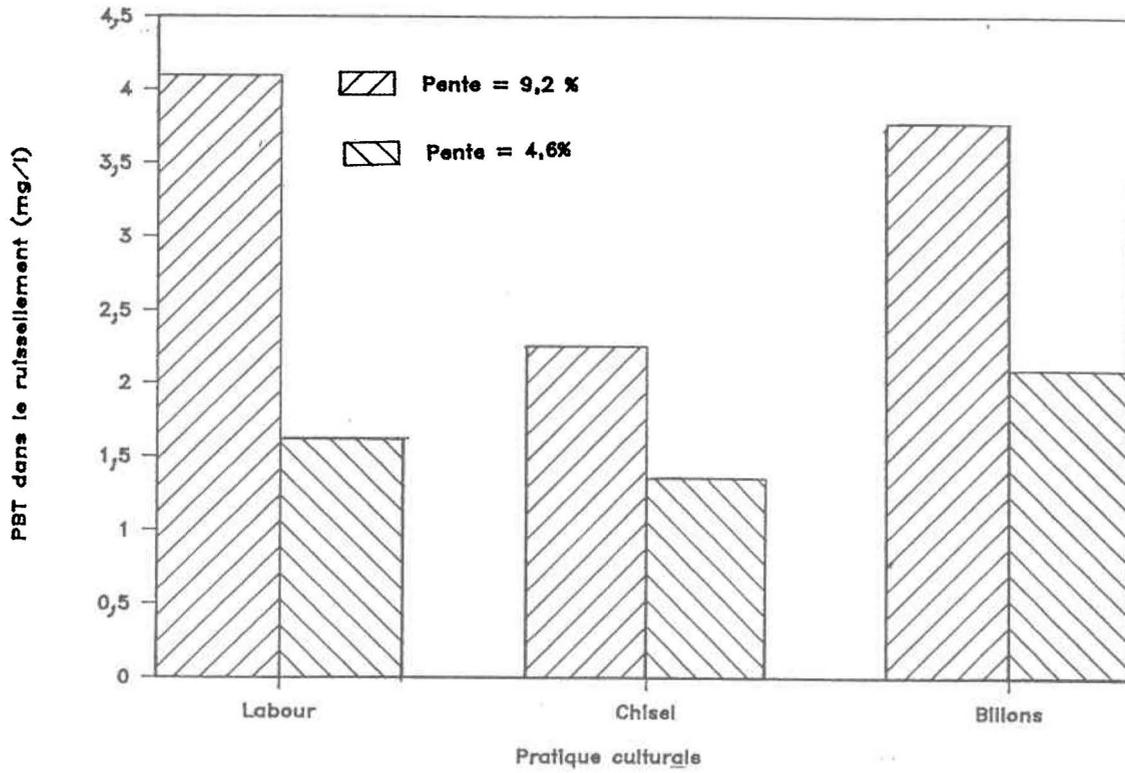


Figure 4.13

Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les concentrations en phosphore biodisponible total dans les eaux de ruissellement.

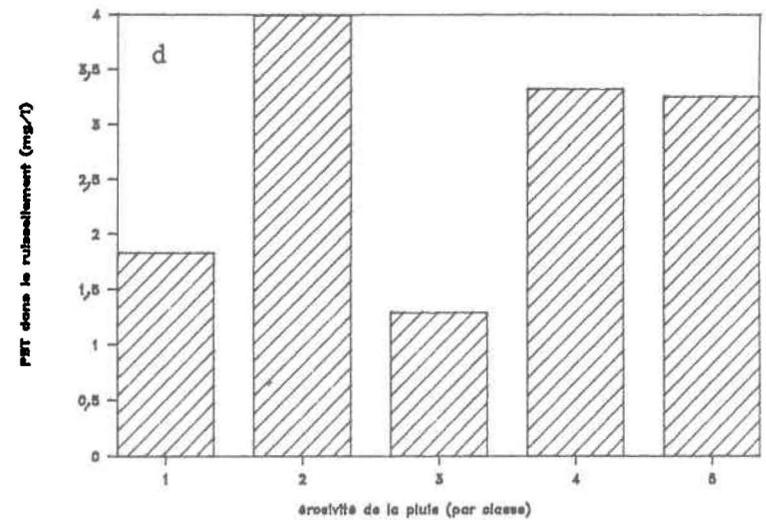
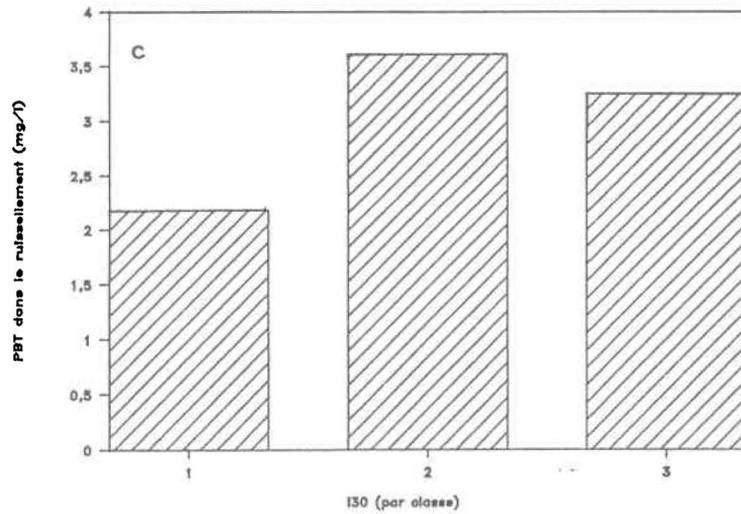
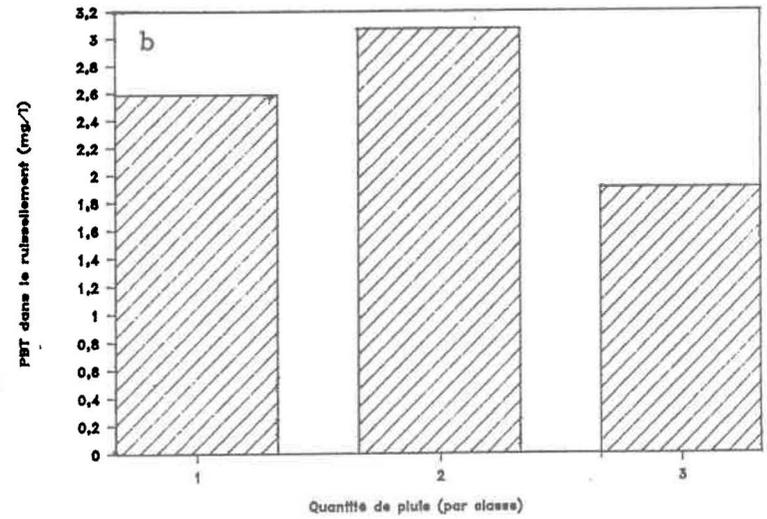
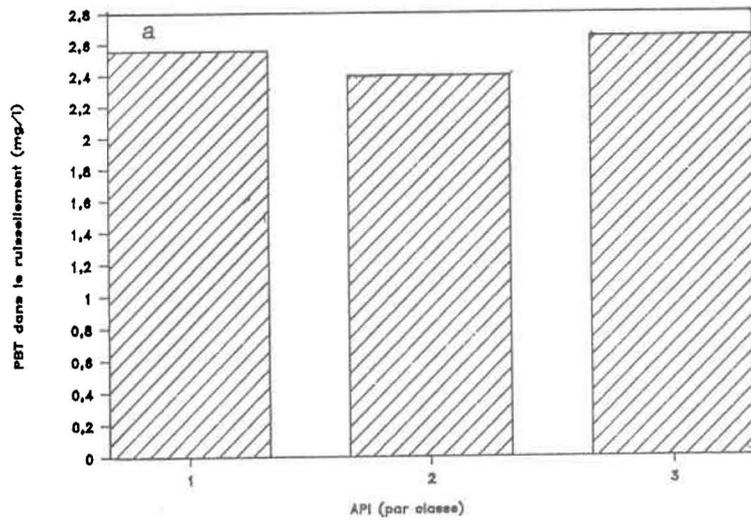


Figure 4.14

Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les concentrations en phosphore biodisponible total dans les eaux de ruissellement.

les I30 de classes 2 et 3 que pour la classe 1 (figure 4.14c). Quant à l'érosivité de la pluie, aucune tendance générale n'est observée entre les différentes classes (figure 4.14d).

4.2.6.2 Concentrations en phosphore biodisponible total dans le sol érodé

Les pratiques culturales ont un effet significatif sur les concentrations en phosphore biodisponible dans le sol érodé. Les particules de sol érodé provenant des parcelles cultivées sur billons sont significativement plus concentrées en PBT que les parcelles labourées conventionnellement ou avec le chisel. Les concentrations en PBT varient comme suit: billons (555 $\mu\text{g/g}$) > chisel (397 $\mu\text{g/g}$) > labour (393 $\mu\text{g/g}$). Pour le billons, 55,5 % du PT est biodisponible contre seulement 41,3 % pour le chisel et 46,4 % pour le labour. La pente n'a pas d'effet significatif sur les concentrations en PBT dans le sol érodé. L'effet combiné de la pente du terrain et des pratiques culturales sur les concentrations en PBT dans le sol érodé est illustré à la figure 4.15.

Les concentrations en phosphore biodisponible dans le sol érodé diminuent lorsque le contenu en eau dans le sol avant la pluie augmente (figure 4.16a). Une augmentation de la quantité de pluie se traduit également par une augmentation de la concentration en PBT dans le sol érodé (figure 4.16b). L'I30 agit de la même façon que l'API (figure 4.16c). Quant à l'érosivité, même si son effet est significatif, aucune tendance générale n'est observée (figure 4.16d).

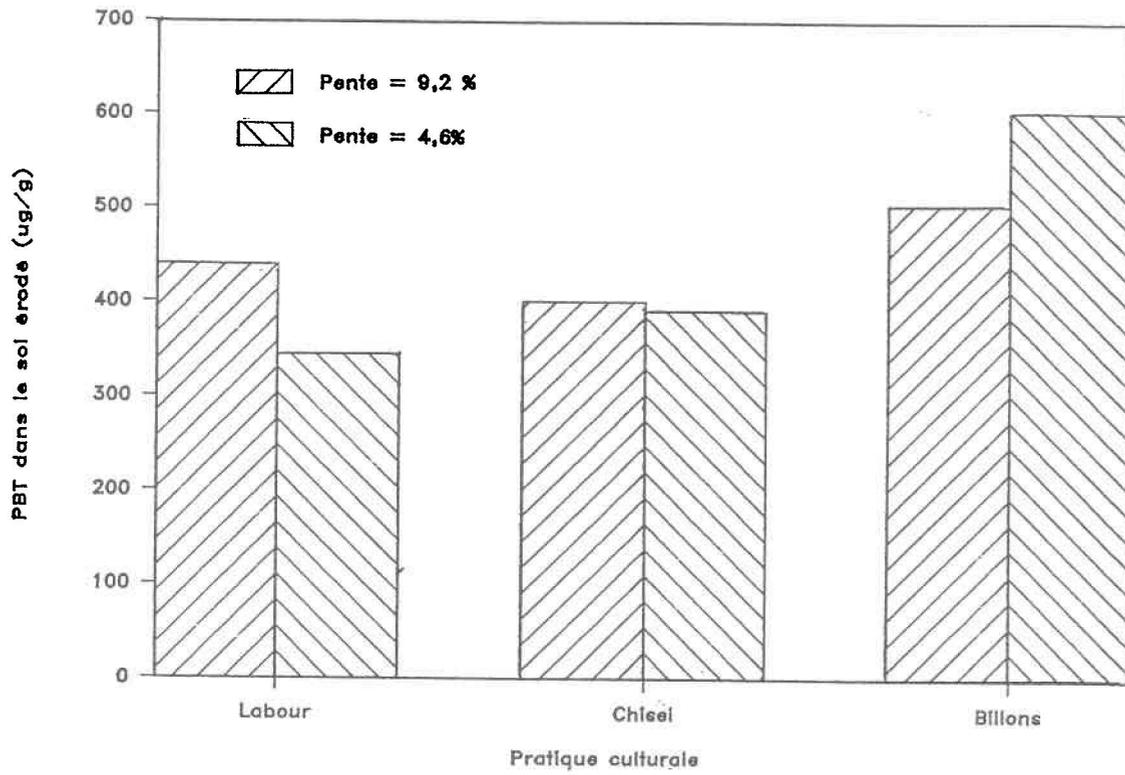


Figure 4.15

Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les concentrations en phosphore biodisponible total dans le sol érodé.

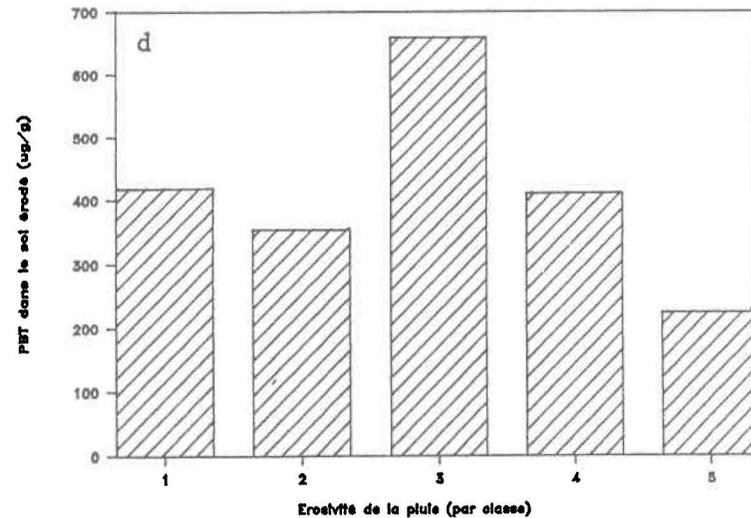
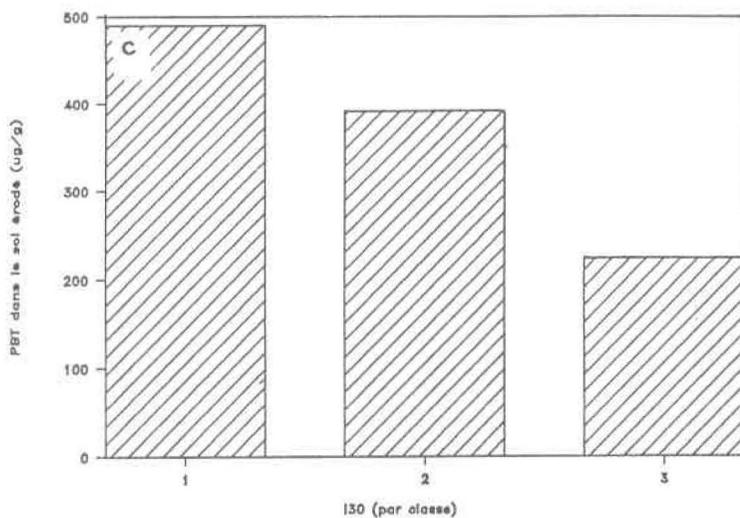
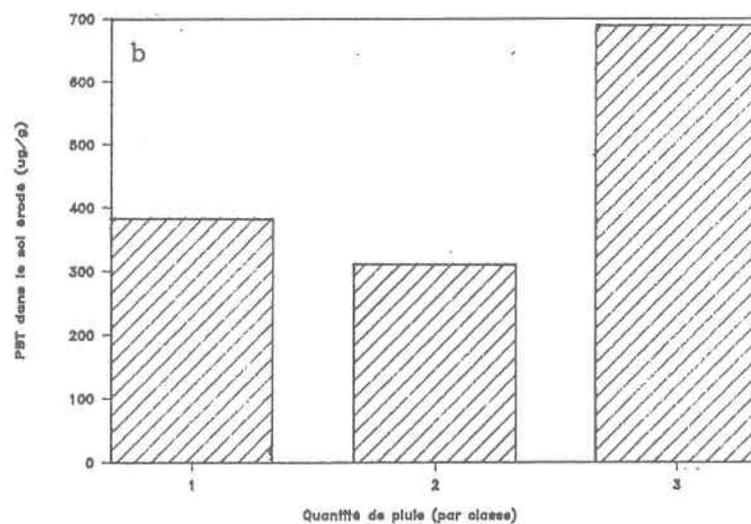
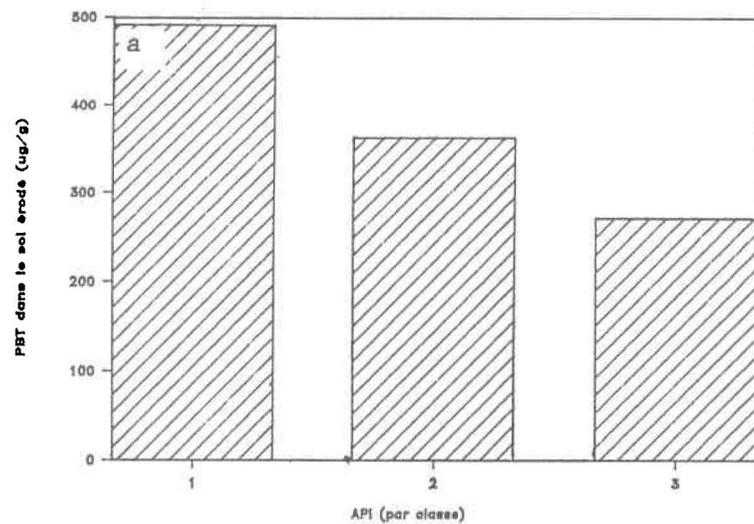


Figure 4.16

Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les concentrations en phosphore biodisponible total dans le sol érodé.

4.2.7 Pertes de phosphore total

Les pratiques culturales et la pente du terrain ont un effet significatif (au niveau $p=0,01$) sur les pertes de phosphore total (PPT) dans les eaux de ruissellement. Les pertes de PT sont significativement plus élevées sur les parcelles labourées conventionnellement que pour les pratiques culturales de conservation des sols. Elles varient dans l'ordre suivant: labour (1794 mg/parcelle) > chisel (324 mg/parcelle) > billons (292 mg/parcelle). Les pertes de PT mesurées pour le chisel et pour la culture sur billons ne sont pas différentes statistiquement. La pente du terrain a un effet significatif sur les pertes de phosphore total. Les pertes moyennes de PT ont été de 1346 mg/parcelle sur la pente de 9,2% contre seulement 260 mg/parcelle sur la pente de 4,6%, ce qui représente une diminution de 81%. La figure 4.17 illustre l'effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les pertes de phosphore total.

L'API et la quantité de pluie de classe 2 donnent des pertes de PT significativement plus élevées que les classes 1 et 3 (figures 4.18a et 4.18b). Les pertes de PT augmentent de façon significative lorsque l'I30 et l'érosivité augmentent (figures 4.18c et 4.18d).

4.2.8 Pertes de phosphore total dissous

Même si l'effet des pratiques culturales sur les pertes de phosphore total dissous (PPTD) n'est pas significatif, on observe une forte diminution des pertes de PTD avec les méthodes de conservation des sols. En effet, le labour donne des pertes de PTD de 48,7 mg/parcelle contre seulement 13,9 mg/parcelle

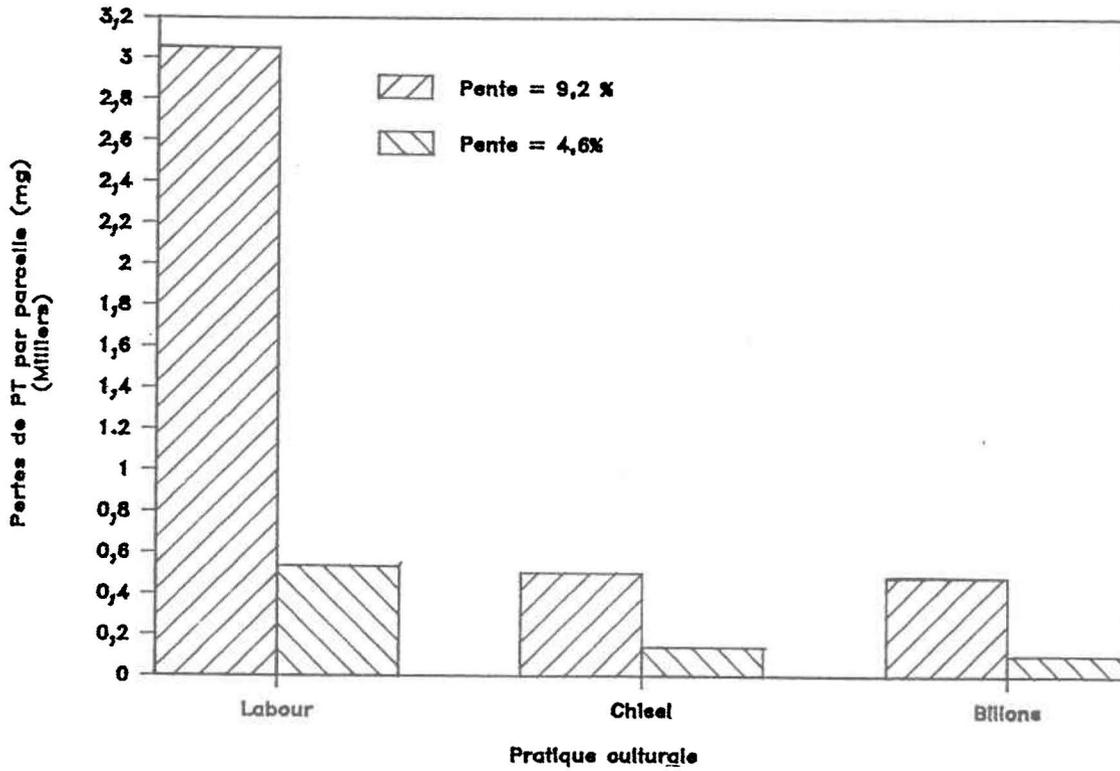


Figure 4.17

Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les pertes de phosphore total par parcelle.

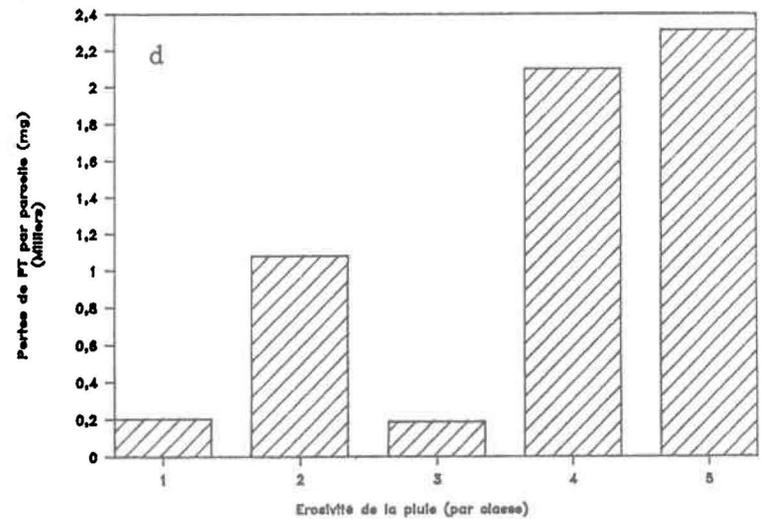
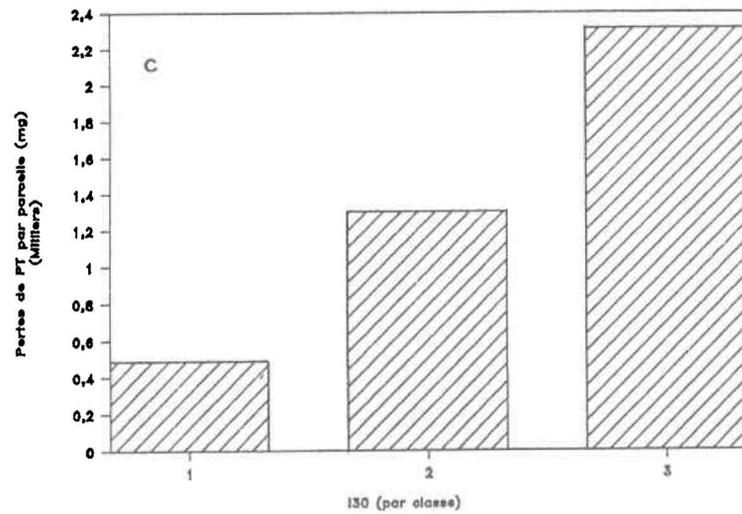
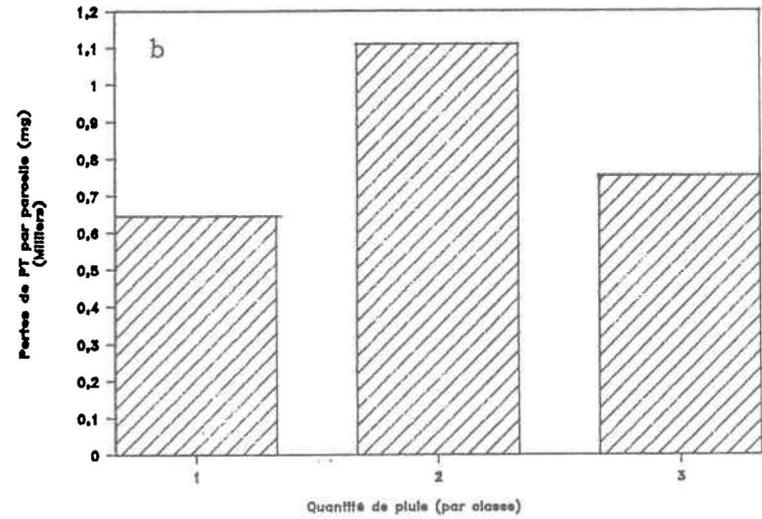
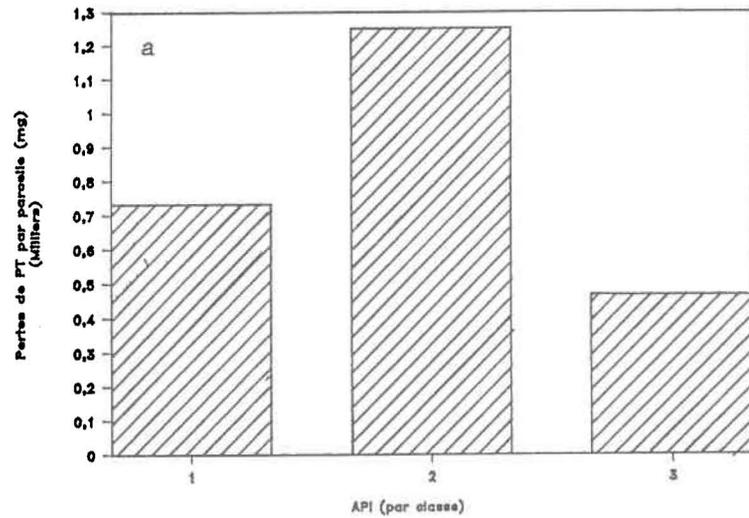


Figure 4.18

Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les pertes de phosphore total par parcelle.

pour le billons et 11,6 mg/parcelle pour le chisel. Une diminution de la pente de 9,2 à 4,6% se traduit par une réduction significative des pertes de PTD de 60% (34,9 mg/parcelle à 14,5 mg/parcelle). La figure 4.19 démontre l'effet des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les pertes de PTD.

Une augmentation du contenu en eau dans le sol de la classe 1 à la classe 2 se traduit par une augmentation significative des pertes de PTD (figure 4.20a). Par contre, pour l'API de classe 3, il y a une baisse significative par rapport aux classes 1 et 2. Une augmentation de la quantité de pluie se traduit par une augmentation significative des pertes de PTD (figure 4.20b). L'effet de I30 est semblable à l'effet de API (figure 4.20c) tandis qu'aucune tendance générale n'est observée pour l'érosivité (figure 4.20d).

4.2.9 Pertes de phosphore biodisponible

Les pratiques culturales et la pente du terrain ont un effet significatif sur les pertes de phosphore biodisponible (PPBT). Elles varient comme suit: labour (769 mg/parcelle) > billons (153 mg/parcelle) > chisel (135 mg/parcelle). Cependant, seul les pertes de phosphore biodisponible total provenant des parcelles labourées conventionnellement sont significativement différentes. Les pertes de phosphore particulaire biodisponible (PPPB) sont proportionnelles aux pertes de PBT. Une diminution de la pente de 9,2 % à 4,6 % implique une diminution des pertes de PBT de 80% (587 mg/parcelle vs 118 mg/parcelle) et des pertes de PPB de 81%. Les effets combinés de la pente et des pratiques culturales sur les pertes de phosphore biodisponible total et sur les pertes de phosphore particulaire biodisponible sont donnés aux figures 4.21a et 4.21b.

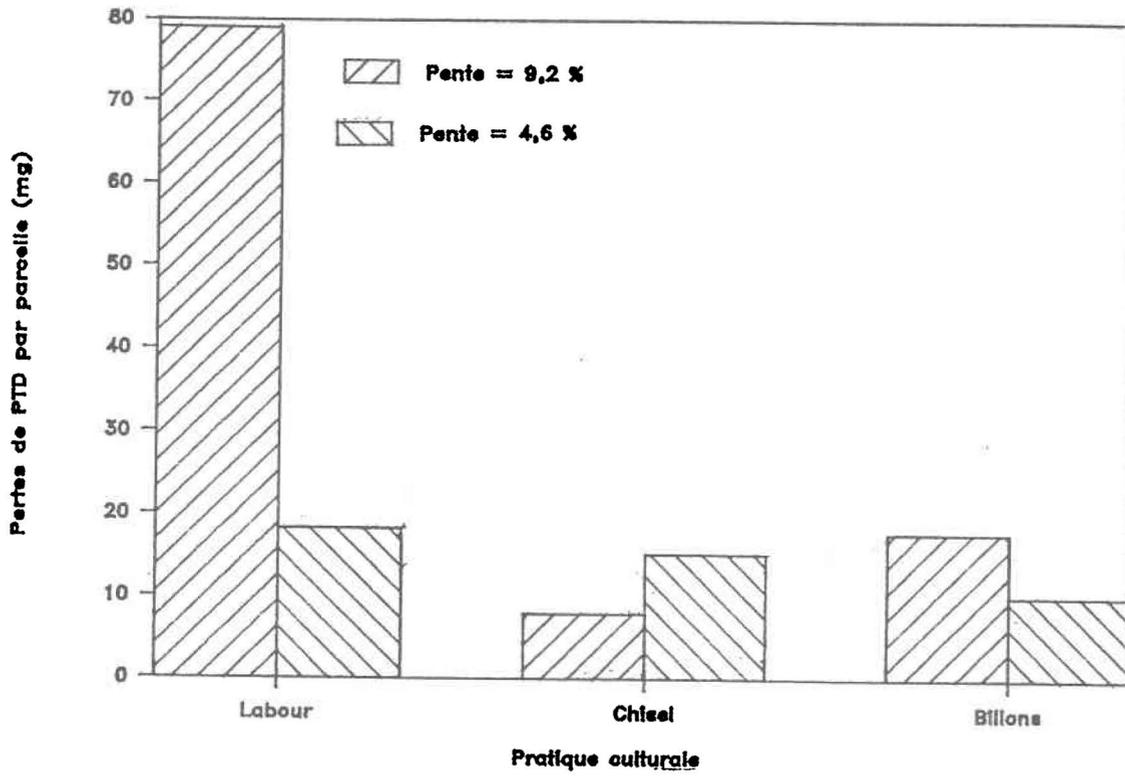


Figure 4.19

Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les pertes de phosphore total dissous par parcelle.

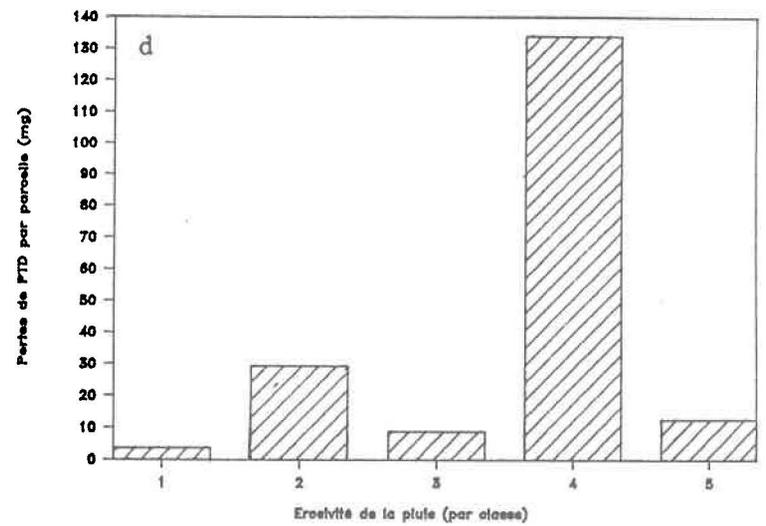
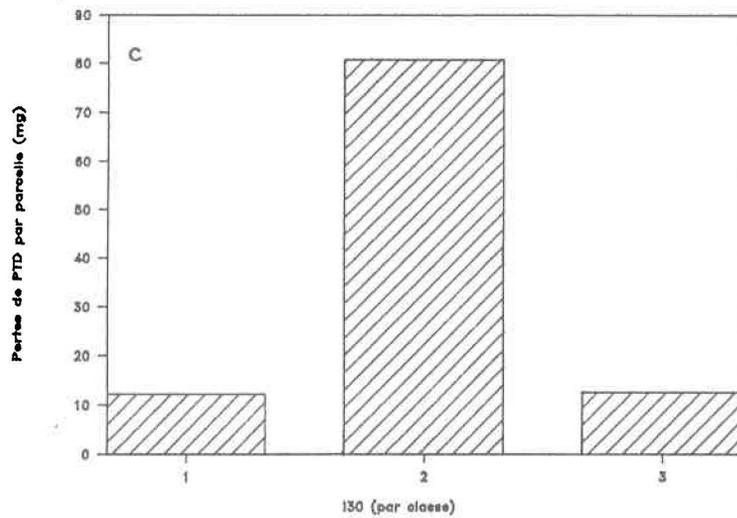
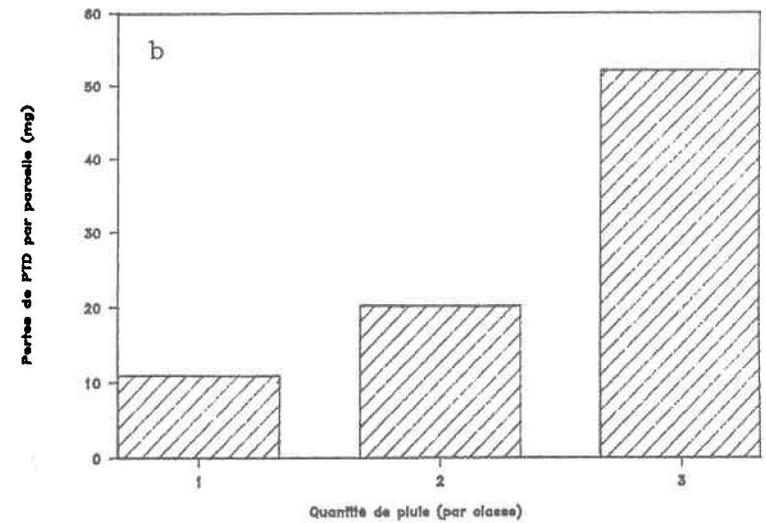
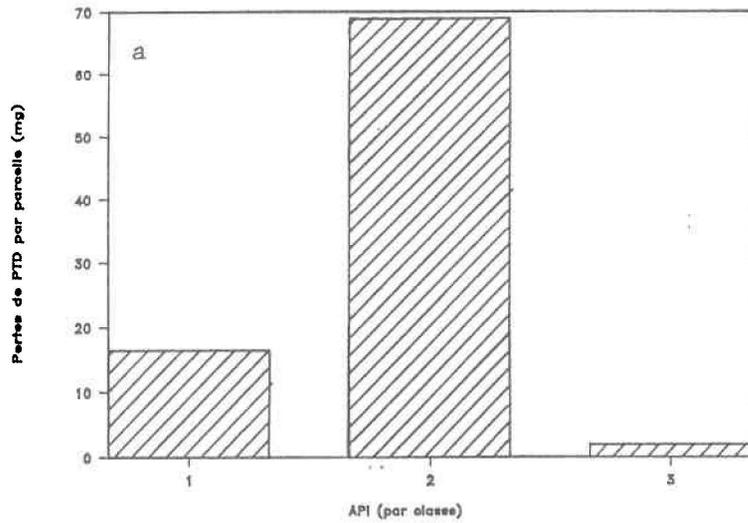


Figure 4.20

Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les pertes de phosphore total dissous par parcelle.

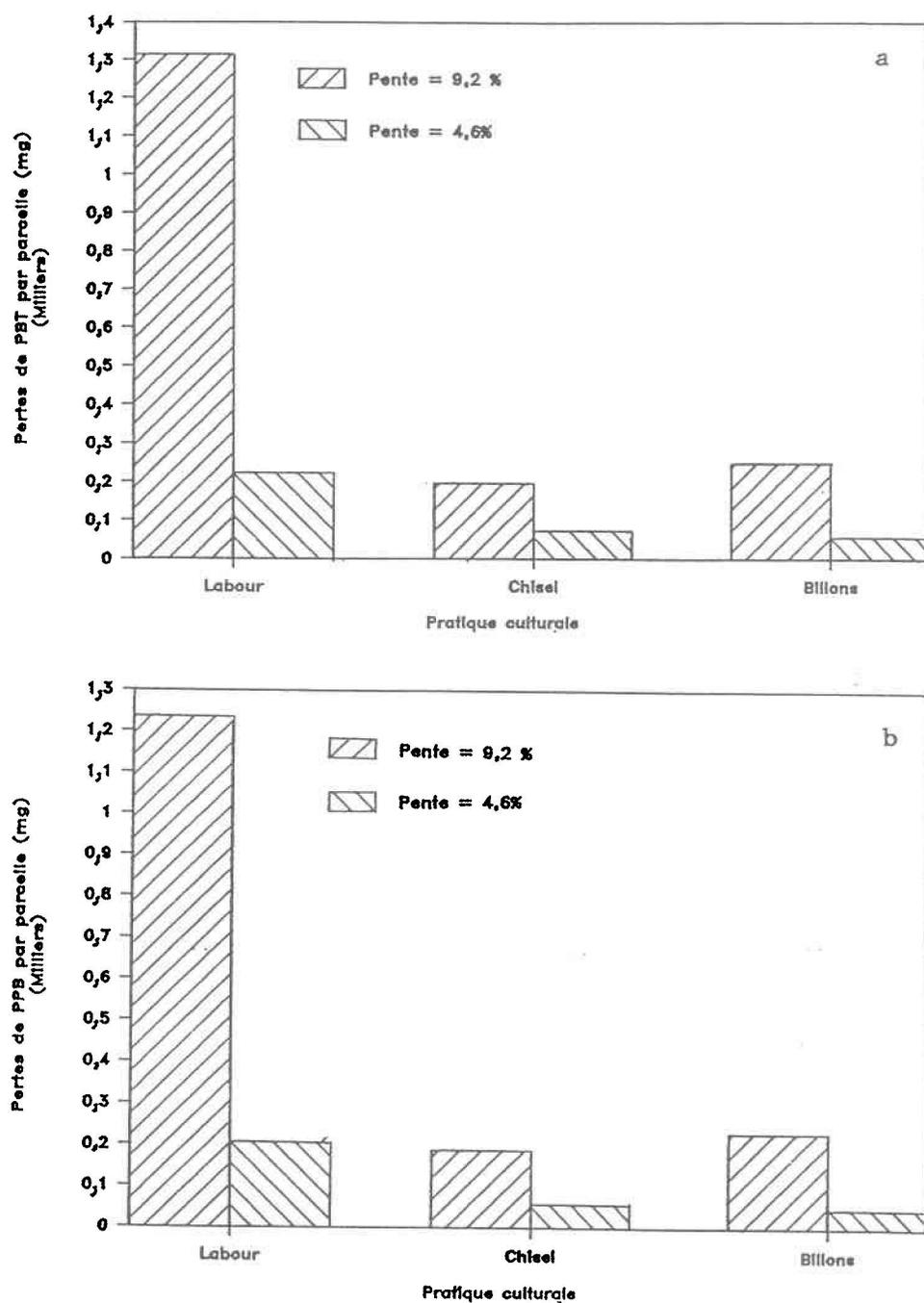


Figure 4.21

Effet combiné des pratiques culturales et de la pente du terrain sur les pertes de phosphore biodisponible total (PBT) et particulaire (PPB) par parcelle.

Lorsque le contenu en eau dans le sol passe de la classe 1 à la classe 2, il y a une augmentation significative des pertes de PBT (306 mg à 646 mg) (figure 4.22a). Par contre, en passant de la classe 2 à la classe 3, il y a diminution significative des pertes de PBT (646 mg à 140 mg). Une augmentation de la quantité de pluie provoque une augmentation des pertes de PBT (figure 4.22b). Les pertes de PBT augmentent avec l'augmentation de I30 (figure 4.22c). Pour l'érosivité, aucune tendance générale n'est observée même si son effet est significatif (figure 4.22d). Le contenu en eau dans le sol et les caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) produisent les mêmes effets sur les pertes de phosphore particulaire biodisponible (figures 4.23a à 4.23d) que sur les pertes de phosphore biodisponible total (figures 4.22a à 4.22d) décrites ci-haut.

4.3 COMPARAISONS DES DEUX MÉTHODES D'EXTRACTION CHIMIQUE POUR DETERMINER LES CONCENTRATIONS EN PHOSPHORE BIODISPONIBLE

Le résultat du test de student montre que les concentrations mesurées par les 2 méthodes d'extraction chimique sont significativement différentes. La méthode d'extraction au NaOH donne, en moyenne, des concentrations en PBT supérieures à la méthode d'adsorption sur la résine cationique par 0,53 mg/l (annexe 5). Cependant, les résultats des 2 méthodes sont fortement corrélés (figure 4.24).

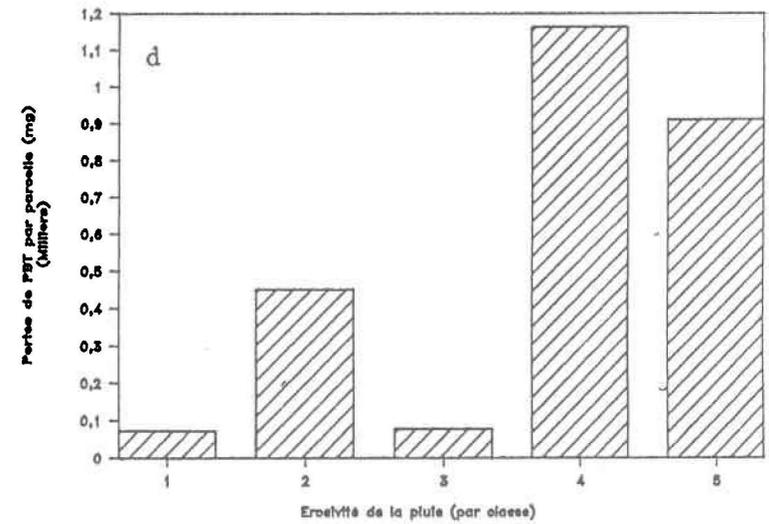
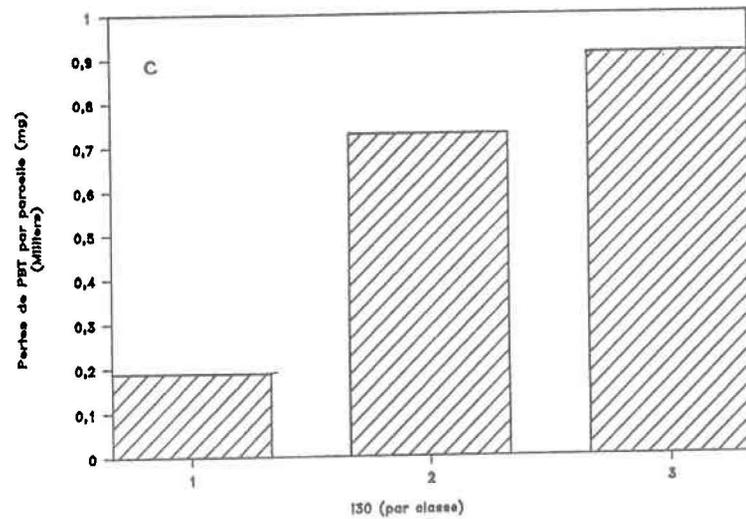
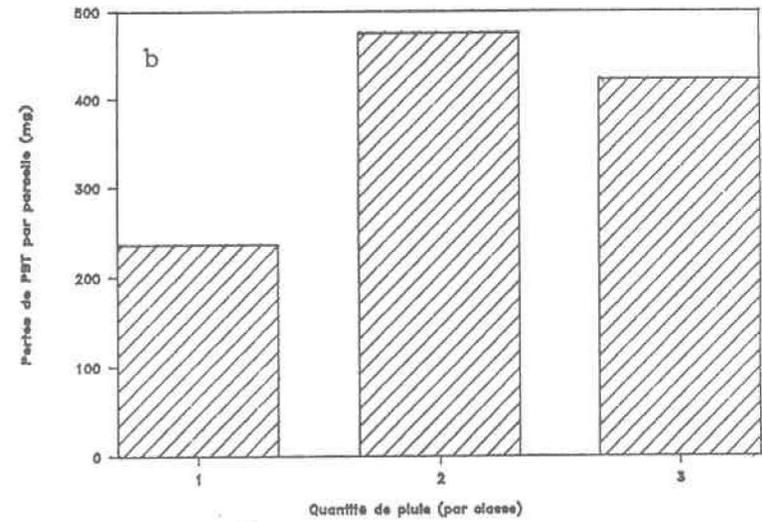
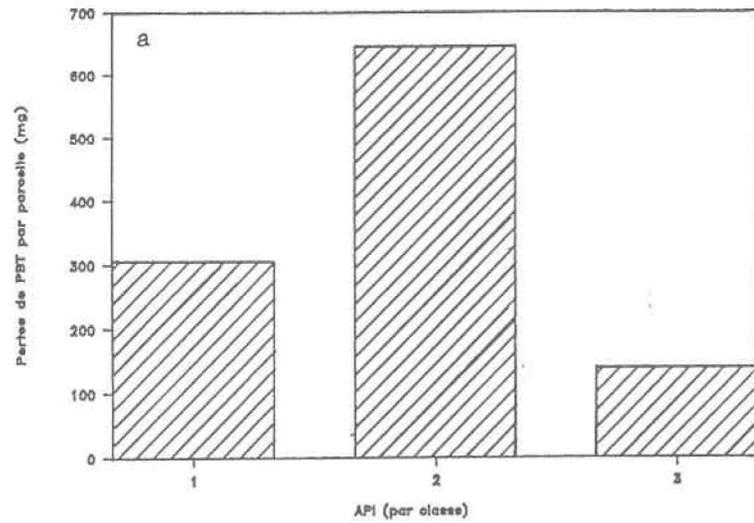


Figure 4.22

Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les pertes de phosphore biodisponible total par parcelle.

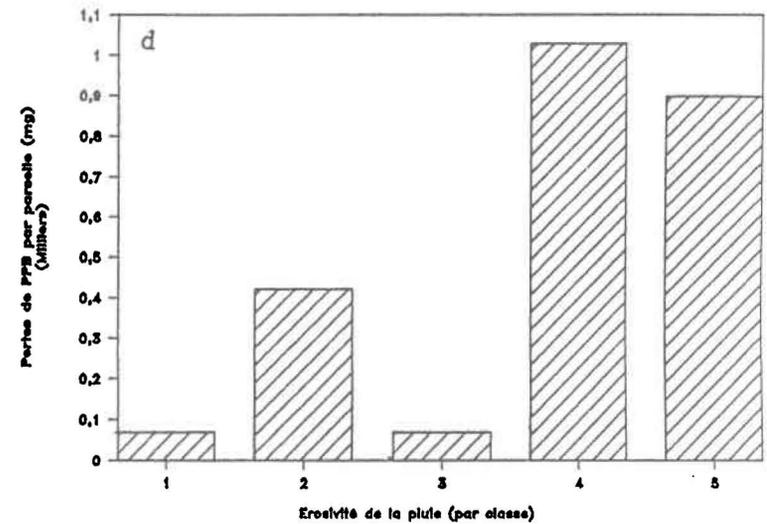
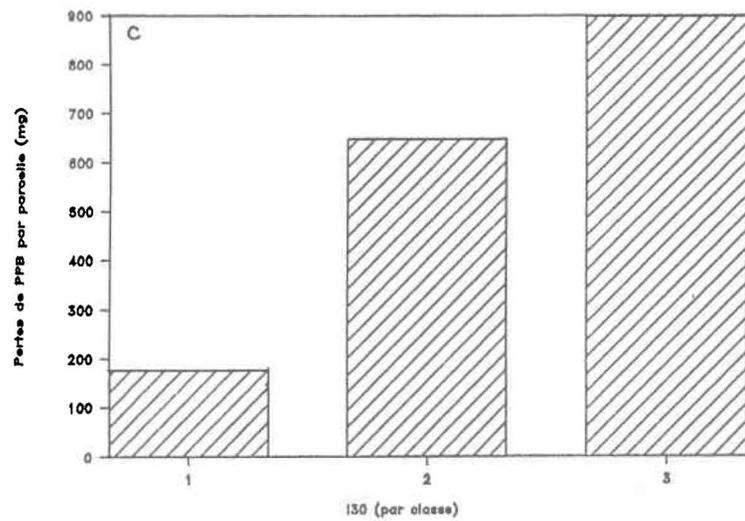
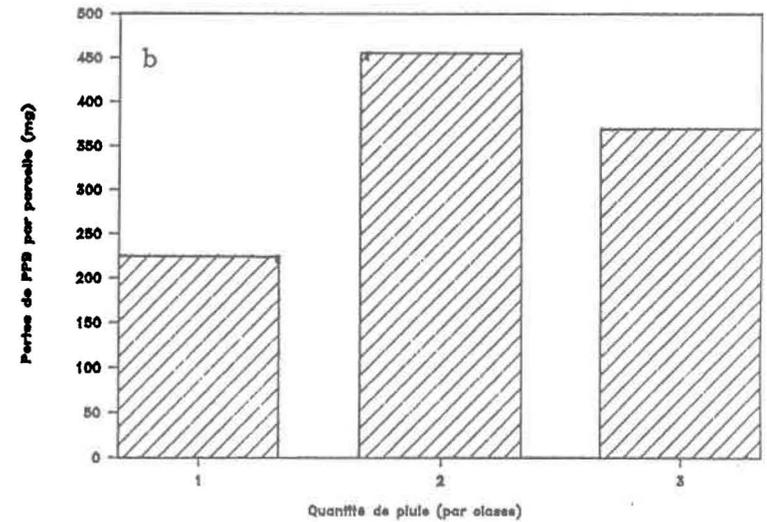
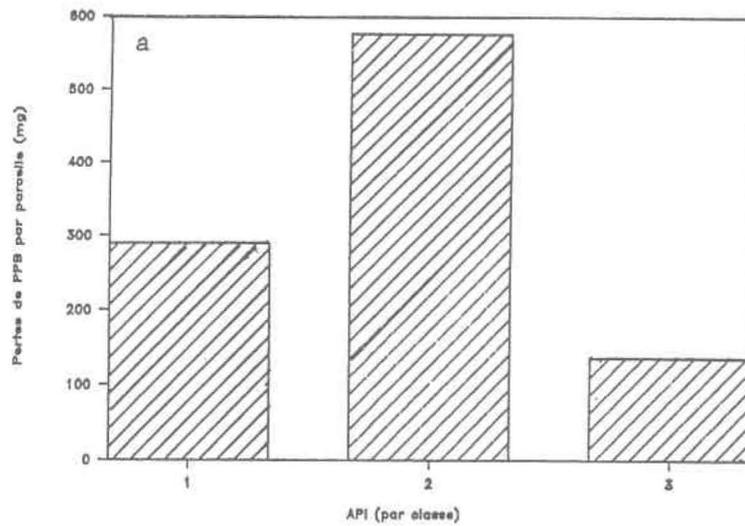


Figure 4.23

Effets de la condition antécédente de pluie (API) et des caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie) sur les pertes de phosphore biodisponible particulaire par parcelle.

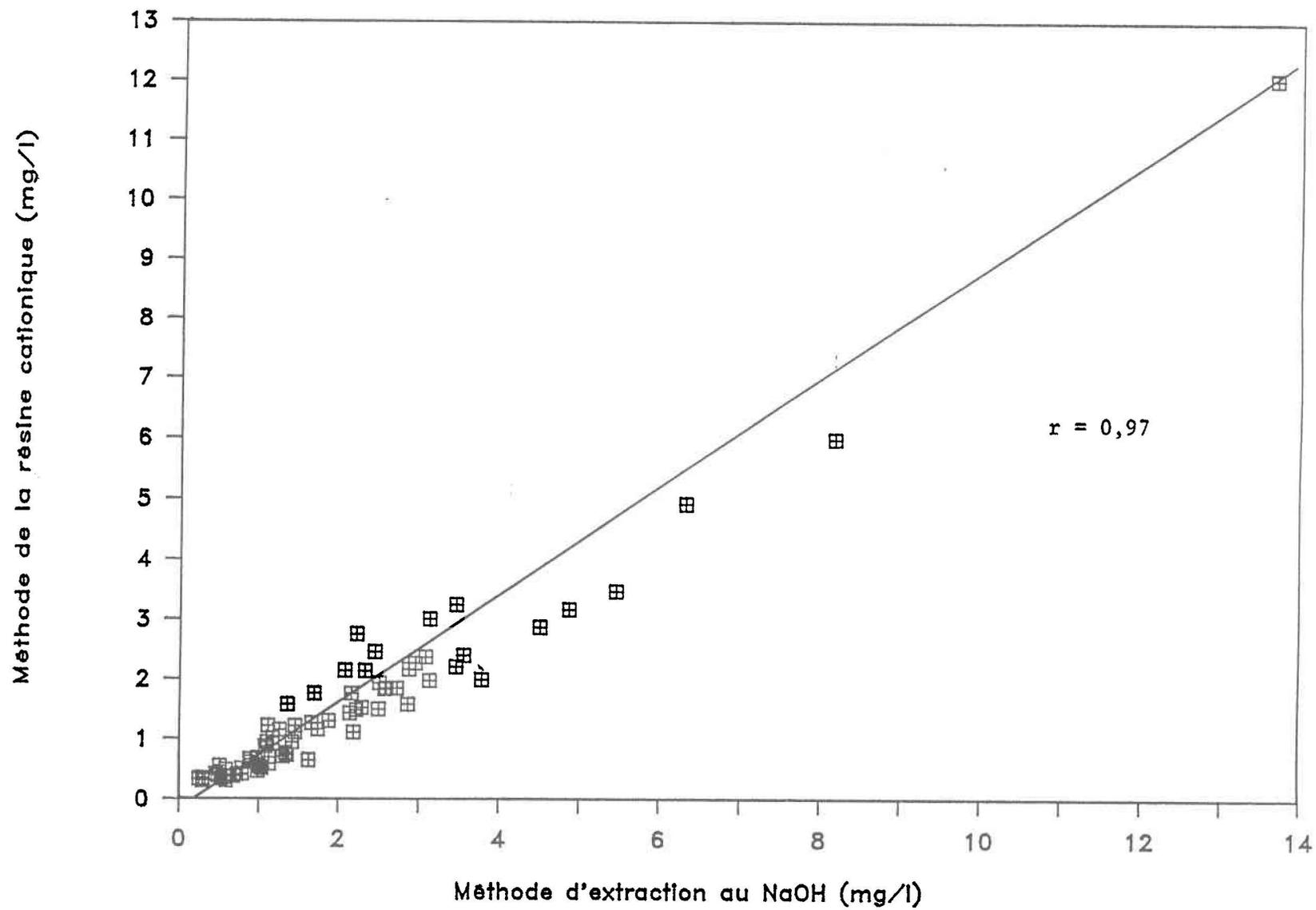


Figure 4.24

Relation entre les concentrations en phosphore biodisponible total mesurées par la méthode d'extraction au NaOH et par la méthode de la résine cationique.

Tableau 4.5

Synthèse des résultats

Variables Source	VOL	SeS	PSP	PT	PS	PTD	PBT	NaOHS	PPT	PPTD	PPBT	PPPB
Réduction du travail du sol	↑	↑ NS	↓		↑	↑↓	↑↓	↑	↓	↓ NS	↓	↓
Augmentation de la pente	↑	↑	↑	↑	↓		↑		↑	↑	↑	↑
Augmentation de API	↔	↑	↔		↓	↓		↓	↔	↔	↔	↔
Augmentation de la quantité de pluie tombée	↑	↔	↔	↓	↔		↔	↑	↔	↑	↑	↑
Augmentation de I30	↑	↑	↑	↑	↓	↔	↑	↓	↑	↔	↔	↑
Augmentation de l'érosivité de la pluie	↑	↑	↑	↔	↓	↔	↔	↔	↑	↔	↔	↔

Légende: ↓ : diminution significative;
 ↑ : augmentation significative;
 ↓ NS : diminution non-significative;
 ↔ : effet significatif mais aucune tendance n'est observée.

↑ : augmentation pour la culture sur billons et diminution pour le chisel.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

5. DISCUSSION

5.1 BIODISPONIBILITÉ DU PHOSPHORE DANS LES EAUX DE RUISSELLEMENT AGRICOLE

5.1.1 Choix d'une méthode d'extraction chimique pour mesurer les concentrations en phosphore biodisponible

Selon Sonzogni et al. (1982), les méthodes par extraction au NaOH et par adsorption sur résine cationique hydroxy-Al représentent les 2 procédures d'extraction chimique les plus complètes pour déterminer les concentrations en phosphore biodisponible. Les résultats de notre étude ont démontré que ces 2 méthodes sont fortement corrélées ($r=0,97$) même si la méthode d'extraction au NaOH donne des concentrations significativement plus élevées (environ 0,53 mg/l). En énumérant les difficultés rencontrées lors de l'utilisation de chacune des méthodes, il est possible d'expliquer la différence de résultats observée entre ces 2 méthodes qui sont pourtant reconnues pour être tout aussi efficace une que l'autre.

Avec la méthode de la résine cationique, 3 difficultés majeures ont été rencontrées. Premièrement, la résine utilisée par Huettl et al. (1979) n'était plus disponible sur le marché et a dû être remplacée par une résine de plus petite taille (voir section 3.4.8.2). Deuxièmement, la préparation de la résine a causé des problèmes. En effet, la méthode de préparation suggérée par Huettl et al. (1979) est très peu détaillée; on a donc dû approximer les concentrations en chlorure d'aluminium et en bicarbonate de sodium nécessaires pour saturer la résine. Troisièmement, au moment du nettoyage de la résine avec du HCl, il y avait toujours une perte de résine lors de la décantation.

Pour ce qui est de la méthode d'extraction au NaOH, aucune difficulté n'a été rencontrée. Les manipulations sont simples et les possibilités d'erreurs sont pratiquement nulles. Le seul changement apporté à la méthode est que, pour déterminer la fraction soluble de PBT, PTD a été utilisé au lieu de DMRP et ce, pour les raisons mentionnées en 4.1. Ce changement ne peut toutefois pas faire une grosse différence car la phase soluble ne représente qu'environ 10 % de PBT et que, selon Wendt et Corey (1980), DMRP représente 85% de PTD. Ceci fait que la surestimation de PBT n'a été que de 1,5% ($15\% * 10\%$) alors que nos résultats indiquent une augmentation moyenne de 25% par rapport à la méthode de la résine. L'utilisation de PTD au lieu de DMRP ne peut donc pas expliquer la différence de résultat entre les 2 méthodes, d'autant plus que la fraction ajoutée (phosphore organique soluble) peut être considérée comme étant bio-disponible (Tessier et al., 1979).

Étant donné que ces 2 méthodes d'extraction chimique extraient complètement le phosphore biodisponible (Sonzogni et al., 1982), on aurait dû obtenir des concentrations en PBT identiques pour les 2 méthodes. On peut donc conclure que la différence de résultats obtenue entre les 2 méthodes est attribuable aux erreurs de manipulations commises avec la méthode de la résine cationique. En effet, la mauvaise saturation de la résine peut faire en sorte qu'elle n'est pas aussi efficace pour adsorber le phosphore inorganique soluble présent dans la solution. De plus, la perte de résine lors de la décantation représente une perte directe de phosphore d'autant plus que ce sont les plus petites billes qui étaient perdues et ces dernières sont celles qui peuvent adsorber le plus de phosphore.

La méthode d'extraction au NaOH est donc plus facile à utiliser et les erreurs de manipulations sont presque impossibles. De plus, elle permet d'étudier les 2 phases de PBT et d'évaluer la concentration en phosphore biodisponible dans les particules de sol érodé. Ce sont d'ailleurs les résultats obtenus par cette méthode qui ont servi à l'analyse et à l'interprétation des résultats (sections 4.1 et 4.2).

5.1.2 Pourcentage du phosphore total biodisponible

D'après les résultats de notre étude, 48% du phosphore total dans les eaux de ruissellement agricole est biodisponible et, la phase particulaire représente 90% du phosphore biodisponible total. Ces résultats sont de loin supérieurs à ceux obtenus par Andraski et al. (1985b) dans une expérience semblable. En effet, ces derniers concluaient que 20% du phosphore total était biodisponible et que la fraction particulaire représentait 70% de PBT. La différence de résultats se situe donc au niveau de la fraction particulaire qui est plus importante dans notre étude. Les résultats de Williams et al. (1980) permettent d'expliquer cette différence de résultats. En effet, ces derniers ont étudié la biodisponibilité du phosphore dans des sédiments récoltés dans le fond du lac Ontario. Ils ont ainsi mesuré qu'entre 8 et 50% du phosphore total dans ces sédiments était biodisponible et que ces pourcentages étaient directement reliés à la fraction NAIP dans les sédiments ($r=0,994$). Le sol de la série Neubois est très peu fertile naturellement donc, il contient peu de phosphore naturel (AIP). Comme le phosphore présent dans le sol provient de l'application de fertilisants phosphatés (qui sont une source de NAIP), la fraction NAIP sera considérable comparativement à la fraction AIP et par conséquent, le pourcentage de PT qui est biodisponible sera plus élevé. Ainsi, pour le sol de

la série Neubois, nous avons calculé qu'environ 46% du phosphore présent dans les particules de sol érodé était biodisponible. Pour leur part, Dorich et al. (1980) ont calculé que 20% du phosphore particulaire était biodisponible dans des sédiments lacustres provenant d'un bassin versant à vocation entièrement agricole. La différence dans ces pourcentages est sûrement due à l'origine du phosphore entre les 2 sols.

La fraction du phosphore total qui est biodisponible dans les eaux de ruissellement agricole ne représente donc pas un pourcentage constant de PT mais elle dépendra plutôt de l'importance de la fraction NAIP dans le sol étudié et donc, de l'origine du phosphore dans le sol en question. De plus, pour un même sol, le pourcentage de PT qui est biodisponible variera selon les pratiques culturales, selon la condition antécédante de pluie et selon la quantité de pluie tombée.

5.2 FACTEURS INFLUENCANT LA BIODISPONIBILITÉ DU PHOSPHORE DANS LES EAUX DE RUISSELLEMENT AGRICOLE

Les concentrations et les pertes de phosphore biodisponible sont influencées par les pratiques culturales, la pente du terrain, le contenu en eau dans le sol avant la pluie ainsi que par les caractéristiques des précipitations (quantité de pluie, I30 et érosivité de la pluie).

5.2.1 Pratiques culturales

5.2.1.1 Effet sur les concentrations en phosphore biodisponible

Les pratiques culturales de conservation des sols (billons et chisel) n'augmentent pas les concentrations en phosphore biodisponible dans les eaux de ruissellement comparativement au labour conventionnel. Cependant, l'utilisation du chisel plutôt que du semis direct permet d'obtenir des concentrations en PBT significativement plus faibles. Pour mieux expliquer l'effet des pratiques culturales sur les concentrations en PBT, il est préférable d'examiner d'abord l'effet de celles-ci sur chacune des composantes de PBT. C'est-à-dire, les concentrations en PTD et en phosphore biodisponible dans les particules de sol érodé.

Les concentrations en phosphore total dissous sont plus élevées dans les eaux de ruissellement provenant des parcelles cultivées sur billons que pour le chisel et le labour conventionnel. L'augmentation des concentrations en PTD entre le semis direct et le labour conventionnel a été observée par plusieurs auteurs (Johnson et al. (1977); Barisas et al. (1978); Sinukaban (1981); McDowell et McGregor (1984); Mostaghimi et al. (1988)). Ces derniers expliquent l'augmentation de PTD pour les 3 raisons suivantes: mauvaise incorporation des fertilisants associée aux pratiques culturales de conservation des sols, lessivage des résidus et, diminution de la concentration de solides en suspension (SeS). La première raison n'est pas applicable dans notre situation car les fertilisants ont été appliqués tout d'abord en bande lors du semis (injection sous la surface du sol) et la 2ième application a été faite à la volée durant la saison de croissance donc, pas d'incorporation lors du labour.

L'augmentation significative des concentrations en PTD obtenu par la culture sur billons comparativement au labour conventionnel peut donc être attribuée au lessivage des résidus qui sont plus important pour la culture sur billons et également, à une diminution de la concentration en SeS qui diminue la capacité d'adsorption. La différence de PTD entre le chisel (0,227 mg/l) et la culture sur billons (0,289 mg/l) est attribuable uniquement au lessivage des résidus car les concentrations en SeS sont semblables pour les 2 pratiques culturales. Aucune différence significative de concentrations en PTD n'est observée entre les parcelles labourées conventionnellement et à l'aide du chisel malgré l'augmentation du pourcentage de résidus associée à l'utilisation du chisel. Ce résultat, pour le moins surprenant, pourrait être expliqué par le fait que les parcelles labourées conventionnellement, à cause de leur faible pourcentage de résidus, ne sont pas protégées contre l'impact des gouttes de pluie. Ceci a pour effet d'augmenter la profondeur de la zone d'interaction sol-pluie (EDI). Ahuja et al. (1982) ont observé une diminution des concentrations en PTD en augmentant le pourcentage de résidus recouvrant le sol. Ils attribuent la diminution des concentrations en PTD à la diminution de l'impact entre les gouttes de pluie et le sol. Or, dans notre cas, l'augmentation de PTD provoquée par l'utilisation du chisel (à cause des résidus) est contrebalancée par l'augmentation de PTD attribuable au manque de protection du sol dans le cas du labour conventionnel.

Les concentrations en PBT dans les particules de sol érodé sont significativement plus élevées pour les parcelles cultivées sur billons que celles labourées conventionnellement ou avec le chisel. Cette différence observée entre la culture sur billons et le labour conventionnel ou le chisel s'explique par l'augmentation de la sélectivité de l'érosion attribuable à

l'augmentation du pourcentage de résidus. En effet, Sinukaban (1981) a obtenu des pourcentages d'argile significativement plus élevés pour les particules de sol érodé provenant des parcelles non labourées que celles provenant des parcelles labourées conventionnellement. Ceci a eu pour effet d'augmenter les concentrations en phosphore dans les particules de sol érodé. Tout comme pour les concentrations en PTD, aucune différence dans les concentrations en phosphore biodisponible dans le sol érodé (NaOHS) n'est observée entre le chisel et le labour conventionnel malgré une augmentation du pourcentage de résidus. Ce résultat est difficilement explicable, d'autant plus que les concentrations en PT dans le sol érodé sont significativement plus élevées pour le chisel que pour le labour conventionnel donc, comme le pourcentage de résidus a augmenté la sélectivité de l'érosion, on aurait dû obtenir une augmentation des concentrations en phosphore biodisponible dans le sol érodé provenant des parcelles travaillées avec le chisel.

Malgré que la culture sur billons augmente les concentrations en PTD et en phosphore biodisponible dans le sol érodé (NaOHS), cette pratique culturale n'augmente pas les concentrations en PBT dans les eaux de ruissellement parce qu'elle diminue les concentrations de solides en suspension de 44%. Cependant, l'augmentation de PTD et de NaOHS se traduit par un plus grand pourcentage du phosphore total qui est biodisponible pour la culture sur billons (59%) comparativement au labour conventionnel (49%). L'utilisation du chisel plutôt que du labour conventionnel permet une diminution des concentrations en PBT de 37% même si les concentrations en PTD et en NaOHS ne varient pas d'une méthode à l'autre. La diminution de PBT est proportionnelle à la diminution de SeS; donc, on peut attribuer la différence de concentration en PBT à la diminution de SeS observée pour le chisel. Le pourcentage du phosphore total qui est bio-

disponible est donc le même pour ces 2 pratiques culturales (49%). Pour la culture sur billons et le chisel, il y a une différence significative de PBT malgré que les concentrations en SeS soient identiques parce que NaOHS et PTD sont plus élevées pour la culture sur billons. Alors, la fraction du phosphore total qui est biodisponible (FPTB) sera aussi plus élevée pour la culture sur billons (voir annexe 4a).

Les pratiques culturales de conservation des sols sont plus efficaces pour réduire l'érosion que pour réduire les concentrations en PT et PBT (figure 5.1). Cette diminution d'efficacité vis-à-vis PT et PBT est attribuable à l'augmentation de la sélectivité de l'érosion provoquée par la plus grande quantité de résidus laissés à la surface du sol.

5.2.1.2 Effet sur les pertes de phosphore biodisponible

Les pratiques culturales de conservation des sols sont très efficaces pour réduire les pertes de phosphore biodisponible parce qu'elles diminuent le volume de ruissellement. En effet, le chisel et la culture sur billons ont diminué les pertes de PBT de 82 et 80% respectivement et le volume de ruissellement de 68 et 76%. Donc, les 2 pratiques culturales de conservation des sols sont tout aussi efficaces pour réduire les pertes de PBT car l'augmentation des concentrations en PBT observée pour la culture sur billons par rapport au chisel est compensée par une plus forte diminution du volume de ruissellement.

Le chisel permet une diminution relative des pertes de PBT aussi importante que la diminution de l'érosion tandis que pour la culture sur billon, la diminution

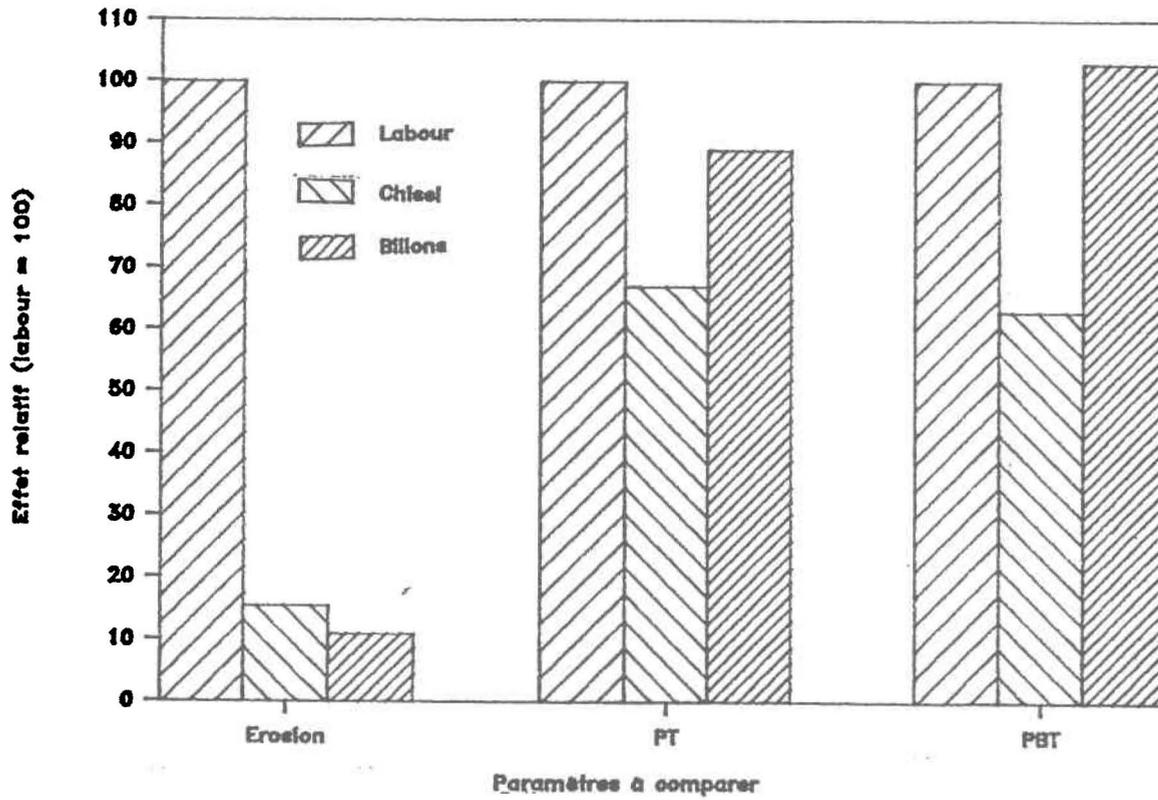


Figure 5.1

Effet relatif des pratiques culturales sur l'érosion, PT et PBT
(labour = 100).

relative des pertes de PBT est moins importante que la réduction de l'érosion à cause du plus grand enrichissement en phosphore biodisponible dans le sol érodé (figure 5.2).

5.2.2 Pente du terrain

5.2.2.1 Effet sur les concentrations en phosphore biodisponible

Une diminution de la pente du terrain de 50% se traduit par une diminution semblable des concentrations en phosphore biodisponible dans les eaux de ruissellement. La diminution relative de PBT est la même que la diminution en PT mais ces dernières sont moins importantes que la diminution relative de l'érosion (figure 5.3). Cette différence est sans aucun doute attribuable à l'augmentation de sélectivité occasionnée par la diminution de la pente. En effet, les particules de sol érodé provenant des parcelles de sol situées sur la pente de 4,6% sont significativement plus concentrées en phosphore que celles provenant de la pente de 9,2%.

Le pourcentage du phosphore total qui est biodisponible ne varie pas d'une pente à l'autre parce que l'enrichissement en phosphore particulaire biodisponible est proportionnel à l'enrichissement en phosphore particulaire total.

5.2.2.2 Effet sur les pertes de phosphore biodisponible

Les pertes de PBT ont diminuées de 80% lorsque la pente du terrain est passée de 9,2 à 4,6%. Cette diminution est semblable à la diminution des pertes de sol

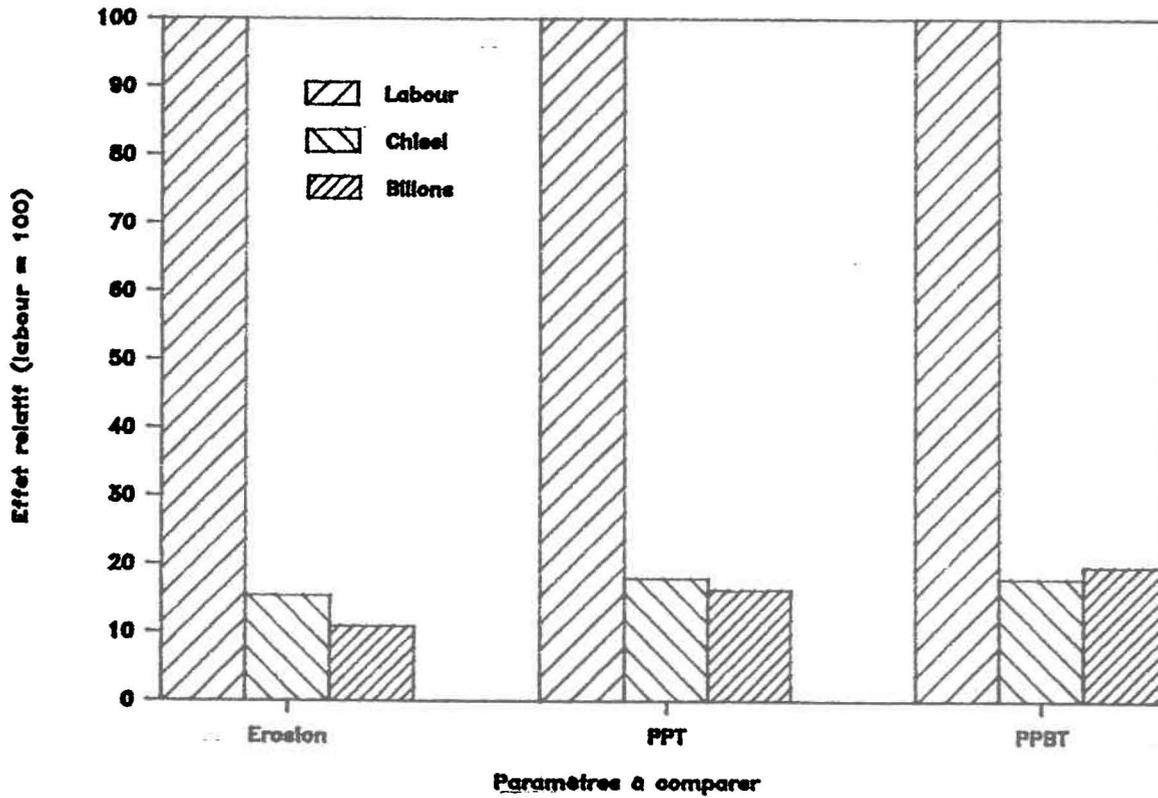


Figure 5.2

Effet relatif des pratiques culturales sur l'érosion, sur les pertes de PT et sur les pertes de PBT (labour = 100).

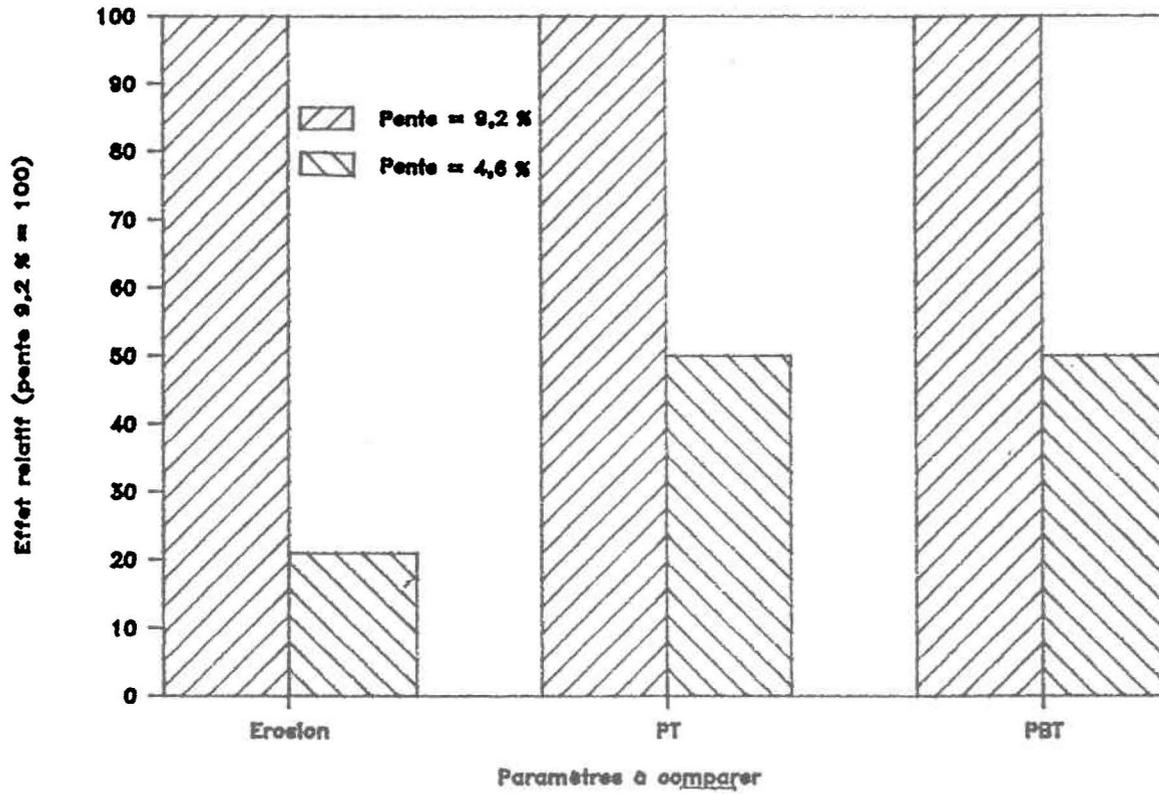


Figure 5.3

Effet relatif de la pente du terrain sur l'érosion, sur PT et sur PBT
(pente 9,2% = 100).

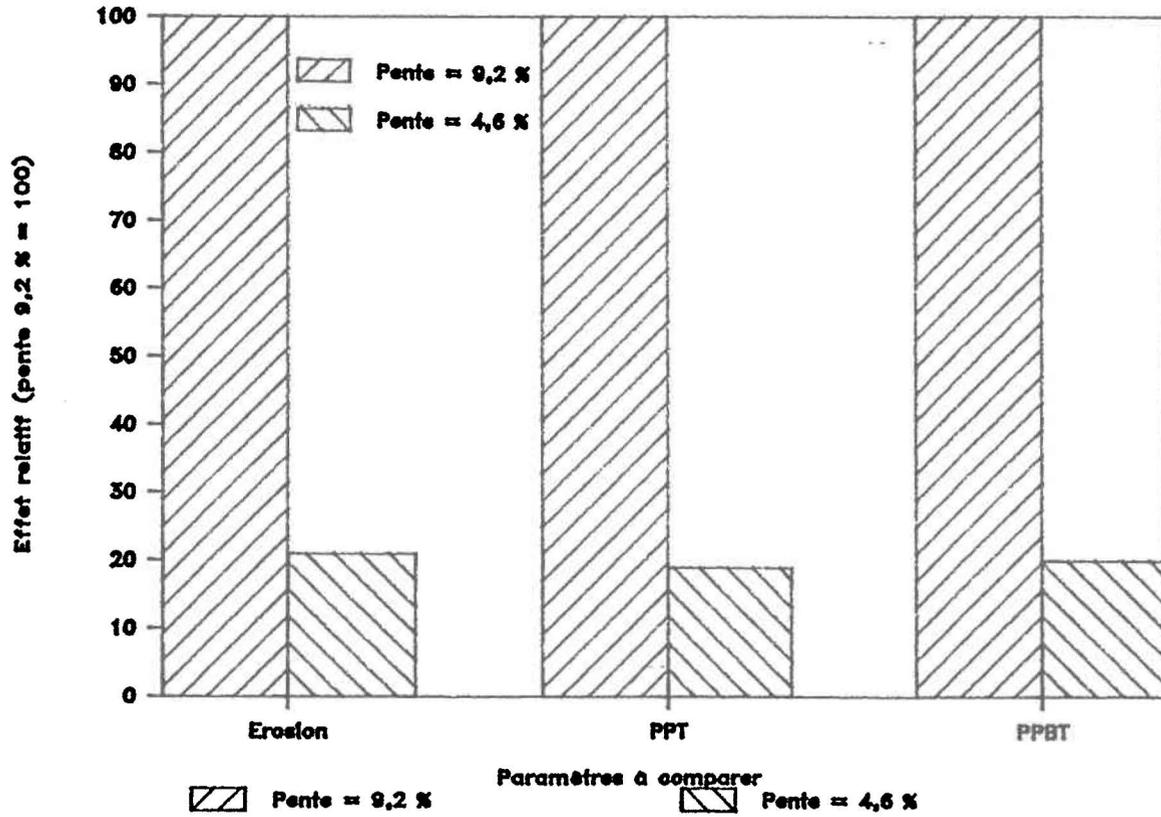


Figure 5.4

Effet relatif de la pente du terrain sur l'érosion, sur les pertes de PT et sur les pertes de PBT (pente 9,2% = 100).

et des pertes de PT (figure 5.4). Donc, une diminution de la pente du terrain est aussi efficace à réduire les pertes de PT et de PBT qu'à réduire l'érosion.

5.2.3 Condition antécédente de pluie

La condition antécédente de pluie n'influence pas les concentrations en PBT dans les eaux de ruissellement agricole par contre, elle a une influence sur les pertes de PBT parce qu'elle a un effet sur le volume de ruissellement.

Si on se réfère à la figure 4.22a, on observe une forte augmentation des pertes de PBT lorsque API passe de la classe 1 à la classe 2. Cette augmentation est due au fait que lorsque le contenu en eau dans le sol augmente, la quantité d'eau qui peut percoler dans le sol diminue et alors, le volume d'eau qui ruisselle est plus élevé (figure 4.2a). Ainsi, comme les pertes sont reliées au volume de ruissellement, il y a une augmentation semblable des pertes de PBT. Toujours en se référant à la figure 4.22, on observe une forte diminution des pertes de PBT lorsque API passe de la classe 2 à la classe 3. Ce résultat est surprenant à première vue mais, si on étudie le tableau 3.3, on s'aperçoit qu'il n'y a qu'une seule pluie qui appartient à la classe d'API #3 (pluie no. 5) et cette pluie est celle où la quantité de pluie tombée était la pluie faible (6,04 mm). Étant donné que la quantité de pluie tombée a un effet sur le volume de ruissellement, on observe une diminution de celui-ci pour API de classe 3 (figure 4.2a) et par le fait même, une diminution des pertes de PBT.

Donc, même si la condition antécédente de pluie a un effet significatif sur les pertes de PBT, elle ne permet pas de prédire ces pertes parce qu'il faut également tenir compte de la quantité de pluie tombée. Par contre, pour des

pluies de même quantité, on devrait s'attendre à une augmentation des pertes de PBT lorsque la condition antécédante de pluie augmente.

5.2.4 Quantité de pluie

5.2.4.1 Effet sur les concentrations en PBT

L'énergie cinétique de la pluie est directement reliée à la quantité de pluie tombée (Wischmeier et al., 1978). Donc, la sélectivité de l'érosion devrait diminuer lorsque la quantité de pluie tombée augmente. Ainsi, nous avons obtenu une diminution significative des concentrations en phosphore biodisponible dans les particules de sol érodé (NaOHS) lorsque la quantité de pluie tombée passe de la classe 1 à la classe 2 (figure 4.16b). On peut expliquer ce résultat par une diminution de sélectivité due à l'augmentation de l'énergie cinétique de la pluie. Par contre, en passant de la classe 2 à la classe 3, on observe une forte augmentation de PBT dans le sol érodé malgré une augmentation de l'énergie cinétique de la pluie. Ce résultat imprévisible peut être attribuable à la différence d'intensité entre les pluies de la classe 2 et celles de la classe 3. En effet, l'intensité moyenne des pluies de la classe 2 est de 18,7 mm/heure contre 11,7 mm/heure pour celles la classe 3. On peut alors conclure que la diminution de l'intensité de pluie est responsable de l'augmentation de sélectivité. Donc, l'effet de l'intensité de la pluie prédomine sur l'effet de la quantité de pluie (et de l'énergie cinétique).

Maintenant, si on observe les concentrations en PBT (figures 4.14a à 4.14d), on remarque que malgré la diminution des concentrations en PBT dans le sol érodé, les concentrations en PBT dans les eaux de ruissellement ne varient pas lorsque

la quantité de pluie tombée passe de la classe 1 à la classe 2 (figure 4.14 b). L'augmentation des concentrations en SeS entre ces 2 classes (figure 4.4b) sert donc à expliquer l'égalité des concentrations parce qu'elle annule l'effet de la sélectivité. De la classe 2 à la classe 3, il y a une diminution significative des concentrations en PBT dans les eaux de ruissellement malgré l'augmentation de NaOHS. Encore une fois, c'est par la diminution des concentrations en SeS (figure 4.4b) que l'on peut expliquer la baisse de PBT. La forte diminution de SeS entre les classes 2 et 3 est due à la diminution d'intensité entre les 2 classes.

L'utilisation de pluies naturelles plutôt que d'un simulateur de pluie fait que nous ne pouvons rien conclure sur l'effet de la quantité de pluie tombée sur les concentrations en PBT dans les eaux de ruissellement agricole parce que l'intensité de la pluie n'est pas constante et elle camoufle l'effet de la quantité de pluie. Pour mieux évaluer l'effet de la quantité de pluie tombée, il aurait été préférable d'avoir des pluies de même intensité.

5.2.4.2 Effet sur les pertes de PBT

Selon Dubé et al.(1984), la quantité de pluie tombée a un effet sur le volume de ruissellement. Elle influencera donc les pertes de PBT.

Ainsi, lorsque la quantité de pluie tombée passe de la classe 1 à la classe 2, les pertes de PBT augmentent significativement (figure 4.22b). Par contre, les pertes de PBT et le volume de ruissellement ne varient pas lorsque la quantité de pluie tombée passe de la classe 2 à la classe 3. Selon les propos de Dubé et al. (1984), on aurait dû s'attendre à une augmentation des pertes de PBT et du

volume de ruissellement. Mais, tout comme pour les concentrations en PBT, il faut considérer la diminution de l'intensité de pluie entre ces 2 classes. En effet, la diminution d'intensité fait qu'une plus grande quantité d'eau peut percoler dans le sol, ce qui diminue la quantité d'eau qui ruisselle ainsi que les pertes de PBT.

On ne peut donc pas vraiment conclure quoi que se soit à propos de l'effet de la quantité de pluie sur les pertes de PBT car l'utilisation de pluies naturelles fait que nous ne pouvons pas contrôler l'intensité de la pluie. Ce dernier facteur camoufle l'effet de la quantité de pluie tombée.

5.2.5 Intensité maximale de la pluie sur 30 minutes

Parmi les facteurs qui influencent l'érosion et le ruissellement, l'intensité de la pluie représente le facteur le plus souvent considéré (Sharpley, 1980; Mehuy (1981); Dubé et al. (1984); Young et al. (1986)). Les résultats convaincant obtenus pour chacune des variables pour I30 confirme une fois de plus l'importance de ce paramètre dans le processus de l'érosion et du ruissellement.

5.2.5.1 Effet sur les concentrations en PBT

En plus d'affecter les concentrations en PBT dans les eaux de ruissellement, l'intensité de la pluie affecte les concentrations en PBT dans le sol érodé et les concentrations en PTD dans le ruissellement. Donc, pour mieux expliquer l'effet de I30 sur PBT, on doit tout d'abord évaluer comment varie les 2 composantes de PBT.

Les concentrations en phosphore biodisponible dans le sol érodé (NaOHS) diminuent lorsque l'intensité de la pluie augmente (figure 4.16c) à cause de la diminution de la sélectivité de l'érosion. En effet, Young et al. (1986) rapportent que la sélectivité de l'érosion est plus prononcée pour les averses de faible intensité parce qu'elles résultent en un enlèvement disproportionné des particules fines. Ainsi, l'enrichissement en phosphore biodisponible (NaOHER) est de 3,34 pour I30 de classe 1 et de 1,50 pour I30 de la classe 3 parce que les averses sont de plus en plus sévères et donc la matrice entière du sol a de plus en plus tendance à être complètement arrachée.

Pour ce qui est de la fraction soluble de PBT, la variation n'est pas constante d'une intensité à l'autre. On observe tout d'abord une augmentation significative des concentrations en PTD lorsque I30 passe de la classe 1 à la classe 2 (figure 4.12c). Cette augmentation peut être due à une augmentation de EDI occasionnée par l'augmentation d'intensité. En effet, Sharpley (1985a) a mesuré une augmentation de EDI de 1,50 à 8,75 mm en augmentant l'intensité de la pluie de 50 à 160 mm/heure. Comme EDI augmente, il y a plus de phosphore soluble qui peut être relâché dans le ruissellement. En passant de la classe 2 à la classe 3, on observe une forte diminution de PTD (figure 4.12) qui est jumellée à une augmentation considérable des concentrations en SeS (figure 4.4c). Selon Sharpley et al. (1981b), une augmentation de SeS se traduit par une diminution des concentrations en PTD car il y a augmentation de la capacité d'adsorption du ruissellement. Donc, l'augmentation de PTD attribuable à l'augmentation de l'intensité peut avoir été masquée par l'effet de l'augmentation de SeS.

En ce qui concerne les concentrations en PBT, on observe une augmentation significative lorsque I30 passe de la classe 1 à la classe 2. Étant donné que la fraction soluble ne représente que 14% de PBT, on peut attribuer l'augmentation des concentrations en PBT à la forte augmentation de SeS (134%). Cette dernière compense pour la diminution de NaOHS. Entre les classes 2 et 3, aucune différence significative de PBT n'est observée et ce, malgré de fortes diminutions de PTD et de NaOHS. Une fois de plus, l'augmentation de SeS vient compensée pour la diminution des concentrations. Entre les classes 1 et 3, on constate une augmentation significative de PBT même si NaOHS et PTD diminuent parce que SeS augmente de 182%.

5.2.5.2 Effet sur les pertes de PBT

Les pertes de PBT augmentent lorsque l'intensité de la pluie augmente parce qu'il y a augmentation du volume de ruissellement. En effet, plus l'intensité de la pluie est forte, moins l'eau peut percoler dans le sol et donc, le volume qui ruisselle est plus important.

La diminution relative des pertes de PBT de la classe 3 à la classe 1 est cependant moins importante que la diminution relative de l'érosion (figure 5.5) parce que les particules de sol sont de plus en plus concentrées en PBT lorsque l'intensité diminue.

5.2.6 **Érosivité de la pluie**

L'érosivité de la pluie est un facteur qui tient compte à la fois de l'intensité maximale de la pluie sur 30 minutes et de la quantité de pluie

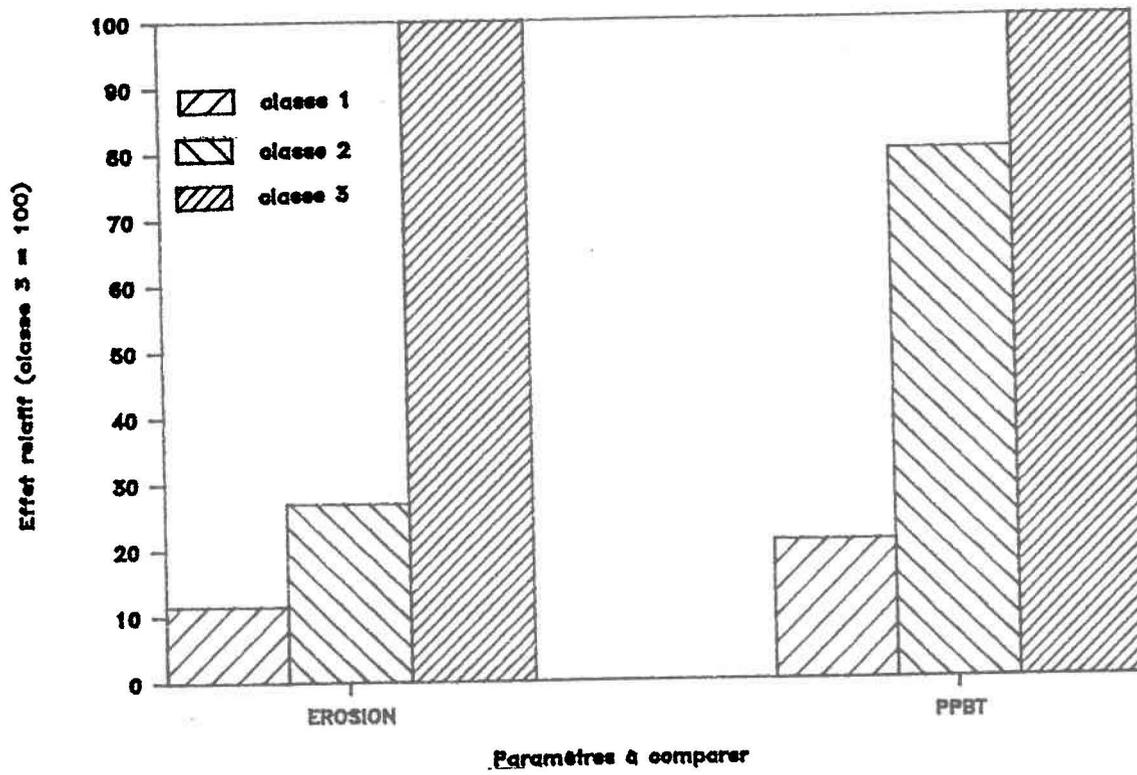


Figure 5.5

Effet relatif de I30 sur l'érosion et sur les pertes de PBT (classe 3 = 100).

tombée. Ce facteur semble donc très complet pour déterminer l'impact d'une pluie sur la biodisponibilité du phosphore dans les eaux de ruissellement. Cependant, les résultats obtenus pour ce facteur ne sont pas du tout intéressants. Même si l'érosivité a un effet significatif sur plusieurs variables (tableau 4.3), aucune tendance générale n'est observée et ce, aussi bien pour les concentrations que pour les pertes de PBT. La faiblesse des résultats obtenus pour l'érosivité peut être due au peu de pluies échantillonnées et à la grande variation de l'érosivité entre les pluies.

En effet, contrairement aux autres facteurs (API, quantité et I30) qui ont été divisés en 3 classes, l'érosivité a dû être divisée en 5 classes parce que l'écart de variation était trop important entre les pluies (6,73 à 199 MJ.mm/ha.heure). Comme on avait juste 11 pluies pour l'analyse des résultats, on a en moyenne, 2 pluies par classe ce qui fait qu'il est difficile de faire ressortir des tendances.

Il serait très intéressant de pouvoir vérifier l'effet de ce paramètre sur la biodisponibilité du phosphore car il donne vraiment la force érosive de la pluie. Pour ce faire, il faudrait échantillonner beaucoup plus que 11 pluies.

5.3 CHOIX D'UNE PRATIQUE CULTURALE ADAPTÉE AU CLIMAT DU QUÉBEC

Même si plusieurs facteurs influencent la biodisponibilité du phosphore dans les eaux de ruissellement agricole, le choix d'une pratique culturale adéquate représente le seul moyen que possède un producteur agricole pour contrôler les pertes de phosphore biodisponible via l'érosion et le ruissellement.

D'après les résultats de cette étude, l'utilisation des pratiques culturales de conservation des sols plutôt que du labour conventionnel permet de diminuer les pertes de PBT sans toutefois en augmenter les concentrations. Malgré cela, certains problèmes se posent quant à l'utilisation des pratiques culturales de conservation des sols au Québec. En effet, dans les régions à climat frais et humide ayant une courte saison de végétation comme le Québec, le travail minimal du sol présente certains risques. Les résidus des cultures ralentissent le réchauffement et le ressuyage des sols au printemps. Il peut en résulter une diminution de la capacité de portance du sol, des semis plus tardifs, un taux de germination plus bas et une levée plus lente, une réduction du système racinaire, un retard dans la croissance des plantes et une réduction des rendements (C.P.V.Q., 1986a). Ces contraintes doivent donc être prises en considération lors du choix de la pratique culturale.

Selon Beasley et al. (1984), la pratique culturale idéale doit répondre aux objectifs suivants: former un lit de semence bien aéré, permettre le développement du système racinaire, détruire les mauvaises herbes, incorporer les fertilisants et les pesticides et favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol. Le semis direct favorise l'infiltration de l'eau dans le sol mais par contre, il ne permet pas de rencontrer les autres objectifs. Pour sa part le chisel permet de réaliser les objectifs fixés par Beasley (1986).

Le chisel représente donc un bon choix de pratique culturale. Tout d'abord parce qu'il est aussi efficace que le semis direct pour réduire l'érosion des sols, le volume de ruissellement et les pertes de PBT. Il réduit les concentrations en PBT comparativement au labour conventionnel et au semis direct. De plus, il répond aux objectifs de Beasley et al. (1984). Quant à son

adaptation au climat du Québec, l'utilisation du chisel ne devrait pas présenter de problème car il permet un brassage du sol ce qui favorise l'égouttement de l'eau du sol et donc un réchauffement du sol au printemps plus rapide qu'avec le semis direct. Buhler et Daniel (1984) ont mesuré la température du sol après le semis pour différentes pratiques culturales. Pour le labour conventionnel et le chisel, ils ont mesuré des températures de 12,8°C tandis que pour le semis direct, ils ont mesuré une température de 10,0°C. Toutefois, il serait préférable d'étudier les rendements obtenus au Québec par le chisel comparativement au labour conventionnel.

CONCLUSION

CONCLUSION

Les résultats obtenus dans ce travail permettent de tirer les conclusions suivantes:

1. Le pourcentage du phosphore total qui est biodisponible ne représente pas un pourcentage constant de PT mais il dépend plutôt de l'importance de la fraction NAIP dans le sol d'où origine le ruissellement.
2. Pour le sol de la série Neubois, la fraction biodisponible représente en moyenne 48 % de PT. Par contre, ce pourcentage varie selon les différentes pratiques culturales, la condition antécédente de pluie et la quantité de pluie tombée.
3. Les pratiques culturales de conservation des sols n'augmentent pas les concentrations en PBT dans les eaux de ruissellement comparativement au labour conventionnel. De plus, elles diminuent les pertes de PBT d'environ 80 %. Cependant, étant donné les conditions climatiques du Québec, l'utilisation du chisel est préférable au semis direct.
4. Lorsque la pente du terrain passe de 9,2 à 4,6 %, les concentrations en PBT diminuent de 50 % tandis que les pertes de PBT diminuent de 80%.
5. La condition antécédente de pluie n'affecte pas les concentrations en PBT. Par contre, elle a une influence sur les pertes de PBT parce qu'elle a un effet sur le volume de ruissellement. Cependant, ce paramètre ne permet pas de prédire les pertes de PBT parce qu'il faut tenir compte de la quantité de pluie tombée.

6. La quantité de pluie tombée affecte à la fois les concentrations et les pertes de PBT. Cependant, l'effet de la quantité de pluie tombée est masqué par l'effet de I30.

7. L'intensité maximale de la pluie sur 30 minutes est un paramètre très important dans le processus de l'érosion et du ruissellement. Elle affecte les concentrations en PBT dans le ruissellement parce qu'elle a un effet sur les concentrations en SeS. L'I30 influence également les pertes de PBT parce qu'elle influence le volume de ruissellement.

8. Même si l'érosivité de la pluie a un effet significatif sur les concentrations en PBT et sur les pertes de PBT, on ne peut rien conclure de ce paramètre parce qu'aucune tendance générale n'est observée étant donnée le peu de pluies échantillonnées et la grande variation de l'érosivité entre les pluies.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- AHUJA, L.R., A.N. SHARPLEY et O.R. LEHMAN (1982). Effect of soil slope and rainfall characteristics on phosphorus in runoff. *J. Environ. Qual.*, 11: 9-13.
- AHUJA, L.R., A.N. SHARPLEY, M. YAMAMOTO et R.G. MENZEL (1981). The depth of rainfall-runoff-soil interaction as determined by ³²P. *Water Resour. Res.*, 17: 969-974.
- ANDRASKI, B.J., D.H. MUELLER et T.C. DANIEL (1985a). Effects of tillage and rainfall simulation date on water and soil losses. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 1512-1517.
- ANDRASKI, B.J., D.H. MUELLER et T.C. DANIEL (1985b). Phosphorus losses in runoff as affected by tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 1523-1527.
- ANGLE, J.S., G. McCLUNG, M.S. McINTOSH, P.M. THOMAS et D.C. WOLF (1984). Nutrient losses in runoff from conventional and no-till corn watersheds. *J. Environ. Qual.*, 13: 431-435.
- APHA (1985). Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th edition. American Public Health Association, Washington, D.C.
- BAKER, J.L. et J.M. LAFLEN (1982). Effects of corn residue and fertilizer management on soluble nutrient runoff losses. *Trans. ASAE*, 25: 344-348.

- BAKER, J.L. et J.M. LAFLEN (1983). Water quality consequences of conservation tillage. *J. Soil and Water Cons.*, 38: 186-193.
- BARBER, S.A. (1984). Soil nutrient bioavailability. John Wiley & Sons, N.Y., 398 pages.
- BARISAS, S.G., J.L. BAKER, H.P. JOHNSON et J.M. LAFLEN (1978). Effect of tillage systems on runoff losses of nutrients, a simulation rainfall study. *Trans. ASAE*, 21: 893-898.
- BEASLEY, R.P., J.M. GREGORY et T.R. McCARTY (1984). Erosion and sediment pollution control. 2^e édition. The Iowa State University Press.
- BERNARD, C. (1984). La dégradation des sols et l'environnement. Journée d'information sur la dégradation des sols, C.P.V.Q. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Sainte-Foy, p. 33-52.
- BUHLER, D.D. et T.C. DANIEL (1984). Tillage-Weed-Herbicide interactions. Wisconsin weed control results. Vol. 14. Depts. of Agronomy and Horticulture, University of Wisconsin, Madison.
- BURWELL, R.E., D.R. TIMMONS et R.F. MOLT (1975). Nutrient transport in surface runoff as influenced by soil cover and seasonal periods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 39: 523-528.
- CAMPBELL, P.G.C., P. COUTURE, M. LACHANCE et L. TALBOT (1976). Étude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières St-François et

Yamaska. Vol. 2: secteur des substances nutritives. INRS-Eau, rapport scientifique No 52, 127 pages.

CARLO ERBA STRUMENTAZIONE (1986). Nitrogen analyzer 1500. Instruction manual.

CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC (1986a). La dégradation des sols agricoles. Causes, effets, prévention et correction. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Québec. Agdex 570, 147 pages.

CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC (1986b). Plantes Fourragères-culture. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Québec. Agdex 120/20, 251 pages.

COUILLARD, D. et R. TRUDEL (1981). Influences des rejets d'usines de pâtes et papiers sur les macro-invertébrés, les bactéries et l'eutrophisation d'une rivière. Water Research, 15: 1331-1342.

DEIZMAN, M.M., S. MOSTAGHIMI, V.O. SHANNOLTZ, et J.K. MITCHELL (1987). Size distribution of eroded sediment from two tillage systems. Trans. ASAE, 30: 1642-1647.

DePINTO, J.V., T.C. YOUNG et S.C. MARTIN (1981). Algal-available phosphorus in suspended sediments from lower Great Lakes tributaries. J. Great Lakes Res., 7: 311-325.

DICKEY, E.C., D.P. SHELTON, P.J. JASA et T.R. PETERSON (1984). Tillage, residue and erosion on moderately sloping soils. Trans ASAE, 27: 1093-1099.

DOMMERGUES. Y. et F. MANGENOT (1970). Écologie microbienne du sol. Masson. Paris, 365 pages.

DORICH, R.A., D.W. NELSON et L.E. SOMMERS (1980). Algal availability of sediment phosphorus in drainage water of the Black Creek Watershed. J. Environ. Qual., 9: 557-563.

DORICH, R.A., D.W. NELSON et L.E. SOMMERS (1984). Algal availability of phosphorus in suspended stream sediments of varying particle size. J. Environ. Qual., 13: 82-86.

DORICH, R.A., D.W. NELSON et L.E. SOMMERS (1985). Estimating algal available phosphorus in suspended sediments by chemical extraction. J. Environ. Qual., 14: 400-405.

DUBÉ, A., G. MENUYS et A. PESANT (1984). L'érosion: cause et conséquence de la dégradation des sols. Journée d'information sur la conservation des sols, C.P.V.Q. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Sainte-Foy, p. 77-89.

DUBÉ, A. (1975). L'eau et l'érosion des sols. Ressources. 6(4): 8-15.

EPA (1979). Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes.
EPA-600/4-79-020.

FOSTER, G.R., D.K. McCOOL, K.G. RENARD et W.C. MOLDENHAUER (1981). Conversion of the universal soil loss equation to SI metric unities. J. Soil and Water Cons., 36(6): 355-399.

GABRIELS, D. et W.C. MOLDENHAUER (1978). Size distribution of eroded material from simulated rainfall: effect over a range of texture. Soil Sci. Soc. Am. J., 42: 954-958.

GARIÉPY, S. (1987). Production de protéines alimentaires par procédé bactérien aérobie thermophile: étude de cas d'un effluent d'abattoir. Mémoire de maîtrise, INRS-Eau, Université du Québec, 270 pages.

GILLEY, J.E., S.C. FINKER, R.G. SPOMMER et L.N. MIELKE (1986). Runoff and Erosion as affected by Corn residue: PART I. Total losses. Trans. ASAE, 29: 157-160.

GOSSELIN, Y. (1983). Les responsabilités en environnement agricole face aux problèmes identifiés et aux solutions possibles. Agriculture, 40(1): 9-18.

GROBLER, D.C. et E. DAVIES (1979). The availability of sediment phosphate to algae. Water S.A., 5: 114-122.

HACH (1987). Laboratory and Portable Instruments 1987-1988. Hach Company, 40 pages.

HOANG, V.D. (1979). Études du coefficient de ruissellement sur des petits bassins versants des régions de l'Estrie et des Bois-Francs. Gouvernement du Québec, Ministère des Richesses naturelles, 10 pages.

HOWARD, R.J. et S.A.M. EARLE (1979). Application of a generalized power transformation to geochemical data. Math. Geol., 11: 45-62.

HUETTL, P.J., R.C. WENDT et R.B. COREY (1979). Prediction of algal-available phosphorus in runoff suspensions. J. Environ. Qual., 8: 130-132.

JOHNSON, C.B. et W.C. MOLDENHAUER (1979). Effect of chisel versus moldboard plowing on soil erosion by water. Soil Sci. Soc. Am. J., 43: 177-179.

JOHNSON, H.P., J.L. BAKER, W.D. SHRADER et J.M. LAFLEN (1977). Tillage system effects on runoff water quality: sediments and nutrients. ASAE Paper no 77-25047. St-Joseph, MI.

JOHNSON, H.P., J.L. BAKER, W.D. SHRADER and J.M. LAFLEN (1979). Tillage system effects on sediment and nutrients in runoff from small watersheds. Trans. ASAE, 22: 1110-1114.

KEENEY, D.R. et R.E. WILDUNG (1977). Chemical properties of soils. Soils for managment of organic Wastes and Wastewaters; Proceedings of a symposium.

KRAMER, L.A. (1986). Runoff and soil loss by cropstage from conventional and conservation tilled corn. Trans. ASAE, 29: 774-779.

LAFLEN, J.M. et T.S. COLVIN (1981). Effect of crop residue on soil loss from continuous row cropping. Trans. ASAE, 24: 605-609.

LINDSAY, W.L. (1979). Chemicals equilibria in soils. A Wiley-interscience publication, John Wiley & Sons, N.Y., 423 pages.

LOGAN, T.J. (1978). Chemical extraction as an index of bioavailability of phosphate in lake Erie basin suspended sediments. Lake Erie wastewater management study. U.S. Army Corps of Engineers, Buffalo District, Buffalo, N.Y., 41 p.

LOGAN, T.J. et J.R. ADAMS (1981). The effects of reduced tillage on phosphate transport from agricultural land. LEWMS technical report series. Corps of Engineers, Buffalo District.

LOWRANCE, R. et R.G. WILLIAMS (1988). Carbon movement in runoff and erosion under simulated rainfall conditions. Soil Sci. Soc. Am. J., 52: 1445-1448.

McDOWELL, L.L. et K.C. MCGREGOR (1984). Plant nutrient losses in runoff from conservation tillage corn. Soil and Tillage Res., 4: 79-91.

- MEHUYS, G. (1981). L'érosion par l'eau. Conseil des productions végétales du Québec. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Agdex 572, 15 p.
- MEHUYS, G. (1984). Soil degradation in Québec: Is There cause for concern? Macdonald J., 45(3): 28-31.
- MENVIQ (1986). Eaux-determination du carbone organique dissous. Méthode conductivimétrique automatisée. MENVIQ. 86.01/303-C2.1. Ministère de l'Environnement du Québec, Québec: 11 pages.
- MOSTAGHIMI, S., T.A. DILLAHA et V.O. SHANHOLTZ (1988). Influence of tillage systems and residue levels on runoff, sediment and phosphorus losses. Trans. ASAE, 31: 128-132.
- MUELLER, D.H., T.C. DANIEL et R.C. WENDT (1981). Conservation tillage: best management practice for nonpoint runoff. Envir. Management, 5: 35-53.
- MUELLER, D.H., T.C. DANIEL, B. LOWERY et B. ANDRASKI (1982). The effect of conservation tillage on the quality of the runoff water. ASAE Paper no. 2202. St-Joseph, MI.
- MUELLER, D.H., R.C. WENDT et T.C. DANIEL (1984). Phosphorus losses as affected by tillage and manure application. Soil Sci. Soc. Am. J., 48: 901-905.

- MURPHY, J. et J.P. RILEY (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27: 31-36.
- PESANT, A.R., J.L. DIONNE et J. GENEST (1987). Soil and Nutrient losses in surface runoff from conventional and no-till corn systems. *Can. J. Soil Sci.*, 67: 835-843.
- REDDY, G.Y., E.O. McLEAN, G.D. MOYT et T.J. LOGAN (1978). Effects of soil, cover crop, and nutrient source on amounts and forms of phosphorus movement under simulated rainfall conditions. *J. Environ. Qual.*, 7: 50-54.
- ROMKENS, M.J.M. et D.W. NELSON (1974). Phosphorus relationships in runoff from fertilized soils. *J. Environ. Qual.*, 3: 10-13.
- SAGHER, A. (1976). Availability of soil phosphorus to algae. Ph.D. Thesis. University of Wisconsin, Madison, WI.
- SCHREIBER, J.D. et K.C. MCGREGOR (1979). The transport and oxygen demand of organic carbon released to runoff from crop residues. *Prog. Wat. Tech.*, 11: 253-261.
- SHARPLEY, A.N. (1980). The enrichment ratio of soil phosphorus in runoff sediments. *J. Environ. Qual.*, 9: 521-526.

- SHARPLEY, A.N. (1981). The contribution of phosphorus leached from crop canopy to losses in surface runoff. *J. Environ. Qual.*, 10: 160-165.
- SHARPLEY, A.N., L.R. AHUJA et R.G. MENZEL (1981a). The release of soil phosphorus to runoff in relation to the kinetics of desorption. *J. Environ. Qual.*, 10: 386-391.
- SHARPLEY, A.N., R.G. MENZEL, S.J. SMITH, E.D. RHOADES et A.E. OLNES (1981b). The sorption of soluble phosphorus by soil material during transport in runoff from cropped and grassed watersheds. *J. Environ. Qual.*, 10: 211-215.
- SHARPLEY, A.N., S.J. SMITH et R.G. MENZEL (1982). Prediction of phosphorus losses in runoff from Southern Plains watersheds. *J. Environ. Qual.*, 11: 247-251.
- SHARPLEY, A.N. (1985a). Depth of surface soil-runoff interaction as affected by rainfall, Soil slope and management. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 1010-1015.
- SHARPLEY, A.N. (1985b). The selective erosion of plant nutrients in runoff. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 1527-1534.
- SINUKABAN, N. (1981). Erosion selectivity as affected by tillage-planting systems. Ph.D. Thesis. University of Wisconsin, Madison, WI.

SONZOGNI, W.C., S.C. CMAPRA, D.E. ARMSTRONG et T.J. LOGAN (1982).
Bioavailability of phosphorus inputs to lakes. J. Environ. Qual.,
11: 555-563.

STEVENSON, F.J. (1986). Cycles of soil. John Wiley & Sons, N.Y., 380 pages.

SWITZER-HOWSE, K.D. et D.R. COOTE (1984). Agriculture et conservation de
l'environnement. Contribution #IRT 83-56. Institut de recherches sur les
terres, Agriculture Canada, Ottawa, 30 pages.

TECHNICON (1973a). Orthophosphate in water and sew-water. Industrial Method
#155-71W. Technicon Industrial Systems, Tarrytown, N.Y.

TECHNICON (1973b). Orthophosphate in water and wastewater. Industrial Method
#94-70W. Technicon Industrial Systems, Tarrytown, N.Y.

TESSIER, A. (1979). Régulation de la composition physico-chimique de l'eau.
Notes de cours de l'unité EAU-7108, INRS-Eau, Université du Québec,
93 pages.

TISDALE, S.L., W.L. NELSON et J.D. BEATON (1985). Soil fertility and
fertilizers. 4^e Edition. Macmillan Publishing Company, N.Y.,
754 pages.

VOLLENWEIDER, R.A. (1968). Les bases scientifiques de l'eutrophisation des
lacs et des eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de

l'azote comme facteurs d'eutrophisation. OCDE, Paris, Rapport DAS/CSI/68.27, 182 pages.

WENDT, R.C. et R.B. COREY (1980). Phosphorus variations in surface runoff from agricultural lands as a function of land use. J. Environ. Qual., 9: 130-136.

WENDT, R.C. et E.E. ALBERTS (1984). Estimating labile and dissolved inorganic phosphate concentrations in surface runoff. J. Environ. Qual., 13: 613-618.

WILLIAMS, J.D., H. SHEAR et R.L. THOMAS (1980). Availability to *Scenedesmus quadricauda* of different forms of phosphorus in sedimentary materials from the Great Lakes. Limnology and Oceanography, 25: 1-11.

WISCHMEIER, W.H. et D.D. SMITH (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA Agric. Handbook No 537.

YOUNG, R.A., J.V. DePINTO, S.C. MARTIN et J.S. BONNER (1985). Algal-available particulate phosphorus in the Great Basin. J. Great Lakes Res., 11: 434-446.

YOUNG, R.A., A.E. OLNESS, C.K. MUTCHLER et W.C. MOLDENHAUER (1986). Chemical and physical enrichments of sediment from cropland. Trans. ASAE, 29: 165-169.

ANNEXE 1

Annexe 1: Liste des variables calculées par pluie et par parcelle.

No. de pluie	No. de parcelle	PP (mg/l)	PS (ug/g)	NaOHS (ug/g)	PBT (mg/l)	PER	NaOHER
1	1	0,817	1410	1140	0,74	5,97	5,25
1	2	1,235	2211	1574	0,93	7,65	12,39
1	3	1,224	2211	1414	1,33	9,14	7,64
1	4	1,115	685	570	1,04	2,04	2,74
1	5	2,218	2002	1157	1,33	4,56	8,32
1	6	1,814	1275	1733	2,56	2,47	9,22
1	7	0,679	1748	648	0,30	9,06	4,18
1	8	0,664	2072	454	0,22	11,45	3,44
1	9	0,806	2042	1534	0,70	13,01	10,44
1	10	0,561	1314	648	0,33	5,57	5,84
1	11	1,049	1459	687	0,55	7,80	7,01
1	12	1,454	1662	3340	3,04	8,07	26,09
2	1	11,217	681	228	3,83	2,89	1,05
2	2	10,735	839	265	3,42	2,90	2,09
2	3	10,657	887	265	3,25	3,67	1,43
2	4	8,848	625	435	7,52	1,86	2,09
2	5	23,469	642	172	6,36	1,46	1,24
2	6	14,534	1580	359	3,46	3,06	1,91
2	7	6,720	499	209	2,84	2,59	1,35
2	8	3,486	661	321	1,77	3,65	2,43
2	9	3,679	782	378	1,93	4,98	2,57
2	10	6,452	578	209	2,36	2,45	1,88
2	11	4,074	620	302	2,07	3,32	3,08
2	12	8,540	831	359	3,89	4,03	2,80
3	1	3,923	642	246	1,52	2,72	1,13
3	2	4,220	751	265	1,56	2,60	2,09
3	3	3,355	1110	321	1,10	4,59	1,74
3	4	3,846	964	435	2,01	2,87	2,09
3	5	10,604	720	191	2,86	1,64	1,37
3	6	4,314	896	454	2,32	1,73	2,41
3	7	2,193	383	209	1,23	1,98	1,35
3	8	1,424	1120	378	0,83	6,19	2,86
3	9	1,764	1374	473	0,90	8,75	3,22
3	10	2,874	702	191	0,80	2,97	1,72
3	11	2,712	985	302	1,03	5,27	3,08
3	12	3,514	907	331	1,54	4,40	2,59
4	1	7,034	361	170	3,33	1,53	0,78
4	2	7,330	476	183	2,85	1,65	1,44
4	3	8,180	480	196	3,40	1,98	1,06
4	4	8,528	652	363	4,91	1,94	1,75
4	5	17,287	345	110	5,57	0,79	0,79
4	6	9,684	566	334	5,87	1,09	1,78
4	7	4,507	336	134	1,81	1,74	0,86
4	8	2,720	436	216	1,38	2,41	1,64
4	9	4,910	719	348	2,49	4,58	2,37
4	10	5,114	345	116	1,73	1,46	1,05
4	11	3,640	430	192	1,66	2,30	1,96
4	12	7,503	621	321	4,04	3,01	2,51

Annexe 1: Liste des variables calculées par pluie et par parcelle (suite).

No. de pluie	No. de parcelle	PP (mg/l)	PS (ug/g)	NaOHS (ug/g)	PBT (mg/l)	PER	NaOHER
5	1	5,057	360	179	2,53	1,53	0,82
5	2	7,325	520	225	2,66	1,80	1,77
5	3	8,194	569	216	3,38	2,35	1,17
5	4	8,479	721	437	5,88	2,15	2,10
5	5	17,326	466	139	3,84	1,06	1,00
5	6	9,728	649	393	4,87	1,26	2,09
5	7	4,496	346	172	1,37	1,79	1,11
5	8	2,704	609	241	0,82	3,36	1,83
5	9	4,864	729	374	1,90	4,64	2,54
5	10	5,106	506	170	0,82	2,14	1,53
5	11	3,607	721	339	1,09	3,86	3,46
5	12	7,497	751	372	2,60	3,65	2,91
6	1	12,048	805	576	8,88	3,41	2,65
6	2	8,317	709	334	4,10	2,45	2,63
6	3	6,348	690	301	2,93	2,85	1,63
6	4	13,468	891	436	6,94	2,65	2,10
6	5	13,204	649	416	10,28	1,48	2,99
6	6	10,520	776	449	6,41	1,50	2,39
6	7	7,052	871	489	4,52	4,51	3,15
6	8	4,074	1050	476	2,29	5,80	3,61
6	9	3,924	887	383	1,97	5,65	2,61
6	10	3,892	693	281	1,89	2,94	2,53
6	11	3,344	782	319	1,64	4,18	3,26
6	12	5,035	729	285	2,11	3,54	2,23
7	1	7,612	860	536	4,86	3,64	2,47
7	2	7,607	858	325	3,12	2,97	2,56
7	3	5,731	836	303	2,33	3,45	1,64
7	4	9,015	789	429	5,45	2,35	2,06
7	5	21,310	770	442	13,67	1,75	3,18
7	6	9,848	729	442	6,32	1,41	2,35
7	7	5,581	977	422	2,87	5,06	2,72
7	8	3,091	772	388	1,87	4,27	2,94
7	9	3,078	815	381	1,66	5,19	2,59
7	10	3,243	672	245	1,35	2,85	2,21
7	11	2,473	655	288	1,26	3,50	2,94
7	12	4,358	637	288	2,08	3,09	2,25
8	1	6,485	802	442	3,78	3,40	2,04
8	2	5,982	693	243	2,22	2,40	1,91
8	3	7,416	734	317	3,46	3,03	1,71
8	4	6,354	820	377	3,08	2,44	1,81
8	5	13,272	696	386	8,18	1,59	2,78
8	6	6,246	834	422	3,55	1,61	2,24
8	7	3,184	772	436	2,28	4,00	2,81
8	8	1,693	1191	556	1,30	6,58	4,21
8	9	5,416	733	416	3,46	4,67	2,83
8	10	2,510	951	397	1,45	4,03	3,58
8	11	3,089	1068	501	2,57	5,71	5,11
8	12	6,078	766	422	4,50	3,72	3,30

Annexe 1: Liste des variables calculées par pluie et par parcelle (suite).

No. de pluie	No. de parcelle	PP (mg/l)	PS (ug/g)	NaOHS (ug/g)	PBT (mg/l)	PER	NaOHER
9	1	4,408	989	548	2,50	4,19	2,53
9	2	3,653	753	302	1,69	2,61	2,38
9	3	5,527	819	339	2,45	3,38	1,83
9	4	5,393	957	471	2,95	2,85	2,26
9	5	4,902	1033	548	2,72	2,35	3,94
9	6	4,652	934	576	3,13	1,81	3,06
9	7	2,645	550	500	2,59	2,85	3,23
9	8	3,434	667	500	2,86	3,69	3,79
9	9	2,219	664	433	1,74	4,23	2,95
9	10	2,492	885	284	1,11	3,75	2,56
9	11	2,066	1027	349	1,08	5,49	3,56
9	12	3,547	797	452	2,23	3,87	3,53
10	1	1,226	1548	639	0,68	6,56	2,94
10	2	1,188	1717	481	0,78	5,94	3,79
10	3	0,603	1639	368	0,29	6,77	1,99
10	4	1,761	1390	548	0,99	4,14	2,63
10	5	1,712	1398	586	0,79	3,18	4,22
10	6	1,623	896	509	1,12	1,73	2,71
10	7	0,555	2511	615	0,29	13,01	3,97
10	8	0,352	3826	567	0,25	21,14	4,30
10	9	0,393	3208	576	0,49	20,43	3,92
10	10	0,620	4258	452	0,51	18,04	4,07
10	11	0,636	5020	386	0,46	26,84	3,94
10	12	0,840	2561	786	0,59	12,43	6,14
11	1	1,376	782	462	0,89	3,31	2,13
11	2	1,327	413	302	1,33	1,43	2,38
11	3	1,836	588	298	1,10	2,43	1,61
11	4	4,278	1519	462	1,45	4,52	2,22
11	5	1,474	531	368	1,17	1,21	2,65
11	6	2,914	1020	462	1,42	1,97	2,46
11	7	3,355	681	377	2,16	3,53	2,43
11	8	2,740	1025	405	1,62	5,66	3,07
11	9	0,409	872	500	0,57	5,55	3,40
11	10	1,114	887	386	1,01	3,76	3,48
11	11	1,200	1159	443	1,35	6,20	4,52
11	12	1,757	1239	548	1,70	6,01	4,28
12	1	0,944	423		0,08	1,79	0,00
12	2	0,830	362	237	0,89	1,25	1,87
12	3	1,622	562	274	0,99	2,32	1,48
12	4	1,755	300		0,29	0,89	0,00
12	5	2,976	481	311	2,14	1,10	2,24
12	6	1,681	416		0,42	0,80	0,00
12	7	0,845	1124	415	0,59	5,82	2,68
12	8	0,488	1807	741	0,52	9,98	5,61
12	9	0,373	1953	771	0,72	12,44	5,24
12	10	0,341	1433	349	0,30	6,07	3,14
12	11	0,696	2155	890	1,13	11,52	9,08
12	12	1,001	1861	781	1,63	9,03	6,10

Annexe 1: Liste des variables calculées par pluie et par parcelle (suite).

No.de pluie	No. de parcelle	PPSPT (%)	PTDSPT (%)	FPTB (%)	FPPB (%)	FPBTP (%)	FPBTS (%)
1	1	93,5	6,5	84,8	80,9	92,3	7,7
1	2	95,6	4,4	71,9	71,2	93,9	6,1
1	3	94,7	5,3	102,8	64,0	94,9	5,1
1	4	90,9	9,1	84,8	83,2	89,2	10,8
1	5	97,7	2,3	58,8	57,8	96,1	3,9
1	6	96,1	3,9	135,4	135,9	97,1	2,9
1	7	93,7	6,3	41,0	37,1	84,5	15,5
1	8	89,4	10,6	30,2	21,9	64,8	35,2
1	9	89,4	10,6	77,8	75,1	86,3	13,7
1	10	91,5	8,5	53,6	49,3	84,2	15,8
1	11	94,8	5,2	49,8	47,1	89,7	10,3
1	12	92,5	7,5	193,4	201,0	96,1	3,9
2	1	99,5	0,5	34,0	33,5	98,5	1,5
2	2	99,7	0,3	31,8	31,6	99,0	1,0
2	3	99,4	0,6	30,3	29,9	98,1	1,9
2	4	86,7	13,3	73,6	69,6	81,9	18,1
2	5	99,7	0,3	27,0	26,8	98,9	1,1
2	6	98,9	1,1	23,5	22,7	95,5	4,5
2	7	99,6	0,4	42,1	41,9	98,9	1,1
2	8	97,9	2,1	49,7	48,6	95,8	4,2
2	9	96,1	3,9	50,3	48,3	92,2	7,8
2	10	99,6	0,4	36,4	36,2	99,0	1,0
2	11	98,0	2,0	49,8	48,7	95,9	4,1
2	12	97,7	2,3	44,5	43,2	94,7	5,3
3	1	99,7	0,3	38,5	38,3	99,1	0,9
3	2	99,2	0,8	36,6	35,3	97,8	2,2
3	3	96,2	3,8	31,7	28,9	87,9	12,1
3	4	93,3	6,7	48,8	45,1	86,3	13,7
3	5	99,6	0,4	26,8	26,5	98,4	1,6
3	6	97,0	3,0	52,2	50,7	94,2	5,8
3	7	98,7	1,3	55,1	54,6	97,6	2,4
3	8	80,2	19,8	46,9	33,8	57,7	42,3
3	9	85,8	14,2	43,7	34,4	67,5	32,5
3	10	99,3	0,7	27,7	27,2	97,6	2,4
3	11	93,1	6,9	35,4	30,7	80,6	19,4
3	12	93,3	6,7	40,8	36,5	83,5	16,5
4	1	99,8	0,2	47,2	47,1	99,5	0,5
4	2	99,6	0,4	38,7	38,4	98,9	1,1
4	3	99,3	0,7	41,2	40,8	98,2	1,8
4	4	98,1	1,9	56,5	55,7	96,7	3,3
4	5	99,6	0,4	32,1	31,9	98,9	1,1
4	6	98,4	1,6	59,7	59,0	97,3	2,7
4	7	99,7	0,3	40,0	39,9	99,3	0,7
4	8	98,9	1,1	50,0	49,5	97,8	2,2
4	9	97,8	2,2	49,5	48,4	95,6	4,4
4	10	99,7	0,3	33,8	33,6	99,1	0,9
4	11	99,2	0,8	45,1	44,7	98,2	1,8
4	12	97,8	2,2	52,7	51,7	95,9	4,1

Annexe 1: Liste des variables calculées par pluie et par parcelle (suite).

No.de pluie	No. de parcelle	PPSPT (%)	PTDSPT (%)	FPTB (%)	FPPB (%)	FPBTP (%)	FPBTS (%)
5	1	99,7	0,3	49,8	49,7	99,5	0,5
5	2	99,5	0,5	36,1	43,3	98,7	1,3
5	3	99,4	0,6	41,0	38,0	98,6	1,4
5	4	97,6	2,4	67,7	60,6	96,4	3,6
5	5	99,9	0,1	22,1	29,8	99,4	0,6
5	6	98,9	1,1	49,5	60,6	97,7	2,3
5	7	99,5	0,5	30,4	49,7	98,3	1,7
5	8	98,3	1,7	29,7	39,6	94,4	5,6
5	9	96,9	3,1	37,9	51,3	91,8	8,2
5	10	99,5	0,5	15,9	33,6	97,1	2,9
5	11	98,3	1,7	29,6	47,0	94,2	5,8
5	12	97,7	2,3	33,9	49,5	93,3	6,7
6	1	97,9	2,1	72,2	71,6	97,1	2,9
6	2	97,8	2,2	48,2	47,1	95,5	4,5
6	3	97,5	2,5	45,0	43,6	94,5	5,5
6	4	97,5	2,5	50,2	48,9	94,9	5,1
6	5	87,9	12,1	68,4	64,1	82,3	17,7
6	6	97,0	3,0	59,1	57,9	94,9	5,1
6	7	92,7	7,3	59,4	56,1	87,7	12,3
6	8	90,1	9,9	50,7	45,3	80,5	19,5
6	9	93,4	6,6	46,9	43,2	86,0	14,0
6	10	92,7	7,3	44,9	40,5	83,7	16,3
6	11	92,4	7,6	45,3	40,8	83,2	16,8
6	12	97,2	2,8	40,8	39,1	93,1	6,9
7	1	98,5	1,5	62,9	62,3	97,6	2,4
7	2	96,9	3,1	39,8	37,9	92,2	7,8
7	3	95,8	4,2	38,9	36,2	89,3	10,7
7	4	94,2	5,8	57,0	54,4	89,8	10,2
7	5	93,7	6,3	60,1	57,4	89,5	10,5
7	6	96,5	3,5	61,9	60,6	94,4	5,6
7	7	92,4	7,6	47,5	43,2	84,0	16,0
7	8	90,6	9,4	54,9	50,3	83,0	17,0
7	9	93,3	6,7	50,3	46,7	86,6	13,4
7	10	95,1	4,9	39,6	36,5	87,6	12,4
7	11	93,7	6,3	47,5	44,0	86,7	13,3
7	12	97,5	2,5	46,6	45,2	94,6	5,4
8	1	96,9	3,1	56,5	55,1	94,6	5,4
8	2	98,1	1,9	36,3	35,1	94,7	5,3
8	3	96,7	3,3	45,1	43,2	92,6	7,4
8	4	97,6	2,4	47,2	46,0	94,9	5,1
8	5	94,2	5,8	58,0	55,5	90,0	10,0
8	6	94,2	5,8	53,5	50,6	89,2	10,8
8	7	86,8	13,2	62,2	56,5	78,7	21,3
8	8	77,0	23,0	59,0	46,7	60,9	39,1
8	9	93,4	6,6	59,6	56,8	88,9	11,1
8	10	86,3	13,7	49,8	41,7	72,4	27,6
8	11	71,2	28,8	59,3	46,9	51,4	48,6
8	12	84,1	15,9	62,2	55,1	74,4	25,6

Annexe 1: Liste des variables calculées par pluie et par parcelle (suite).

No.de pluie	No. de parcelle	PPSPT (%)	PTDSPT (%)	FPTB (%)	FPPB (%)	FPBTP (%)	FPBTS (%)
9	1	98,6	1,4	56,0	55,4	97,5	2,5
9	2	94,1	5,9	43,6	40,1	86,6	13,4
9	3	97,1	2,9	43,1	41,4	93,4	6,6
9	4	94,8	5,2	51,9	49,2	89,9	10,1
9	5	97,6	2,4	54,1	53,0	95,7	4,3
9	6	94,7	5,3	63,7	61,7	91,7	8,3
9	7	93,5	6,5	91,5	90,9	92,9	7,1
9	8	92,3	7,7	76,8	75,0	90,0	10,0
9	9	88,4	11,6	69,2	65,2	83,3	16,7
9	10	89,0	11,0	39,6	32,1	72,2	27,8
9	11	84,7	15,3	44,1	34,0	65,2	34,8
9	12	94,3	5,7	59,2	56,7	90,4	9,6
10	1	87,6	12,4	48,6	41,3	74,4	25,6
10	2	72,4	27,6	47,9	28,0	42,4	57,6
10	3	79,3	20,7	38,5	22,5	46,3	53,7
10	4	85,8	14,2	48,0	39,4	70,5	29,5
10	5	96,2	3,8	44,1	41,9	91,3	8,7
10	6	89,2	10,8	61,5	56,8	82,4	17,6
10	7	78,2	21,8	41,0	24,5	46,7	53,3
10	8	64,1	35,9	45,4	14,8	20,9	79,1
10	9	48,4	51,6	60,3	18,0	14,5	85,5
10	10	58,2	41,8	48,0	10,6	12,9	87,1
10	11	60,6	39,4	44,0	7,7	10,6	89,4
10	12	71,8	28,2	50,2	30,7	43,9	56,1
11	1	94,9	5,1	61,1	59,1	91,7	8,3
11	2	78,5	21,5	78,9	73,1	72,8	27,2
11	3	91,3	8,7	54,9	50,7	84,2	15,8
11	4	96,6	3,4	32,8	30,4	89,5	10,5
11	5	91,0	9,0	72,1	69,3	87,5	12,5
11	6	96,8	3,2	47,0	45,3	93,2	6,8
11	7	89,7	10,3	57,7	55,4	82,2	17,8
11	8	83,5	16,5	49,5	39,5	66,7	33,3
11	9	54,9	45,1	76,6	57,3	41,1	58,9
11	10	67,9	32,1	61,6	43,5	48,0	52,0
11	11	57,4	42,6	64,5	38,2	34,0	66,0
11	12	65,6	34,4	63,4	44,2	45,7	54,3
12	1	92,3	7,7	7,7	0,0	0,0	100,0
12	2	70,4	29,6	75,7	65,5	60,9	39,1
12	3	88,9	11,1	54,4	48,8	79,7	20,3
12	4	85,8	14,2	14,2	0,0	0,0	100,0
12	5	93,3	6,7	67,0	64,7	90,0	10,0
12	6	80,0	20,0	20,0	0,0	0,0	100,0
12	7	79,5	20,5	55,3	36,9	62,9	37,1
12	8	60,1	39,9	64,5	41,0	38,2	61,8
12	9	39,4	60,6	76,1	39,5	20,4	79,6
12	10	61,6	38,4	53,4	24,4	28,1	71,9
12	11	45,3	54,7	73,4	41,3	25,5	74,5
12	12	45,4	54,6	73,7	42,0	25,8	74,2

Annexe 1: Liste des variables calculées par pluie et par parcelle (suite).

No.de pluie	No. de parcelle	PSP (g)	PPT (mg)	PPP (mg)	PPTD (mg)	PNaOHS (mg)	PPBT (mg)
1	1	12,6	18,4	17,2	1,2	14,4	15,6
1	2	11,1	25,8	24,7	1,1	17,4	18,6
1	3	19,2	27,9	26,4	1,5	27,2	28,7
1	4	35,2	26,5	24,1	2,4	20,0	22,5
1	5	23,9	49,0	47,9	1,1	27,7	28,8
1	6	30,9	40,8	39,2	1,6	53,6	55,2
1	7	7,1	13,3	12,5	0,8	4,6	5,5
1	8	5,7	13,2	11,8	1,4	2,6	4,0
1	9	8,5	19,5	17,4	2,1	13,1	15,2
1	10	9,2	13,2	12,1	1,1	6,0	7,1
1	11	13,7	21,1	20,0	1,1	9,4	10,5
1	12	18,9	34,0	31,4	2,5	63,1	65,7
2	1	7796,5	5310,1	5283,2	26,8	1777,6	1804,4
2	2	1816,3	1529,3	1524,4	5,0	481,3	486,3
2	3	1105,2	986,2	980,4	5,8	292,9	298,7
2	4	778,1	561,6	486,6	74,9	338,5	413,4
2	5	19382,1	12476,2	12438,6	37,6	3333,7	3371,4
2	6	763,4	1219,3	1206,3	12,9	274,1	287,0
2	7	3136,9	1572,8	1565,8	7,0	655,6	662,6
2	8	527,6	356,0	348,6	7,4	169,4	176,8
2	9	101,6	82,7	79,5	3,3	38,4	41,7
2	10	1764,5	1023,2	1019,4	3,8	368,8	372,6
2	11	142,0	89,8	88,0	1,8	42,9	44,7
2	12	222,0	188,9	184,5	4,4	79,7	84,1
3	1	917,1	590,4	588,5	2,0	225,6	227,6
3	2	287,6	212,8	211,0	1,8	76,2	78,0
3	3	60,5	69,8	67,1	2,7	19,4	22,1
3	4	75,8	78,3	73,1	5,2	33,0	38,2
3	5	4165,2	3014,0	3000,9	13,0	795,6	808,6
3	6	158,9	146,8	142,4	4,4	72,1	76,6
3	7	715,0	277,9	274,1	3,8	149,4	153,2
3	8	16,1	22,6	18,1	4,5	6,1	10,6
3	9	17,6	28,2	24,2	4,0	8,3	12,3
3	10	409,5	289,3	287,4	1,9	78,2	80,1
3	11	31,4	33,2	30,9	2,3	9,5	11,8
3	12	46,9	45,6	42,5	3,1	15,5	18,6
4	1	10381,8	3757,7	3749,1	8,5	1764,9	1773,4
4	2	3895,4	1862,1	1854,5	7,6	712,9	720,5
4	3	3235,1	1565,6	1554,2	11,4	634,1	645,5
4	4	1268,4	842,9	827,2	15,7	460,4	476,1
4	5	33689,7	11676,6	11634,2	42,4	3705,9	3748,3
4	6	2704,6	1554,7	1530,1	24,6	903,4	928,0
4	7	6981,4	2354,9	2348,1	6,8	935,5	942,3
4	8	1121,8	495,0	489,6	5,4	242,3	247,7
4	9	457,6	336,3	329,0	7,4	159,2	166,6
4	10	6262,5	2170,0	2163,2	6,8	726,5	733,2
4	11	1828,2	792,7	786,2	6,5	351,0	357,5
4	12	562,8	357,4	349,6	7,8	180,7	188,5

Annexe 1: Liste des variables calculées par pluie et par parcelle (suite).

No.de pluie	No. de parcelle	PSP (g)	PPT (mg)	PPP (mg)	PPTD (mg)	PNaOHS (mg)	PPBT (mg)
5	1	1825,6	659,1	657,4	1,7	326,8	328,5
5	2	951,7	600,6	597,7	2,9	214,1	217,0
5	3	462,8	247,2	245,8	1,4	100,0	101,3
5	4	168,7	113,0	110,2	2,7	73,7	76,5
5	5	4114,1	2602,5	2598,9	3,6	571,9	575,5
5	6	213,2	173,2	171,2	2,0	83,8	85,8
5	7	745,1	429,4	427,1	2,3	128,2	130,4
5	8	56,8	49,0	48,1	0,8	13,7	14,5
5	9	34,1	36,6	35,5	1,1	12,7	13,9
5	10	526,7	579,7	577,0	2,7	89,5	92,2
5	11	47,7	58,0	57,0	1,0	16,2	17,2
5	12	49,6	58,3	57,0	1,3	18,4	19,8
6	1	1541,8	1267,9	1240,9	27,0	888,1	915,1
6	2	621,4	450,5	440,8	9,7	207,5	217,2
6	3	487,7	345,0	336,4	8,6	146,8	155,4
6	4	628,5	574,9	560,3	14,6	274,0	288,7
6	5	4393,4	3244,3	2852,1	392,3	1827,7	2219,9
6	6	907,7	727,0	704,8	22,1	407,6	429,7
6	7	567,0	532,7	493,6	39,1	277,3	316,3
6	8	18,2	21,2	19,1	2,1	8,7	10,8
6	9	59,3	56,3	52,6	3,7	22,7	26,4
6	10	107,2	80,2	74,3	5,9	30,1	36,0
6	11	53,5	45,3	41,8	3,5	17,1	20,5
6	12	105,7	79,3	77,0	2,2	30,1	32,3
7	1	778,8	680,2	669,9	10,4	417,4	427,8
7	2	191,4	169,6	164,3	5,2	62,2	67,5
7	3	137,1	119,6	114,6	5,0	41,5	46,5
7	4	246,7	206,7	194,7	12,0	105,8	117,8
7	5	5174,1	4254,3	3985,0	269,3	2287,0	2556,2
7	6	291,5	220,3	212,7	7,6	128,8	136,4
7	7	123,4	130,5	120,5	9,9	52,1	62,0
7	8	48,4	41,3	37,4	3,9	18,8	22,7
7	9	46,4	40,6	37,9	2,7	17,7	20,4
7	10	93,6	66,2	62,9	3,2	22,9	26,2
7	11	38,9	27,2	25,5	1,7	11,2	12,9
7	12	95,7	62,6	61,0	1,6	27,6	29,1
8	1	4175,0	3452,0	3346,3	105,8	1845,3	1951,1
8	2	1727,6	1220,0	1196,4	23,6	419,8	443,4
8	3	1747,3	1326,9	1283,0	43,9	553,9	597,8
8	4	1448,3	1217,4	1188,2	29,2	546,0	575,2
8	5	17134,9	12666,9	11931,5	735,4	6614,1	7349,5
8	6	2307,8	2042,0	1923,8	118,3	973,9	1092,2
8	7	1475,7	1313,9	1139,9	174,0	643,4	817,4
8	8	260,2	402,6	309,8	92,8	144,7	237,5
8	9	159,6	125,3	117,0	8,3	66,4	74,7
8	10	583,4	643,1	554,7	88,4	231,6	320,0
8	11	271,8	447,0	318,2	128,9	136,2	265,0
8	12	404,6	368,7	310,0	58,8	170,8	229,5

Annexe 1: Liste des variables calculées par pluie et par parcelle (suite).

No.de pluie	No. de parcelle	PSP (g)	PPT (mg)	PPP (mg)	PPTD (mg)	PNaOHS (mg)	PPBT (mg)
9	1	222,9	223,5	220,4	3,1	122,1	125,2
9	2	77,6	62,1	58,4	3,6	23,4	27,1
9	3	108,0	91,0	88,4	2,6	36,6	39,2
9	4	107,1	108,1	102,5	5,6	50,4	56,1
9	5	474,5	502,0	490,2	11,8	260,0	271,8
9	6	107,5	106,1	100,5	5,6	61,9	67,5
9	7	62,5	36,8	34,4	2,4	31,3	33,7
9	8	32,9	23,8	22,0	1,8	16,5	18,3
9	9	27,7	20,8	18,4	2,4	12,0	14,4
9	10	20,3	20,2	17,9	2,2	5,8	8,0
9	11	14,1	17,1	14,5	2,6	4,9	7,5
9	12	21,8	18,4	17,4	1,0	9,9	10,9
10	1	17,1	30,2	26,5	3,8	10,9	14,7
10	2	14,5	34,4	24,9	9,5	7,0	16,5
10	3	6,6	13,7	10,9	2,8	2,4	5,3
10	4	27,4	44,3	38,0	6,3	15,0	21,3
10	5	183,8	267,0	256,8	10,2	107,7	117,9
10	6	39,1	39,3	35,1	4,3	19,9	24,2
10	7	3,6	11,7	9,2	2,6	2,2	4,8
10	8	1,0	5,9	3,8	2,1	0,6	2,7
10	9	1,7	11,0	5,3	5,7	1,0	6,7
10	10	2,3	16,6	9,7	7,0	1,0	8,0
10	11	1,7	14,3	8,6	5,6	0,7	6,3
10	12	4,8	17,2	12,3	4,9	3,8	8,6
11	1	158,3	130,5	123,8	6,7	73,1	79,8
11	2	122,2	64,2	50,4	13,8	36,9	50,7
11	3	118,6	76,4	69,8	6,6	35,4	42,0
11	4	183,1	288,0	278,1	9,9	84,6	94,5
11	5	485,8	283,5	258,0	25,6	178,8	204,3
11	6	217,1	228,8	221,5	7,3	100,3	107,6
11	7	219,1	174,3	156,3	17,9	82,6	100,5
11	8	40,1	49,2	41,1	8,1	16,2	24,3
11	9	49,9	79,3	43,6	35,8	25,0	60,8
11	10	27,1	35,4	24,1	11,4	10,5	21,8
11	11	56,9	115,0	66,0	49,0	25,2	74,2
11	12	89,3	168,8	110,7	58,1	49,0	107,1
12	1	160,8	73,7	68,0	5,7	0,0	5,7
12	2	49,6	25,5	17,9	7,5	11,7	19,3
12	3	62,4	39,4	35,0	4,4	17,1	21,4
12	4	280,9	98,2	84,2	14,0	0,0	14,0
12	5	309,4	159,5	148,8	10,7	96,2	106,9
12	6	250,4	130,2	104,2	26,0	0,0	26,0
12	7	11,6	13,8	11,0	2,8	4,8	7,6
12	8	28,4	85,3	51,2	34,0	21,0	55,0
12	9	25,8	127,7	50,4	77,4	19,9	97,2
12	10	5,1	12,0	7,4	4,6	1,8	6,4
12	11	33,9	161,4	73,1	88,3	30,2	118,5
12	12	43,8	179,9	81,6	98,3	34,2	132,5

ANNEXE 2

Annexe 2 : Programme SAS utilisé pour l'analyse de variance sur les données transformées logarithmiquement.

```
*-----*
*-----*
|
|
|      ANOVA.SAS : ANALYSE DE VARIANCE POUR CHAQUE VARIABLE
DEPENDANTE |
|           SELON TROIS FACTEURS (PENDE, TRAIT, PLUIES)
|
|
|      VERSION   : 1.1 (JEAN HARDY, LE 89.03.06)
|
|
*-----*
*-----*
OPTIONS PAGESIZE=54;
LIBNAME BIBLIOTH 'A:\BIBSAS\';
DATA TEMPO;
  SET BIBLIOTH.LOGDON;
RUN;
PROC ANOVA DATA=TEMPO;
  CLASS PLUIE TRAI PENDE PARCELLE;
  MODEL VOL SES PT PTD NAOHS PS PP PPSPT PTDSPT NAOHER PER PBT
        FPTB FPPB FPBTS PSP PPT PPP PPTD PNAOHS PPBT FPBTP =
        PENDE TRAI PENDE*TRAI PARCELLE(PENDE*TRAI)
        PLUIE TRAI*PLUIE PENDE*PLUIE TRAI*PENDE*PLUIE;
  TEST H=PENDE TRAI PENDE*TRAI      E=PARCELLE(PENDE*TRAI);
  MEANS TRAI / DUNCAN ALPHA=.05      E=PARCELLE(PENDE*TRAI);
  TITLE "ANALYSE DE VARIANCE UNIVARIEE, SANS LES CONTRASTES.";
  TITLE2 "MANOVA EST IMPOSSIBLE: REDONDANCE DES VAR. DEP.";
QUIT;
PROC GLM DATA=TEMPO;
  CLASS PLUIE;
  MODEL VOL SES PT PTD NAOHS PS PP PPSPT PTDSPT NAOHER PER PBT
        FPTB FPPB FPBTS PSP PPT PPP PPTD PNAOHS PPBT FPBTP =
        PLUIE / SS4;
  CONTRAST 'API'          PLUIE -3 -3 8 -3 8 -3 -3 8 -3 -3 -3,
                        PLUIE 0 0 -1 0 2 0 0 -1 0 0 0;
  CONTRAST 'API 1-2'     PLUIE -1 -1 4 -1 0 -1 -1 4 -1 -1 -1;
  CONTRAST 'API 1-3'     PLUIE -1 -1 0 -1 8 -1 -1 0 -1 -1 -1;
  CONTRAST 'API 2-3'     PLUIE 0 0 -1 0 2 0 0 -1 0 0 0;
  CONTRAST 'HAU'         PLUIE -5 6 -5 -5 6 -5 6 -5 6 6 -5,
                        PLUIE -1 0 1 1 0 1 0 -1 0 0 -1;
  CONTRAST 'HAU 1-2'     PLUIE 0 .6 -1 -1 .6 -1 .6 0 .6 .6 0;
  CONTRAST 'HAU 1-3'     PLUIE -1 .6 0 0 .6 0 .6 -1 .6 .6 -1;
  CONTRAST 'HAU 2-3'     PLUIE -1 0 1 1 0 1 0 -1 0 0 -1;
  CONTRAST 'I30'        PLUIE -3 -3 -3 8 -3 -3 8 8 -3 -3 -3,
                        PLUIE 0 0 0 2 0 0 -1 -1 0 0 0;
  CONTRAST 'I30 1-2'     PLUIE -1 -1 -1 0 -1 -1 4 4 -1 -1 -1;
  CONTRAST 'I30 1-3'     PLUIE -1 -1 -1 8 -1 -1 0 0 -1 -1 -1;
```

Annexe 2 : suite

```
CONTRAST 'I30 2-3' PLUIE 0 0 0 2 0 0 -1 -1 0 0 0;
CONTRAST 'ERO' PLUIE -3 -3 -3 -3 8 -3 -3 -3 8 8 -3,
PLUIE -3 5 -3 -3 0 5 5 -3 0 0 -3,
PLUIE 2 0 2 -3 0 0 0 -3 0 0 2,
PLUIE 0 0 0 -1 0 0 0 1 0 0 0;
CONTRAST 'ERO 1-2' PLUIE 0 1 0 0 -1 1 1 0 -1 -1 0;
CONTRAST 'ERO 1-3' PLUIE 1 0 1 0 -1 0 0 0 -1 -1 1;
CONTRAST 'ERO 1-4' PLUIE 0 0 0 0 -1 0 0 3 -1 -1 0;
CONTRAST 'ERO 1-5' PLUIE 0 0 0 3 -1 0 0 0 -1 -1 0;
CONTRAST 'ERO 2-3' PLUIE 1 -1 1 0 0 -1 -1 0 0 0 1;
CONTRAST 'ERO 2-4' PLUIE 0 -1 0 0 0 -1 -1 3 0 0 0;
CONTRAST 'ERO 2-5' PLUIE 0 -1 0 3 0 -1 -1 0 0 0 0;
CONTRAST 'ERO 3-4' PLUIE -1 0 -1 0 0 0 0 3 0 0 -1;
CONTRAST 'ERO 3-5' PLUIE -1 0 -1 3 0 0 0 0 0 0 -1;
CONTRAST 'ERO 4-5' PLUIE 0 0 0 1 0 0 0 -1 0 0 0;
TITLE "CONTRASTES SUR LE FACTEUR PLUIE";
TITLE2 "LES SOMMES DE CARRES SONT OK, MAIS PAS LES RAPPORTS F";
TITLE3 "UTILISER 'PARCELLE*(TRAI*PENTE)' POUR LES CALCULER.";
QUIT;
PROC PRINT;
RUN;
^Z
```

ANNEXE 3

Annexe 3a: Exemple du cheminement suivi pour arriver aux conclusions du tableau 4.2.

- Variable utilisée: VOL

I. Calcul de F_{value} (voir page suivante)

$$F_{\text{value}} = \frac{MS}{MSE}$$

- Pour effet des pratiques culturelles:

$$F_{\text{value}} = \frac{(c)}{(a)} = \frac{19,1525}{0,5676} = 33,7$$

- Pour effet de la pente:

$$F_{\text{value}} = \frac{(b)}{(a)} = \frac{22,29}{0,5676} = 39,3$$

- Pour effet des pluies:

$$F_{\text{value}} = \frac{(d)}{(a)} = \frac{9,689}{0,5676} = 17,1$$

II. Valeurs critiques de F (F_c)

- Pour pratique culturelle; DF = 2 $DF_{\text{erreur}} = 6$

$$F_c = 3,46 \quad (\text{au niveau } p = 0,1)$$

$$F_c = 5,14 \quad (\text{au niveau } p = 0,05)$$

$$F_c = 10,92 \quad (\text{au niveau } p = 0,01)$$

- Pour pente; DF = 1 $DF_{\text{erreur}} = 6$

$$F_c = 3,78 \quad (\text{au niveau } p = 0,1)$$

$$F_c = 5,14 \quad (\text{au niveau } p = 0,05)$$

ANALYSE DE VARIANCE UNIVARIEE, SANS LES CONTRASTES.
MANOVA EST IMPOSSIBLE: REDONDANCE DES VAR. DEP.

18:38 Thursday, March 23, 1989

Analysis of Variance Procedure

Dependent Variable: VOL

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	71	190.2691567	2.6798473	24.17	0.0001
Error	60	6.6519650	0.1108661		
Corrected Total	131	196.9211217			
	R-Square	C.V.	Root MSE	VOL Mean	
	0.966220	8.788162	0.332966	3.78879654	

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PENTE	1	22.29004078	22.29004078	201.05	0.0001
TRAI	2	38.30504533	19.15252266	172.75	0.0001
TRAI*PENTE	2	0.52499498	0.26249749	2.37	0.1024
PARCELLE(TRAI*PENTE)	6	3.40581087	(a) <u>0.56763514</u>	5.12	0.0003
PLUIE	10	96.89341550	(d) <u>9.68934155</u>	87.40	0.0001
PLUIE*TRAI	20	18.24072696	0.91203635	8.23	0.0001
PLUIE*PENTE	10	5.48696402	0.54869640	4.95	0.0001
PLUIE*TRAI*PENTE	20	5.12215827	0.25610791	2.31	0.0066

Tests of Hypotheses using the Anova MS for
PARCELLE(TRAI*PENTE) as an error term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PENTE	1	22.29004078	(b) <u>22.29004078</u>	39.27	0.0008
TRAI	2	38.30504533	(c) <u>19.15252266</u>	33.74	0.0005
TRAI*PENTE	2	0.52499498	0.26249749	0.46	0.6505

$$F_c = 10,92 \quad (\text{au niveau } p = 0,01)$$

- Pour pluies; $DF = 10$ $DF_{\text{erreur}} = 6$

$$F_c = 2,94 \quad (\text{au niveau } p = 0,1)$$

$$F_c = 4,06 \quad (\text{au niveau } p = 0,05)$$

$$F_c = 7,87 \quad (\text{au niveau } p = 0,01)$$

III. Conclusions

- Pour pratique culturelle;

$F_{\text{value}} > F_c$ au niveau $p = 0,01$, donc les pratiques culturelles ont un effet significatif sur la variable VOL au niveau $p = 0,01$.

- Pour pente;

$F_{\text{value}} > F_c$ au niveau $p = 0,01$, donc la pente du terrain a un effet significatif sur la variable VOL au niveau $p = 0,01$.

- Pour pluies;

$F_{\text{value}} > F_c$ au niveau $p = 0,01$, donc il y a un effet significatif entre les pluies pour la variable VOL au niveau $p = 0,01$.

Annexe 3b: Exemple du cheminement suivi pour arriver aux conclusions du tableau 4.3.

- Variable utilisée: VOL

I. Calcul de F_{value} (voir page suivante)

$$F_{\text{value}} = \frac{MS}{MSE}$$

- Pour l'effet de l'interaction pratique culturelle x pente:

$$F_{\text{value}} = \frac{(b)}{(a)} = \frac{0,262}{0,568} = 0,46$$

- Pour l'effet de l'interaction pratique culturelle x pluie:

$$F_{\text{value}} = \frac{(c)}{(a)} = \frac{0,912}{0,568} = 1,61$$

- Pour l'effet de l'interaction pente x pluie:

$$F_{\text{value}} = \frac{(d)}{(a)} = \frac{0,549}{0,568} = 0,97$$

- Pour l'effet de l'interaction pratique culturelle x pluie x pente:

$$F_{\text{value}} = \frac{(e)}{(a)} = \frac{0,256}{0,568} = 0,45$$

II. Valeurs critiques de F (F_c)

- Pour l'interaction pratique culturelle x pente:

$$DF = 2, \quad DF_{\text{erreur}} = 6$$

$$F_c = 3,46 \quad (\text{au niveau } p = 0,10)$$

$$F_c = 5,14 \quad (\text{au niveau } p = 0,05)$$

$$F_c = 10,9 \quad (\text{au niveau } p = 0,01)$$

ANALYSE DE VARIANCE UNIVARIEE, SANS LES CONTRASTES.

MANOVA EST IMPOSSIBLE: REDONDANCE DES VAR. DEP.

18:38 Thursday, March 23, 1989

Analysis of Variance Procedure

Dependent Variable: VOL

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	71	190.2691567	2.6798473	24.17	0.0001
Error	60	6.6519650	0.1108661		
Corrected Total	131	196.9211217			
	R-Square	C.V.	Root MSE		VOL Mean
	0.966220	8.788162	0.332966		3.78879654

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PENTE	1	22.29004078	22.29004078	201.05	0.0001
TRAI	2	38.30504533	19.15252266	172.75	0.0001
TRAI*PENTE	2	0.52499498	0.26249749	2.37	0.1024
PARCELLE(TRAI*PENTE)	6	3.40581087	(a) 0.56763514	5.12	0.0003
PLUIE	10	96.89341550	9.68934155	87.40	0.0001
PLUIE*TRAI	20	18.24072696	(c) 0.91203635	8.23	0.0001
PLUIE*PENTE	10	5.48696402	(d) 0.54869640	4.95	0.0001
PLUIE*TRAI*PENTE	20	5.12215827	(e) 0.25610791	2.31	0.0066

Tests of Hypotheses using the Anova MS for PARCELLE(TRAI*PENTE) as an error term

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PENTE	1	22.29004078	22.29004078	39.27	0.0008
TRAI	2	38.30504533	19.15252266	33.74	0.0005
TRAI*PENTE	2	0.52499498	(b) 0.26249749	0.46	0.6505

- Pour l'interaction pente x pluie:

$$DF = 10 \qquad DF_{\text{erreur}} = 6$$

$$F_c = 2,94 \text{ (au niveau } p = 0,1)$$
$$F_c = 4,06 \text{ (au niveau } p = 0,05)$$
$$F_c = 7,87 \text{ (au niveau } p = 0,01)$$

- Pour les interactions pratique culturelle x pluie et pluie x pratique culturelle x pente:

$$DF = 20 \qquad DF_{\text{erreur}} = 6$$

$$F_c = 2,84 \text{ (au niveau } p = 0,1)$$
$$F_c = 3,87 \text{ (au niveau } p = 0,05)$$
$$F_c = 7,40 \text{ (au niveau } p = 0,01)$$

III. Conclusions

- Pour l'interaction pratique culturelle x pente:

$F_{\text{value}} < F_c$ au niveau $p = 0,1$, donc il n'y a pas d'interaction significative pratique culturelle x pente à ce niveau.

- Pour l'interaction pratique culturelle x pluie:

$F_{\text{value}} < F_c$ au niveau $p = 0,1$, donc il n'y a pas d'interaction significative pratique culturelle x pluie à ce niveau.

- Pour l'interaction pente x pluie:

$F_{\text{value}} < F_c$ au niveau $p = 0,1$, donc il n'y a pas d'interaction significative pente x pluie à ce niveau.

- Pour l'interaction pente x pratique culturelle x pente:

$F_{\text{value}} < F_c$ au niveau $p = 0,1$, donc il n'y a pas d'interaction significative pente x pratique culturelle x pluie à ce niveau.

CONTRASTES SUR LE FACTEUR PLUIE
 LES SOMMES DE CARRÉS SONT OK, MAIS PAS LES RAPPORTS F
 UTILISER 'PARCELLE*(TRAI*PENTE)' POUR LES CALCULER.

18:38 Thursday, March 23, 1989

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: VOL

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	96.89341550	9.68934155	11.72	0.0001
Error	121	100.02770624	0.82667526		
Corrected Total	131	196.92112174			
	R-Square	C.V.	Root MSE	VOL Mean	
	0.492042	23.99751	0.909217	3.78879654	

Source	DF	Type IV SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PLUIE	10	96.89341550	9.68934155	11.72	0.0001
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
API	2	12.02595382 (b)	<u>6.01297691</u>	7.27	0.0010
API 1-2	1	10.99441349	10.99441349	13.30	0.0004
API 1-3	1	0.26011193	0.26011193	0.31	0.5759
API 2-3	1	6.66678326	6.66678326	8.06	0.0053
HAU	2	18.22856995 (c)	<u>9.11428497</u>	11.03	0.0001
HAU 1-2	1	13.99396133	13.99396133	16.93	0.0001
HAU 1-3	1	10.95918383	10.95918383	13.26	0.0004
HAU 2-3	1	0.14818469	0.14818469	0.18	0.6728
I30	2	41.20601415 (d)	<u>20.60300708</u>	24.92	0.0001
I30 1-2	1	9.25856924	9.25856924	11.20	0.0011
I30 1-3	1	36.51354964	36.51354964	44.17	0.0001
I30 2-3	1	10.68617218	10.68617218	12.93	0.0005
ERO	4	74.43671400 (e)	<u>18.60917850</u>	22.51	0.0001
ERO 1-2	1	8.56028632	8.56028632	10.36	0.0017
ERO 1-3	1	4.24884203	4.24884203	5.14	0.0252
ERO 1-4	1	41.67046146	41.67046146	50.41	0.0001
ERO 1-5	1	46.74888554	46.74888554	56.55	0.0001
ERO 2-3	1	0.74740305	0.74740305	0.90	0.3436
ERO 2-4	1	19.24064089	19.24064089	23.27	0.0001
ERO 2-5	1	22.73825829	22.73825829	27.51	0.0001
ERO 3-4	1	24.97727327	24.97727327	30.21	0.0001
ERO 3-5	1	28.94199302	28.94199302	35.01	0.0001
ERO 4-5	1	0.09730787	0.09730787	0.12	0.7321

(a) 0,5676 Voir annexe 3a

Annexe 3c: Exemple du cheminement suivi pour arriver aux conclusions du tableau 4.4.

- Variable utilisée: VOL

I. Calcul de F_{value} (voir page suivante)

$$F_{\text{value}} = \frac{MS}{MSE}$$

- Pour effet de API:

$$F_{\text{value}} = \frac{(b)}{(a)} = \frac{6,0129}{0,5676} = 10,6$$

- Pour effet de la quantité de pluie (HAU):

$$F_{\text{value}} = \frac{(c)}{(a)} = \frac{9,1142}{0,5676} = 16,1$$

- Pour effet de I30:

$$F_{\text{value}} = \frac{(d)}{(a)} = \frac{20,60}{0,5676} = 36,3$$

- Pour effet de l'érosivité de la pluie:

$$F_{\text{value}} = \frac{(e)}{(a)} = \frac{18,609}{0,5676} = 32,8$$

II. Valeurs critiques de F (F_c)

- Pour API, quantité et I30:

$$DF = 2, \quad DF_{\text{erreur}} = 6$$

$$F_c = 3,46 \quad (\text{au niveau } p = 0,01)$$

$$F_c = 5,14 \quad (\text{au niveau } p = 0,05)$$

$$F_c = 10,92 \quad (\text{au niveau } p = 0,1)$$

- Pour l'érosivité:

$$DF = 4, \quad DF_{\text{erreur}} = 6$$

III. Conclusions

- Pour API;

$F_{\text{value}} > F_c$ au niveau $p = 0,05$, donc API a un effet significatif sur la variable VOL au niveau $p = 0,05$.

- Pour la quantité de pluie;

$F_{\text{value}} > F_c$ au niveau $p = 0,01$, donc la quantité de pluie a un effet significatif sur la variable VOL au niveau $p = 0,01$.

- Pour I30;

$F_{\text{value}} > F_c$ au niveau $p = 0,01$, donc I30 a un effet significatif sur la variable VOL au niveau $p = 0,01$.

- Pour l'érosivité de la pluie;

$F_{\text{value}} > F_c$ au niveau $p = 0,01$, donc l'érosivité a un effet significatif sur la variable VOL au niveau $p = 0,01$.

Annexe 3d: Exemple du cheminement suivi pour arriver aux conclusions des annexes 4d à 4g.

- Variable utilisée: VOL pour API.

I. Calcul de F_{value} (voir page suivante)

$$F_{\text{value}} = \frac{MS}{MSE}$$

- Pour API 1-2

$$F_{\text{value}} = \frac{(b)}{(a)} = \frac{10,994}{0,5676} = 19,4$$

- Pour API 1-3

$$F_{\text{value}} = \frac{(c)}{(a)} = \frac{0,26011}{0,5676} = 0,46$$

- Pour API 2-3

$$F_{\text{value}} = \frac{(d)}{(a)} = \frac{6,6667}{0,5676} = 11,7$$

II. Valeurs critiques de F (F_c)

Pour API 1-2, 1-3 et 2-3; $DF = 1$, $DF_{\text{erreur}} = 6$

$$F_c = 3,78 \quad (\text{au niveau } p = 0,1)$$

$$F_c = 5,99 \quad (\text{au niveau } p = 0,05)$$

$$F_c = 13,75 \quad (\text{au niveau } p = 0,01)$$

CONTRASTES SUR LE FACTEUR PLUIE
 LES SOMMES DE CARRÉS SONT OK, MAIS PAS LES RAPPORTS F
 UTILISER 'PARCELLE*(TRAI*PENTE)' POUR LES CALCULER.

18:38 Thursday, March 23, 1989

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: VOL

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	10	96.89341550	9.68934155	11.72	0.0001
Error	121	100.02770624	0.82667526		
Corrected Total	131	196.92112174			
	R-Square	C.V.	Root MSE		VOL Mean
	0.492042	23.99751	0.909217		3.78879654

Source	DF	Type IV SS	Mean Square	F Value	Pr > F
PLUIE	10	96.89341550	9.68934155	11.72	0.0001
Contrast	DF	Contrast SS	Mean Square	F Value	Pr > F
API	2	12.02595382	6.01297691	7.27	0.0010
API 1-2	1	10.99441349 (b)	10.99441349	13.30	0.0004
API 1-3	1	0.26011193 (c)	0.26011193	0.31	0.5759
API 2-3	1	6.66678326 (d)	6.66678326	8.06	0.0053
HAU	2	18.22856995	9.11428497	11.03	0.0001
HAU 1-2	1	13.99396133	13.99396133	16.93	0.0001
HAU 1-3	1	10.95918383	10.95918383	13.26	0.0004
HAU 2-3	1	0.14818469	0.14818469	0.18	0.6728
I30	2	41.20601415	20.60300708	24.92	0.0001
I30 1-2	1	9.25856924	9.25856924	11.20	0.0011
I30 1-3	1	36.51354964	36.51354964	44.17	0.0001
I30 2-3	1	10.68617218	10.68617218	12.93	0.0005
ERO	4	74.43671400	18.60917850	22.51	0.0001
ERO 1-2	1	8.56028632	8.56028632	10.36	0.0017
ERO 1-3	1	4.24884203	4.24884203	5.14	0.0252
ERO 1-4	1	41.67046146	41.67046146	50.41	0.0001
ERO 1-5	1	46.74888554	46.74888554	56.55	0.0001
ERO 2-3	1	0.74740305	0.74740305	0.90	0.3436
ERO 2-4	1	19.24064089	19.24064089	23.27	0.0001
ERO 2-5	1	22.73825829	22.73825829	27.51	0.0001
ERO 3-4	1	24.97727327	24.97727327	30.21	0.0001
ERO 3-5	1	28.94199302	28.94199302	35.01	0.0001
ERO 4-5	1	0.09730787	0.09730787	0.12	0.7321

(a) 0,5676 (Voir annexe 3a)

III. Conclusions

Pour les annexes 4d à 4g, les conclusions ont été faites au niveau $p = 0,1$.

- Pour API 1-2;

$F_{\text{value}} > F_c$ au niveau $p = 0,1$, donc il y a une différence significative entre les API de classe 1 et de classe 2 pour la variable VOL au niveau $p = 0,1$.

- Pour API 1-3;

$F_{\text{value}} < F_c$ au niveau $p = 0,1$, donc il n'y a aucune différence significative entre les API de classe 1 et de classe 3 pour la variable VOL au niveau $p = 0,1$.

- Pour API 2-3;

$F_{\text{value}} > F_c$ au niveau $p = 0,1$, donc il y a une différence significative entre API de classe 2 et de classe 3 pour la variable VOL au niveau $p = 0,1$.

ANNEXE 4

Annexe 4a: Valeurs moyennes des différentes variables selon la pratique culturale.

Pratique culturale		Labour	Chisel	Billons
Variables				
VOL	(litres)	**186 a	59,5 b	44,9 b
SeS	(mg/l)	9 599 a	6 309 a	5 405 a
PT	(mg/l)	6,21 a	4,14 a	5,48 a
PTD	(mg/l)	0,235 b	0,227 b	0,289 a
NaOHS	(µg/g)	393 b	397 b	554 a
PS	(µg/g)	908 b	1 088 a	1 011 ab
PP	(mg/l)	5,97 a	3,92 a	5,19 a
PPSPT	(%)	93,8 a	90,5 a	91,3 a
PTDSPT	(%)	6,20 a	9,50 a	8,70 a
NaOHER		2,59 a	3,07 a	3,51 a
PER		3,64 a	5,15 a	4,25 a
PBT	(mg/l)	2,86 ab	1,81 b	2,94 a
FPTB	(%)	48,9 b	47,3 b	59,0 a
FPPB	(%)	46,4 ab	41,3 b	55,5 a
FPBTS	(%)	12,0 b	19,3 a	14,8 a
PSP	(g)	3 202 a	496 b	348 b
PPT	(mg)	1 794 a	324 b	292 b
PPP	(mg)	1 746 a	312 b	278 b
PPTD	(mg)	48,7 a	11,6 a	13,9 a
PNaOHS	(mg)	721 a	123 b	139 b
PPBT	(mg)	769 a	135 b	153 b
FPBTP	(%)	88,0 b	80,7 a	85,2 a

** à l'intérieur de chaque ligne, les nombres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents au niveau $p = 0,05$ selon le test de Duncan.

Annexe 4b: Valeurs moyennes des différentes variables selon la pente du terrain.

Pente		4,6 %	9,2 %
Variables			
VOL	(litres)	64,7	129
SeS	(mg/l)	4 375	9 833
PT	(mg/l)	3,46	7,09
PTD	(mg/l)	0,270	0,230
NaOHS	(µg/g)	447	309
PS	(µg/g)	1 109	896
PP	(mg/l)	3,19	6,87
PPSPT	(%)	88,4	95,3
PTDSPT	(%)	11,6	4,7
NaOHER		3,51	2,60
PER		5,85	2,84
PBT	(mg/l)	1,69	3,38
FPTB	(%)	51,3	52,2
FPPB	(%)	45,9	49,6
FPBTS	(%)	22,0	8,7
PSP	(g)	471	2 227
PPT	(mg)	260	1 346
PPP	(mg)	246	1 311
PPTD	(mg)	14,5	34,9
PNaOHS	(mg)	103	552
PPBT	(mg)	118	587
FPBTP	(%)	78,0	91,3

Annexe 4c: Valeurs moyennes des différentes variables selon la pente du terrain et la pratique culturale.

Traitements Variables		Pente = 4,6%			Pente = 9,2%		
		Labour	Chisel	Billons	Labour	Chisel	Billons
VOL	(litres)	120	47,6	26,5	253	71,3	63,4
SeS	(mg/l)	5 497	3 132	4 496	13 000	7 678	8 122
PT	(mg/l)	3,62	2,77	4,01	8,80	5,51	6,96
PID	(mg/l)	0,212	0,304	0,297	0,260	0,150	0,281
NaOHS	(µg/g)	345	391	605	440	402	504
PS	(µg/g)	976	1 243	1 106	841	932	917
PP	(mg/l)	3,41	2,47	3,71	8,54	5,36	6,68
PPSPT	(%)	91,0	86,6	87,6	96,5	94,5	95,0
NaOHER		2,62	3,46	4,46	2,56	2,68	2,57
PER		4,55	6,76	6,25	2,74	3,55	2,25
PBT	(mg/l)	1,62	1,36	2,10	4,10	2,26	3,78
FPIB	(%)	46,3	48,1	59,6	51,6	46,5	58,4
FPPB	(%)	42,5	40,7	54,4	50,4	41,8	56,6
FPBIS	(%)	18,0	27,2	20,9	5,92	11,3	8,73
PSP	(g)	1 084	210	118	5 320	782	579
PPT	(mg)	536	143	102	3 053	505	481
PPP	(mg)	518	128	91,9	2 974	497	463
PPID	(mg)	18,3	15,2	10,1	79,1	8,01	17,7
PNaOHS	(mg)	206	57,5	46,8	1 235	189	232
PPBT	(mg)	224	72,7	57,0	1 314	197	249
FPBIP	(%)	82,0	72,8	79,1	94,1	88,7	91,3

Annexe 4d: Valeurs moyennes des différentes variables selon la condition antécédente de pluie (API).

API *		Classe 1		Classe 2		Classe 3	
Variables							
VOL	(litres)	** 84,0	a	169	b	56,7	a
SeS	(mg/l)	6 974	a	6 029	ab	10 296	b
PT	(mg/l)	5,12	a	5,02	a	7,11	a
PTD	(mg/l)	0,25	c	0,33	a	0,08	b
NaOHS	(µg/g)	491	c	363	b	271	a
PS	(µg/g)	1 091	c	859	b	579	ab
PP	(mg/l)	4,86	a	4,69	ab	7,03	b
PPSPT	(%)	91,0	a	92,2	a	98,8	b
PTDSPT	(%)	9,0	b	7,80	b	1,2	a
NaOHER		3,34	a	2,50	a	1,86	b
PER		4,74	a	3,70	a	2,47	a
PBT	(mg/l)	2,56	a	2,40	a	2,65	a
FPTB	(%)	54,7	a	47,2	a	37,0	b
FPPB	(%)	49,1	ab	43,0	a	46,1	a
FPBTS	(%)	16,8	b	15,4	b	3,39	a
PSP	(g)	1 357	a	1 608	b	767	ab
PPT	(mg)	733	a	1 252	b	468	ab
PPP	(mg)	717	a	1 183	b	466	ab
PPTD	(mg)	16,5	b	69,0	c	1,97	a
PNaOHS	(mg)	289	ab	577	b	138	a
PPBT	(mg)	306	ab	646	b	140	a
FPBTP	(%)	83,2	a	84,6	a	96,6	b

- * Classe 1 = API < 15 mm
 Classe 2 = 15 mm ≤ API ≤ 30 mm
 Classe 3 = API > 30 mm

** à l'intérieur de chaque ligne, les nombres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents au niveau p = 0,1 selon le test de comparaison par contrastes.

Annexe 4e: Valeurs moyennes des différentes variables selon la quantité de pluie tombée.

Quantité de pluie Variables	Classe 1	Classe 2	Classe 3
VOL (litres)	**61,2 a	135 b	118 b
SeS (mg/l)	7 393 b	10 263 a	3 464 c
PT (mg/l)	5,83 a	6,39 a	3,24 b
PTD (mg/l)	0,23 a	0,22 a	0,32 a
NaOHS (µg/g)	384 b	312 a	690 c
PS (µg/g)	1 093 b	718 a	1 136 c
PP (mg/l)	5,60 a	6,18 a	2,92 b
PPSPT (%)	91,8 b	96,0 c	87,9 a
PTDSPT (%)	8,2 b	4,0 a	12,1 c
NaOHER	2,61 a	2,09 a	4,76 b
PER	4,79 a	3,09 a	4,88 a
PBT (mg/l)	2,59 ab	3,07 a	1,91 b
FPTB (%)	46,9 a	46,2 a	65,4 b
FPPB (%)	43,3 a	43,9 a	58,9 b
FPBTS (%)	16,9 b	8,42 a	19,8 c
PSP (g)	927 a	2 466 b	935 a
PPT (mg)	646 a	1 111 b	756 a
PPP (mg)	635 a	1 091 b	704 a
PPTD (mg)	10,9 a	20,3 ab	52,1 b
PNaOHS (mg)	225 a	456 b	370 a
PPBT (mg)	236 a	476 b	422 ab
FPBTP (%)	83,1 a	91,6 b	80,2 a

- * Classe 1: quantité < 15 mm
 Classe 2: 15 mm ≤ quantité ≤ 30 mm
 Classe 3: quantité > 30 mm

** à l'intérieur de chaque ligne, les nombres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents au niveau $p = 0,1$ selon le test de comparaison par contrastes.

Annexe 4f: Valeurs moyennes des différentes variables selon l'intensité maximale de la pluie sur 30 minutes (I30).

I30*		Classe 1	Classe 2	Classe 3
Variables				
VOL (litres)	**60,0	a	153 b	279 c
SeS (mg/l)	5 734	a	8 057 b	16 164 c
PT (mg/l)	4,67	a	6,72 b	7,27 b
PTD (mg/l)	0,23	b	0,44 c	0,07 a
NaOHS (µg/g)	490	a	392 a	224 b
PS (µg/g)	1 116	c	810 b	481 a
PP (mg/l)	4,44	a	6,28 b	7,20 b
PPSPT (%)	90,9	a	92,3 a	99,0 b
PTDSPT (%)	9,10	c	7,73 b	1,0 a
NaOHER	3,34	a	2,68 a	1,50 b
PER	4,86	b	3,45 ab	2,04 a
PBT (mg/l)	2,18	a	3,61 b	3,25 b
FPTB (%)	52,4	a	52,3 a	45,6 a
FPPB (%)	47,9	a	48,5 a	45,1 a
FPBTS (%)	17,3	b	14,32 b	2,05 a
PSP (g)	695	a	1 624 b	6 033 c
PPT (mg)	490	a	1 302 b	2 314 c
PPP (mg)	477	a	1 222 b	2 302 c
PPTD (mg)	12,2	a	80,9 b	12,6 a
PNaOHS (mg)	176	a	648 b	898 c
PPBT (mg)	189	a	729 b	911 c
FPBTP (%)	82,7	a	85,8 ab	98,0 b

- * Classe 1: quantité < 15 mm / heure
 Classe 2: 15 mm / heure ≤ I30 ≤ 30 mm / heure
 Classe 3: I30 > 30 mm / heure

** à l'intérieur de chaque ligne, les nombres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents au niveau p = 0,1 selon le test de comparaison par contrastes.

Annexe 4g: Valeurs moyennes des différentes variables selon l'érosivité de la pluie.

Érosivité* Variables	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
VOL (litres)	**35,9 a	84,7 b	51,9 b	268 c	280 c
SeS (mg/l)	5 132 a	10 470 b	2 635 a	7 273 b	16 164 b
PT (mg/l)	4,11 a	8,29 b	2,48 c	6,15 b	7,27 b
PTD (mg/l)	0,19 b	0,33 b	0,20 b	0,51 c	0,07 a
NaOHS (µg/g)	419 b	354 b	659 c	410 b	224 a
PS (µg/g)	1 305 c	781 b	1 149 c	838 b	481 a
PP (mg/l)	3,91 a	7,96 c	2,28 a	5,64 bc	7,20 c
PPSPT (%)	88,8 a	95,7 b	89,5 a	89,7 a	99,0 b
PIDSPT (%)	11,2 a	4,31 b	10,5 a	10,3 a	1,0 c
NaOHER	2,85 b	2,38 b	4,52 c	2,86 b	1,50 a
PER	5,86 c	3,26 b	4,95 c	3,60 a	2,04 a
PBT (mg/l)	1,83 a	3,99 b	1,29 a	3,32 b	3,25 b
FPTB (%)	47,6 a	48,1 a	60,8 a	54,1 a	45,6 a
FPPB (%)	42,9 a	45,9 a	54,8 a	49,1 a	45,1 a
FPBTS (%)	23,2 c	8,42 b	18,0 c	18,1 c	2,05 a
PSP (g)	300 a	1 509 b	246 a	2 642 c	6 033 c
PPT (mg)	204 a	1 079 b	189 a	2 102 c	2 314 c
PPP (mg)	201 a	1 050 b	180 a	1 968 c	2 302 c
PPID (mg)	3,72 a	29,3 c	8,82 ab	134 d	12,6 bd
PNaOHS (mg)	68,4 a	422 b	68,6 a	1 029 c	898 c
PPBT (mg)	72,1 a	451 b	77,4 a	1 163 c	911 c
FPBTP (%)	76,8 a	91,6 c	82,1 b	81,9 b	98,0 c

* Classe 1: érosivité < 25 MJ.mm / ha·heure

Classe 2: 25 MJ.mm / ha·heure ≤ érosivité ≤ 50 MJ.mm / ha·heure

Classe 3: 50 MJ.mm / ha·heure ≤ érosivité ≤ 75 MJ.mm / ha·heure

Classe 4: 75 MJ.mm / ha·heure < érosivité ≤ 100 MJ.mm / ha·heure

Classe 5: érosivité > 100 MJ.mm / ha·heure

** à l'intérieur de chaque ligne, les nombres suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents au niveau p = 0,1 selon le test de comparaison par contrastes.

ANNEXE 5

Annexe 5: Comparaison des concentrations en phosphore biodisponible total obtenues par les 2 méthodes d'extraction chimique.

¹ PBT (mg/l)	² PBT (mg/l)	1 - 2
4,86	3,17	1,69
3,12	3,01	0,11
2,33	2,14	0,19
5,46	3,48	1,98
13,7	12,1	1,6
6,32	4,93	1,39
2,87	2,17	0,70
1,87	1,30	0,57
1,66	1,26	0,40
1,35	1,58	-0,23
1,26	1,15	0,11
2,08	2,15	0,07
3,78	1,99	1,79
2,22	2,76	-0,54
3,46	3,25	0,21
3,08	2,38	0,70
8,18	6,00	2,18
3,56	2,40	1,16
2,28	1,52	0,76
1,30	0,708	0,608
3,46	2,21	1,25
1,45	1,11	0,34
2,57	1,83	0,74
4,50	2,88	1,62
2,51	1,94	0,57
1,69	1,76	-0,07
2,45	2,46	-0,01

¹: Concentrations en phosphore biodisponible total mesurées par la méthode d'extraction au NaOH 0,1N.

²: Concentrations en phosphore biodisponible total mesurées par la méthode de la résine cationique.

Annexe 5: Comparaison des concentrations en phosphore biodisponible total obtenues par les 2 méthodes d'extraction chimique (suite).

¹ PBT (mg/l)	² PBT (mg/l)	1 - 2
2,95	2,27	0,68
2,72	1,85	0,87
3,13	1,98	1,45
2,59	1,85	0,74
2,86	1,58	1,28
1,74	1,16	0,58
1,11	1,22	-0,11
1,08	0,88	0,20
2,23	1,48	0,75
0,680	0,379	0,301
0,785	0,514	0,271
0,292	0,325	-0,033
0,985	0,465	0,52
0,786	0,423	0,363
1,12	0,704	0,416
0,291	0,307	-0,016
0,249	0,334	-0,085
0,490	0,338	0,102
0,512	0,558	-0,046
0,462	0,414	0,048
0,588	0,490	0,098
0,887	0,668	0,219
1,33	0,777	0,557
1,10	0,948	0,156

¹: Concentrations en phosphore biodisponible total mesurées par la méthode d'extraction au NaOH 0,1N.

²: Concentrations en phosphore biodisponible total mesurées par la méthode de la résine cationique.

Annexe 5: Comparaison des concentrations en phosphore biodisponible total obtenues par les 2 méthodes d'extraction chimique (suite).

¹ PBT (mg/l)	² PBT (mg/l)	1 - 2
1,45	1,22	0,23
1,17	1,02	0,150
1,42	0,948	0,468
2,16	1,76	0,40
0,571	0,361	0,210
1,010	0,539	0,471
1,35	0,740	0,61
1,03	0,518	0,508
0,893	0,614	0,279
0,993	0,687	0,306
2,50	1,49	1,01
2,14	1,43	0,71
2,19	1,11	1,08
0,587	0,307	0,280
0,524	0,334	0,190
0,720	0,406	0,314
0,296	0,352	-0,056
1,13	0,594	0,534
1,63	0,653	-0,973

¹: Concentrations en phosphore biodisponible total mesurées par la méthode d'extraction au NaOH 0,1N.

²: Concentrations en phosphore biodisponible total mesurées par la méthode de la résine cationique.