

# CONTRIBUTION DU DRAINAGE AGRICOLE ENTERRÉ A L'ÉROSION DES SOLS EN RÉGION TEMPÉRÉE (BRIE)

M.-J. PENVEN\*, T. MUXART\*\*, C. COSANDEY\*\* et A. ANDRIEU\*\*

\* Université Rennes 2, 6 avenue G. Berger, F-35 000 Rennes, marie-josee.penven@uhb.fr

\*\* UMR 8591, CNRS et Université Paris 1, 1 place A. Briand, F-92 190 Meudon,  
muxart@cnrs-bellevue.fr et cosandey@cnrs-bellevue.fr

## Résumé

Les terres agricoles des régions de grande culture de l'Europe tempérée sont soumises à une érosion très variable en fonction des caractéristiques physiques du milieu (sol, topographie, climat...), du type de culture et des pratiques agricoles. Le plateau briard (Sud-est de l'agglomération parisienne, France) est recouvert par des formations loessiques d'épaisseur inégale. Leur caractère limono-argileux (sols bruns lessivés à hydromorphie temporaire) a conduit les exploitants agricoles à implanter un réseau de drainage enterré moderne (P.C.V.) afin d'assurer un bon ressuyage des sols permettant de pratiquer une agriculture intensive. Les eaux collectées dans les sols des parcelles agricoles par les drains sont évacuées directement ou par l'intermédiaire de fossés dans le réseau hydrographique.

De 1991 à 1995, des mesures hydrométriques et des prélèvements d'eau ont été effectués pour déterminer, après filtration à 0,45 mm, les concentrations et les flux de Matières En Suspension (MES), à différentes échelles emboîtées d'un bassin versant rural. L'une des stations correspondait à l'exutoire du réseau de drainage enterré d'une parcelle agricole de 6,43 ha. En parallèle, les précipitations ont été mesurées.

Les premiers résultats ont montré une forte contribution du drainage enterré à l'exportation des particules les plus fines du sol par le réseau hydrographique pendant la saison hivernale. Toutefois, les bilans d'exportation intra- et inter annuels sont hétérogènes et il n'existe pas plus dans le cas du drainage que dans celui des écoulements fluviaux, de relation directe entre la charge en suspension et les débits liquides. Une étude à différents pas de temps a permis de proposer une typologie saisonnière des crues exportatrices de MES en fonction de leur efficacité (flux exportés et concentrations maximales de MES). Des trains de crues ont été sélectionnés afin d'identifier les conditions de mise en suspension des particules solides du sol : totaux et intensités pluviométriques, d'une part et concentrations en MES, d'autre part ont été confrontés. À l'inverse du ruissellement de surface qui n'est généralisé et donc efficace sur le plateau briard que lors de rares événements pluvieux, le drainage agricole permet une évacuation sélective, irrégulière mais chronique des particules du sol. Cette pratique présente donc un certain risque d'érosion et d'appauvrissement des sols à long terme.

**Mots -clefs :** plateau loessique, précipitations, crues, sols bruns lessivés à hydromorphie temporaire, drainage agricole, érosion agricole.

## INTRODUCTION

Dans les régions de grandes cultures de la ceinture loessique de l'Europe du Nord-Ouest, l'aggravation de l'érosion hydrique des sols a été soulignée depuis une vingtaine d'années par de nombreux auteurs (KIRKBY et MORGAN, 1980 ; AUZET, 1987 ; DE PLOEY, 1990 ; BOARDMAN *et al.*, 1990 ; DE PLOEY, 1991 ; LE BISSONNAIS, 1998 et 1999, etc.). Elle est en grande partie liée à une agriculture intensive dont les aménagements et les nouvelles pratiques culturales s'appliquent à des sols à texture limoneuse dont la structure est fragile. Ces derniers peuvent être affectés soit par une érosion diffuse sur les terrains de faible pente (< 5 %), en relation avec un ruissellement aréolaire accentué par la présence d'une croûte de battance, soit par une érosion en rigoles et ravines, sur des pentes dépassant 5 % et favorisant un écoulement concentré. En France, les sols concernés par l'érosion hydrique représentent une superficie de l'ordre de 5 millions d'hectares (ROBERT, 1996). Outre les risques de dégradation du patrimoine sol, certaines régions agricoles sont périodiquement le siège d'écoulements boueux (LE BISSONNAIS *et al.*, 1998) qui provoquent des dommages aux secteurs situés en aval et polluent les écosystèmes aquatiques en se déversant dans les rivières.

En bordure de cette ceinture loessique, dans les zones où les dépôts ont été plus ou moins érodés, les sols présentent un caractère limono-argileux, voire argileux, qui induit un engorgement des horizons superficiels pendant la saison pluvieuse et limite l'accès des engins agricoles aux parcelles. Afin de remédier à cette situation, les exploitants ont été encouragés à installer des drains agricoles enterrés dans les parcelles. À l'échelle de la France, la superficie drainée est ainsi passée de 943 000 ha à 2 084 000 ha entre les Recensements Généraux de l'Agriculture (RGA) de 1979 et 1988. Se pose le problème de l'impact de cette pratique sur l'environnement en termes de quantité et de qualité de l'eau, mais aussi celui de l'évolution des sols à moyen terme.

L'étude ci-dessous a été menée sur le plateau de Brie (Sud-est de Paris) où, depuis les années 60, l'agriculture devenue intensive, y est associée, entre autres, à l'installation d'un réseau de drainage enterré en P.C.V. Les deux objectifs principaux du travail ont été de :

- mesurer les exportations de MES par le drainage agricole enterré afin d'évaluer sa contribution à la charge en particules solides des rivières,
- cerner les facteurs de déclenchement des processus de mise en suspension des particules solides au sein du sol dans différentes situations pluviométriques.

### 1. SITE DE L'ETUDE ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL.

Le site d'étude est localisé dans la partie amont (# 30 km<sup>2</sup>) du bassin du Vannetin, lui-même inclus dans celui, plus vaste (# 1200 km<sup>2</sup>), du Grand Morin, situé dans la partie centrale du plateau briard (figure 1). Sur ce dernier, la production agricole est fondée sur les cultures céréalières d'hiver. Ainsi les cultures de blé et d'orge d'hiver représentaient 49,3 % de la Surface Agricole Utile (SAU) du bassin versant du Grand Morin, en 1988 et 47,9 % de la SAU du bassin du Vannetin, en 1995 (PENVEN *et al.*, 1998a). Le drainage agricole enterré a été généralisé : dans le bassin versant du Grand Morin, les superficies drainées ont augmenté de 50 % entre les RGA de 1979 et 1988, le réseau de drainage enterré occupant 35 % de la SAU de plus des deux tiers des communes du bassin en 1988 (PENVEN *et al.*, 1998a).

Légèrement incliné d'Est en Ouest (200 à 130 m d'altitude), le plateau présente une topographie plane aux pentes très faibles, majoritairement inférieures à 4-5 %. Seuls les

versants des vallées principales, fortement incisées dans le plateau, possèdent de fortes valeurs de pente.

Constitué d'une série sédimentaire tertiaire, le plateau de Brie a été recouvert au Quaternaire, par plusieurs nappes de loess. Ces dernières, le plus souvent pédogénisées voire remaniées, ont une épaisseur globale qui décroît progressivement de l'Ouest vers l'Est. Tandis qu'à l'échelle du bassin versant du Grand Morin, les sols sont plus diversifiés (PENVEN *et al.*, 1998b), sur le bassin du Vannetin dominant des sols bruns lessivés à hydromorphie temporaire, développés à partir des formations loessiques.

Sur les topographies planes et les versants d'une valeur de pente de 1 à 4 %, les sols bruns lessivés se caractérisent par un horizon Btg comportant 25 à 30 % d'argile ; ils se différencient par la texture de l'horizon Ap : limons légers dans les parties supérieures de la topographie et les sommets de versant, limons argileux sur les versants. En pied de versant, s'étendent des sols colluviaux de texture limoneuse. Enfin, le fond des vallons est tapissé de sols argileux d'origine mi-colluviale, mi-alluviale. La fraction argileuse est constituée de smectites (dominantes dans la fraction  $< 0,1 \mu\text{m}$ ), illites et kaolinite. Les conditions texturales expliquent l'installation de drains en PVC, implantés à 70/80 cm de profondeur avec un écartement de 10 m.

Sous un climat tempéré peu agressif (précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 678 mm), les sols du plateau connaissent surtout une érosion diffuse. Elle se produit sur des faibles pentes lors de certains événements pluvieux (longue période de pluie fine l'hiver ou fortes averses au printemps) et se manifeste par une redistribution des particules solides mobilisées à la surface des champs, dont une partie est évacuée vers les cours d'eau (SOGON, 1999). S'y ajoute l'exportation, vers les rivières, des particules de sol par les eaux de percolation dans les sols, via le réseau de drainage agricole. En année à pluviométrie normale, ce dernier fonctionne en continu entre la fin de l'automne ou le début de l'hiver et la fin de l'hiver ou le début de printemps (période de drainage intense, LESAFFRE et ZIMMER, 1987a et b ; ZIMMER 1990 et ZIMMER *et al.* 1991).

Trois stations de mesures (débit et qualité des eaux) ont été installées (PENVEN et MUXART, 1993) dans le bassin versant du Vannetin, tributaire du Grand Morin (figure 1). Leur localisation à l'exutoire d'unités spatiales emboîtées avait pour but la compréhension des transferts liquides et particuliers à différentes échelles. Deux stations se situent sur la rivière (*R-Leudon* : bassin de 4,6 km<sup>2</sup> et *l'Epauche* : 30,6 km<sup>2</sup>) ; la troisième (*D-Leudon*) est localisée à l'exutoire d'un collecteur de drainage agricole enterré d'une parcelle de 6,43 ha dont les eaux se déversent dans le Vannetin en amont de *R-Leudon*, équipée d'un pluviographe à auget (précision 0,2 mm). Lors des crues, 500 ml d'eau sont prélevées toutes les 45 minutes, afin de mesurer, après filtration à 0,45  $\mu\text{m}$ , les concentrations de Matières En Suspension (MES) et d'évaluer leurs flux à différents pas de temps (crue, train de crues, mois, année). Les mesures ont été effectuées de septembre 1991 à août 1995. Seuls les résultats de *D-Leudon* sont présentés ici.

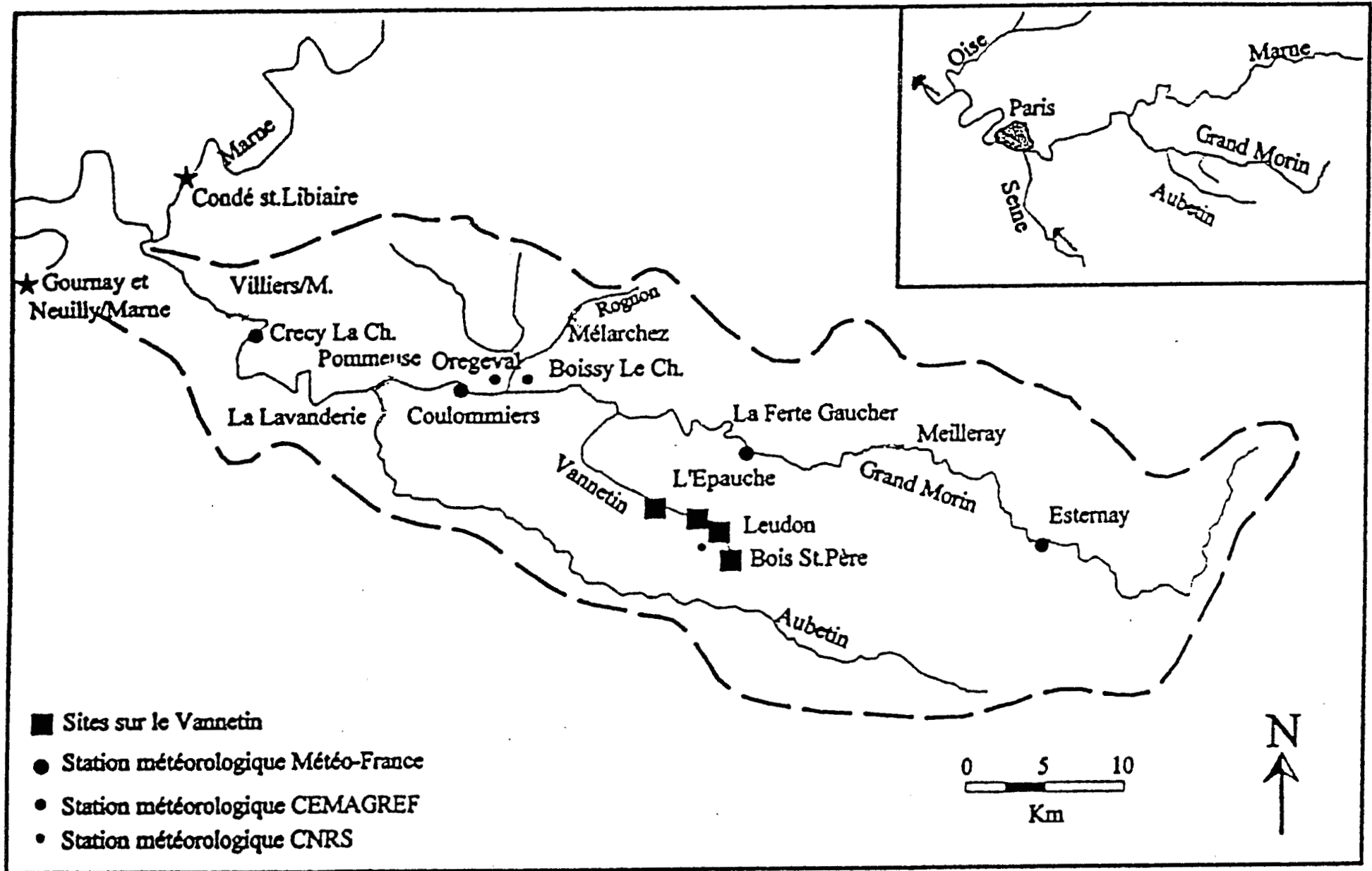


Figure 1. Le bassin versant du Grand Morin et la localisation des stations de mesure de la qualité de l'eau dans le bassin du Vannetin.

## 2. CONCENTRATIONS PARTICULAIRES ET TYPOLOGIE DES CRUES EXPORTATRICES DE MES

Le calcul des bilans d'exportation de MES effectués aux échelles inter- et intra-annuelles a montré (PENVEN et al., 1998c) de fortes valeurs et hétérogénéités (990 à 1500 kg par an pour une parcelle de 6,43 ha) lors de deux années particulièrement pluvieuses (1993-94, 815 mm ; 1994-95, 886 mm). L'analyse des variations des concentrations particulières maximales mesurées lors des crues indique des hétérogénéités tout aussi grandes durant cette période.

### 2.1. Une forte variabilité temporelle des concentrations particulières (tableau 1)

Tableau 1. Quelques débits et concentrations maximales de MES en 1993-94 et 1994-95.

Dates des crues	Débit maximum (l/sec)	Teneur maximum (*) en MES (mg/l)
14/10/93	3,4	34,5
	4,5	29
10/12/93	7,6	52,4
19/12/93	9,1	<b>359</b>
	8,7	106
02/01/94	11,2	<b>640</b>
04/01/94	7,2	<b>892</b>
05/01/94	10,3	<b>454</b>
	11,1	<b>467</b>
11/01/94	7,9	<b>746</b>
3/02/94	6,5	<b>396</b>
	8,9	<b>696</b>
21/03/94	5,6	222
04/04/94	7,5	<b>283</b>
18-20/11/1994	2,5	38,8
27-30/12/1994	10,8	95,8
	3,2	24,7
20-27/01/1995	18,3	<b>414,0</b>
	12,8	<b>182,0</b>
	10,6	<b>256,0</b>
2/02/1995	11,6	<b>261,0</b>
17-19/03/1995	5,36	72,0
	6,8	98,6
	12,1	97,2
24-25/04/1995	16,0	103,0

(\*) en caractères gras : valeurs supérieures à 250 mg/l

L'examen de quelques données obtenues pendant les deux années les plus humides (tableau 1) montre que les teneurs en MES sont faibles (< 80-90 mg/l) en début d'année hydrologique, fortes au c\_ur de l'hiver (pouvant atteindre 892 mg/l comme en 1994-1995), puis à nouveau plus faibles en fin d'hiver et/ou au printemps. Il apparaît par ailleurs que les concentrations de MES ne sont pas une fonction linéaire des débits dans les drains, tout comme dans les rivières où le fait est bien connu. À l'échelle d'un train de crues (exemple les crues des 20-27 janvier 1995, tableau 1), alors que les pointes de débits décroissent progressivement, les concentrations maximales en MES correspondantes ne connaissent pas une évolution parallèle ; ainsi, la valeur maximale de la teneur en MES du troisième pic de crue est supérieure à celle du second. Enfin d'une année à l'autre, les teneurs mesurées sont très différentes : elles sont nettement plus élevées en 1993-94 qu'en 1994-95 pour des précipitations et des débits de crues équivalents.

## 2.2. Typologie des crues exportatrices de MES

Le bilan hydrologique à l'échelle de la parcelle peut s'écrire sous la forme générale suivante :

$$P = ETP + Qd + Q_{ruiss} + Q_{rh} + F + \Delta R_u + \Delta R_h \quad (1)$$

où P représente les précipitations,  
 ETP, l'évapotranspiration,  
 Qd le débit du drain exprimé en lame d'eau écoulée,  
 Q<sub>ruiss</sub> la lame ruisselée à la surface de la parcelle,  
 Q<sub>rh</sub> la lame évacuée directement dans le ru par écoulement de la nappe temporaire de versant,  
 F les « fuites » vers les nappes plus profondes,  
 ΔR<sub>u</sub> et ΔR<sub>h</sub> les variations de stock respectivement de la réserve utile et de la réserve hydrologique.

Lorsque débute la période dite de drainage intense (écoulement continu du drain), on peut admettre que : Q<sub>ruiss</sub> est nul, Q<sub>rh</sub> et F sont faibles et sont fonction de R<sub>h</sub> (respectivement a(R<sub>h</sub>) et b(R<sub>h</sub>) et enfin que R<sub>u</sub> est reconstituée, égale à une constante C avec ΔR<sub>u</sub> nul.

L'équation (1) devient alors :

$$P - ETP - Qd = a(R_h) + b(R_h) + \Delta R_h = Y(R_h) \quad (2)$$

La variation du premier terme de l'équation (2) durant une période de temps Δt équivaut donc aux variations de la réserve hydrologique ΔR<sub>h</sub> et aux fuites et à Q<sub>h</sub> durant le temps Δt, tous deux fonction de R<sub>h</sub>.

A partir du corpus de données obtenu pendant les années pluvieuses 1993-1994 et 1994-1995, les concentrations maximales en MES lors de chaque crue ont été systématiquement mises en relation avec les précipitations cumulées (P cum), des « pluies utiles » (P - ETP cum), des variations de stock de R<sub>h</sub> (P - ETP - Qd cum) et de la lame d'eau écoulée par le drain (Qd cum). Les résultats sont rassemblés dans les figures 2A et 2B. Ils permettent d'affiner la typologie des crues proposée ci-dessus et d'avancer des hypothèses expliquant les variations des teneurs de MES observées selon les périodes de l'année.

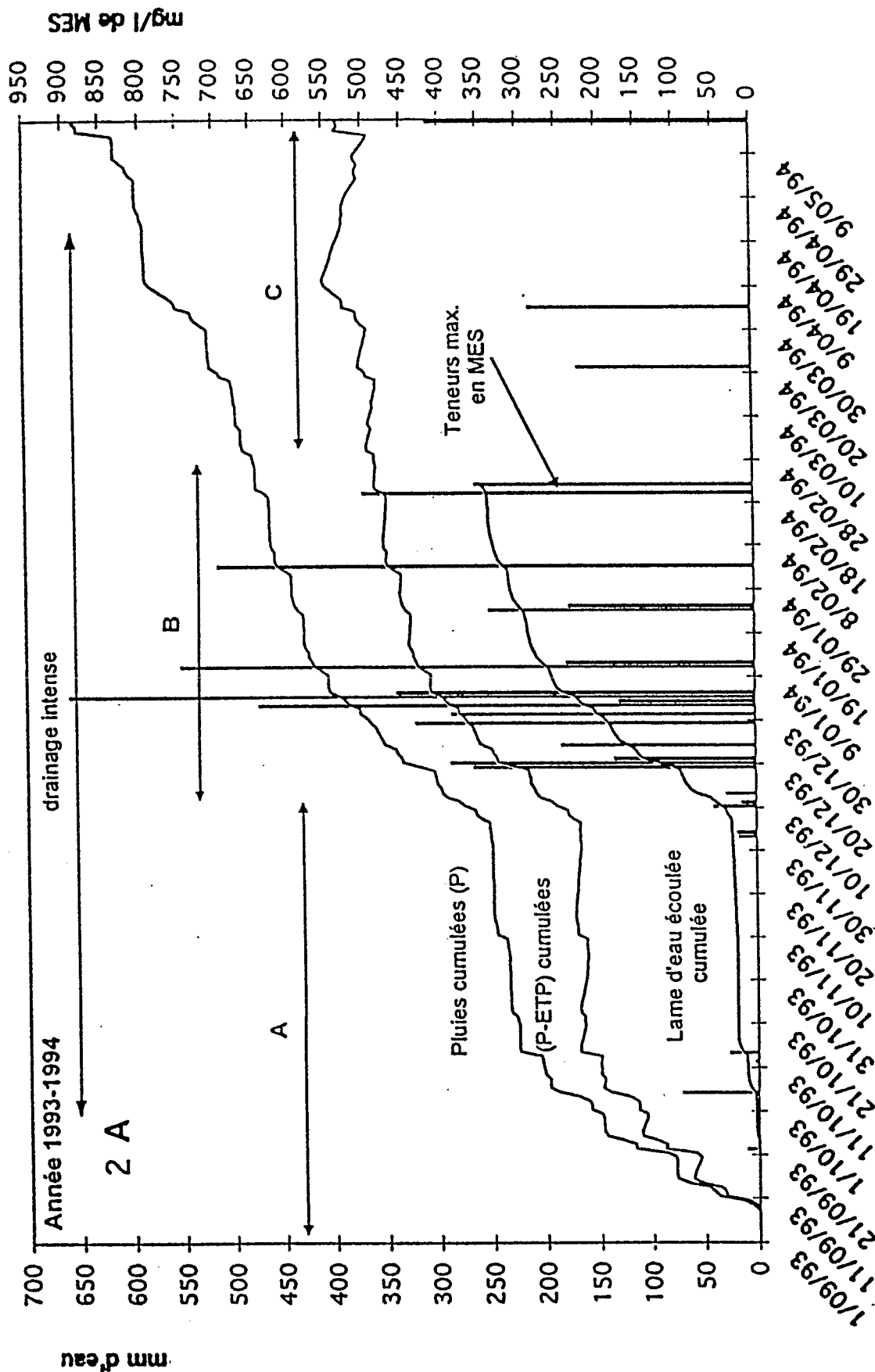


Figure 2A : Concentrations maximales en MES et courbes cumulées des précipitations (P), des bilans hydriques (P-ETP) et de la lame d'eau écoulée en 1993-1994.

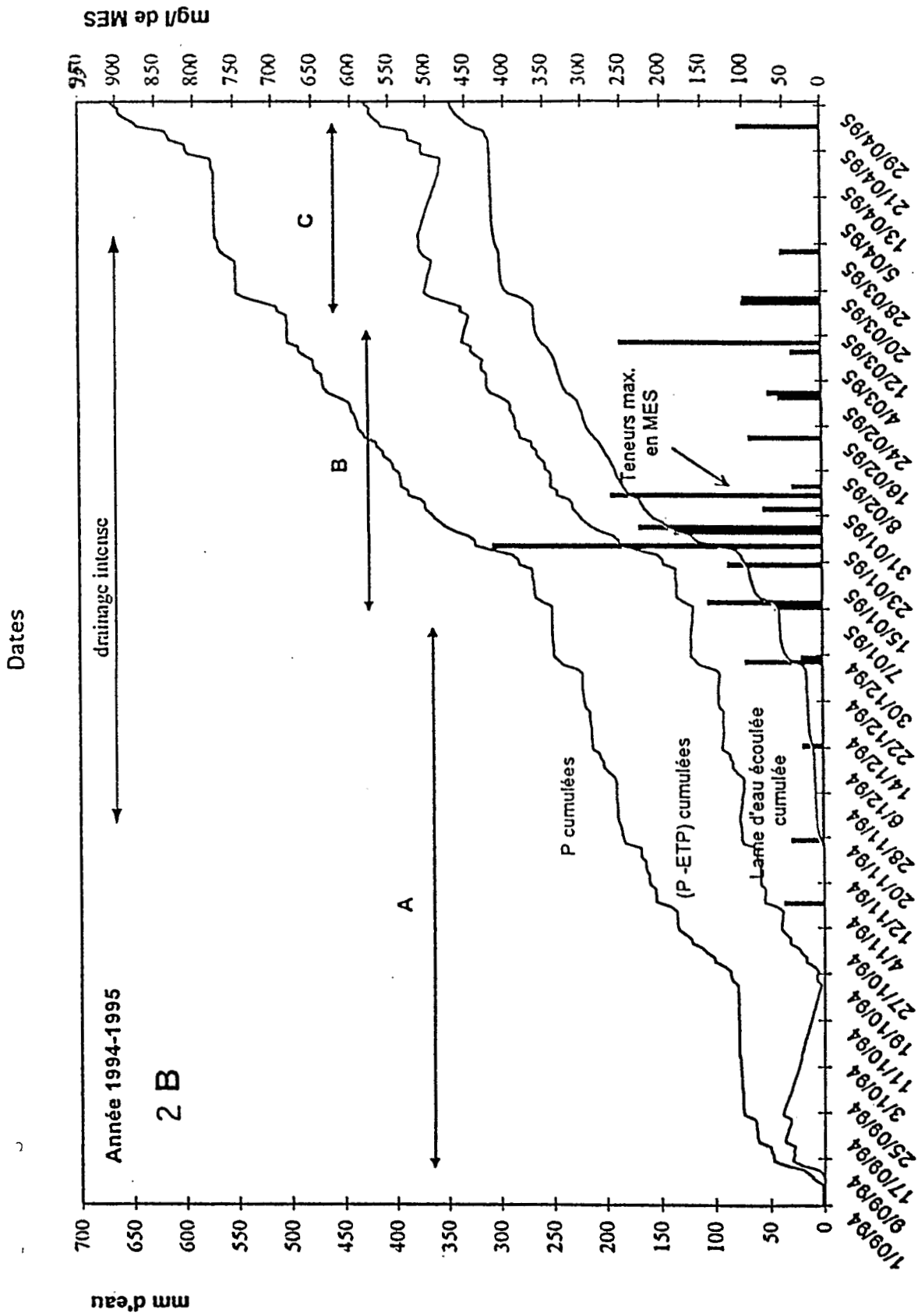
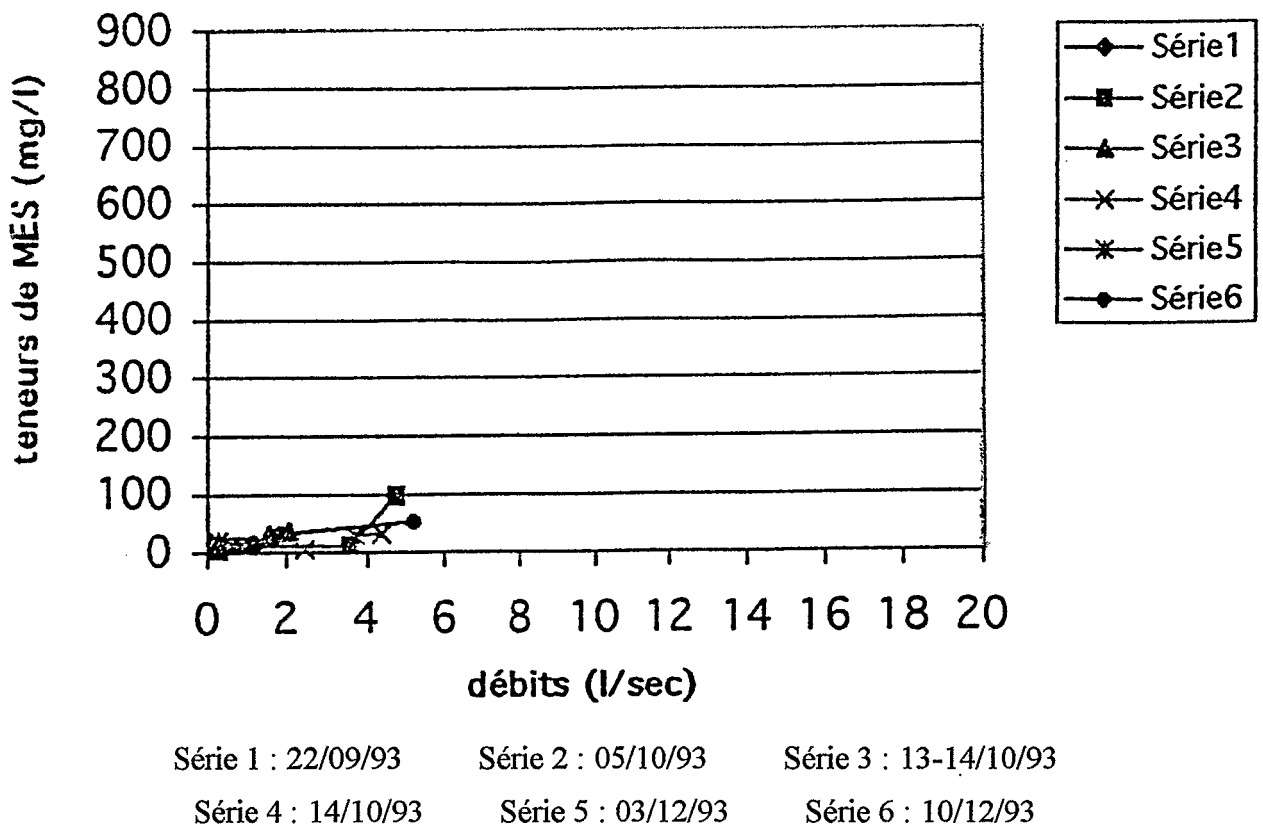


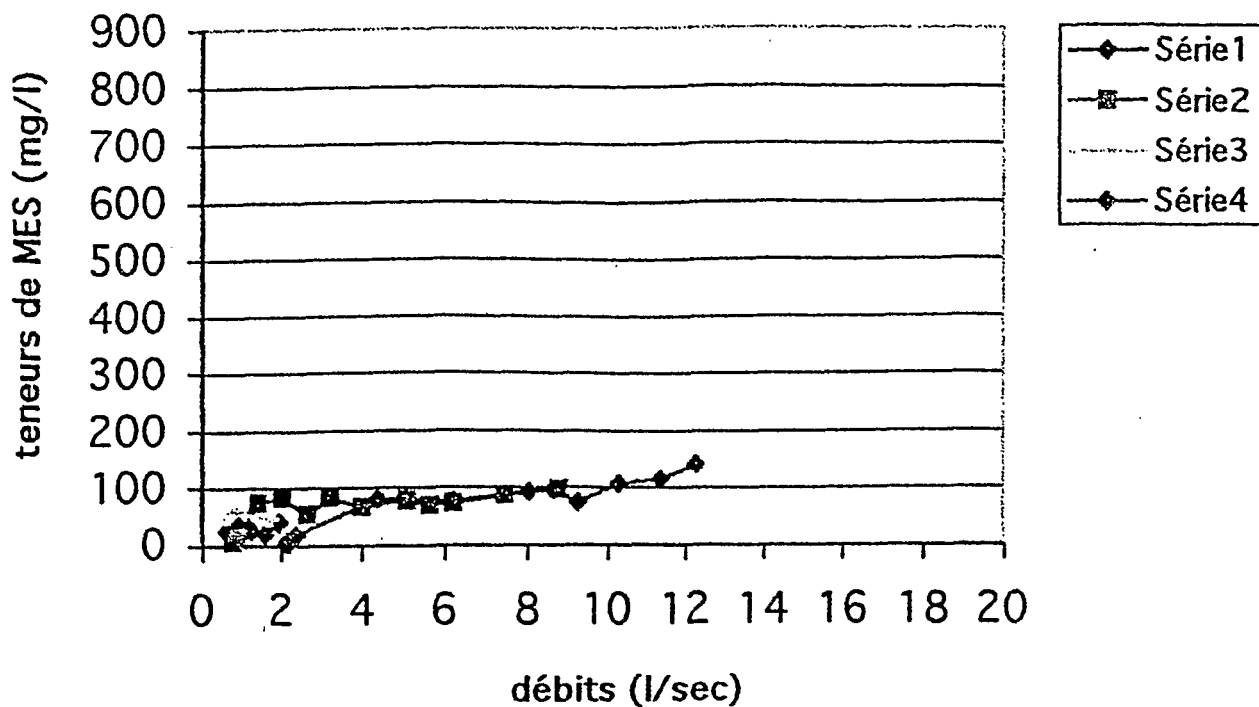
Figure 2B : Concentrations maximales en MES et courbes cumulées des précipitations (P), des bilans hydriques (P-ETP) et de la lame d'eau écoulée en 1994-1995.



Quelque soit l'année hydrologique considérée, le premier type (A) se caractérise par de très faibles teneurs en MES ( $\leq 100/150$  mg/l, le plus souvent  $< 80/90$  mg/l). Il correspond à la période des premiers écoulements, à caractère sporadique, puis à l'amorce d'un écoulement continu dans les drains (COSANDEY *et al.*, 1997). Durant cette période, la courbe des pluies utiles cumulées a une pente irrégulière, parfois négative, en liaison avec l'irrégularité des précipitations et l'occurrence de séquences plus ou moins longues sans pluie. Quant à la courbe (P-ETP-Qd cum), elle se détache évidemment de la précédente lorsque Qd cesse d'être nul. Il est à noter que l'écoulement continu du drain débute pour des valeurs de (P-ETP-Qd cum), i. e. de Z(Rh) et donc de Rh proches de 150 mm en 1993-1994 et de 80 mm en 1994-1995. Cette différence, a priori surprenante, s'explique probablement par un épuisement plus grand de Rh à la fin de l'été hydrologique 1992-1993 en raison de l'importance de la sécheresse d'août 1993 qui a seulement totalisé 9,2 mm de précipitations (contre 66,6 mm en août 1994). La durée des crues de type A dépend de l'importance et du rythme de distribution des pluies automnales et de début d'hiver qui contrôlent la reconstitution de la réserve utile puis du réservoir hydrologique des sols de la parcelle, la mise en lace de la nappe de versant puis et ainsi l'écoulement continu des drains. En 1993-1994, elle se prolonge jusqu'à la crue du 10 décembre 1993 inclus, alors qu'en 1994-1995 elle ne s'achève qu'avec la crue du 10-11 janvier 1995. L'examen de l'accroissement des concentrations particulières dans le drain jusqu'au pic de MES lors de la crue de type A (figures 3A et 3B) montre que celui-ci est relativement modéré par rapport aux variations de débits qui, elles, peuvent être fortes et dépasser 12 l./sec (crue du 10-11/01/1995).



**Figure 3 A : Crues de type A. Variations des teneurs particulières jusqu'au pic de MES dans le drain D-Leudon en fonction des débits pour l'année 1993-1994.**



Série 1 : 18-19/11/94

Série 2 : 27-28/12/94

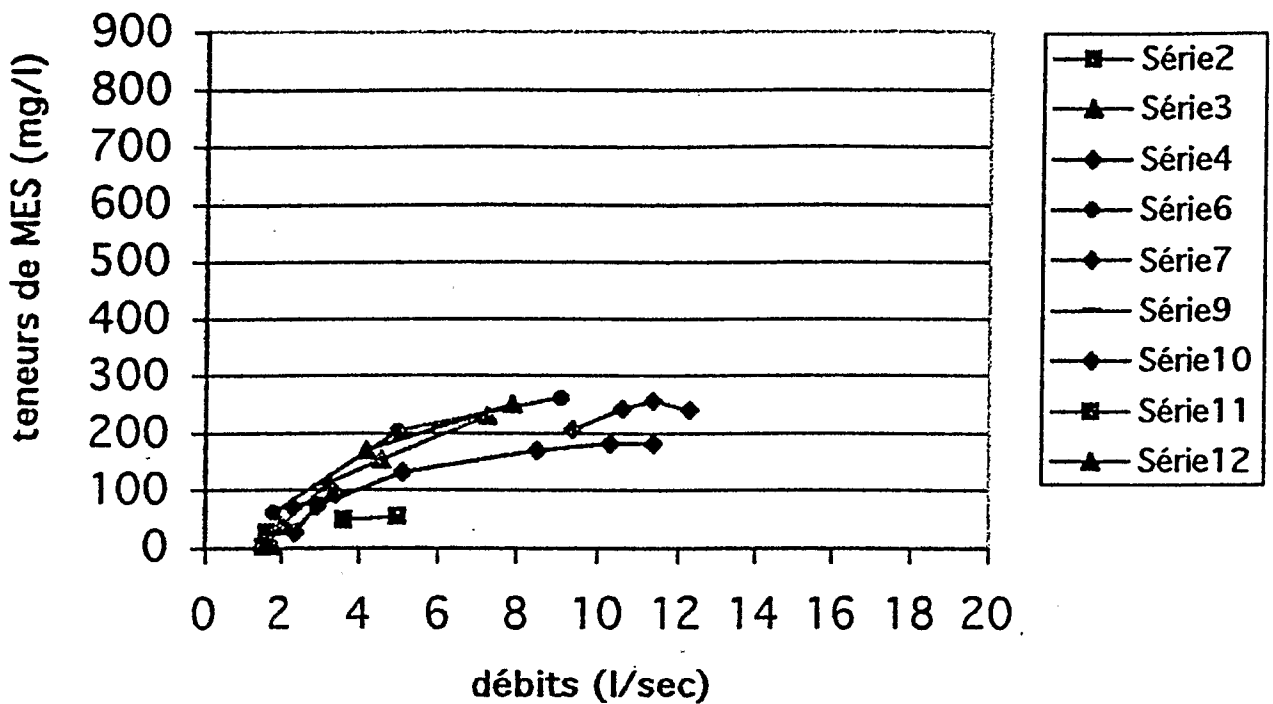
Série 3 : 08-09/01/95

Série 4 : 10-11/01/95

**Figure 3 B : Crues de type A. Variations des teneurs particulières jusqu'au pic de MES dans le drain D-Leudon en fonction des débits pour l'année 1994-1995.**

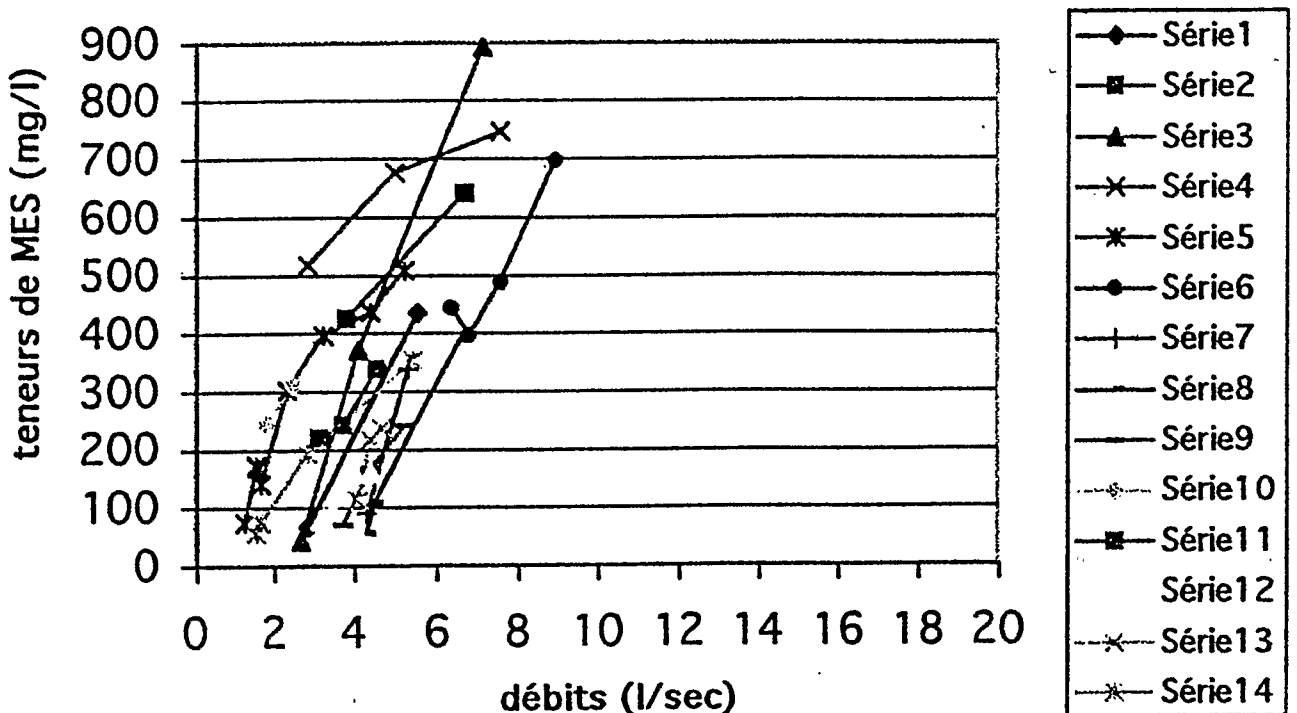
Le deuxième type (B) se définit par des crues dont les teneurs maximales en MES sont beaucoup plus élevées que les crues de type A (tableau 1, figures 2A et 2B). À la généralisation de ce type d'événement correspond un accroissement rapide des pentes des courbes représentant le total pluviométrique, les pluies utiles cumulées et la lame d'eau cumulée. La courbe (P-ETP-Qd cum) présente en revanche une pente légèrement négative, ce qui signifie que les sorties du système semblent l'emporter sur les entrées. Les événements de type B se développent au cours d'une période où les sols sont plus ou moins gorgés d'eau, les horizons superficiels pouvant être temporairement proches de la saturation, voire saturés lors des pluies. L'amplitude du battement de la nappe temporaire de versant, rabattue par le drainage, est donc particulièrement élevée. Cette phase se produit lorsque les pluies sont continues sans être forcément intenses (situations cycloniques d'hiver caractérisées par des ETP faibles). Le type B comporte en fait deux sous-types B 1 et B 2. Quelle que soit l'année considérée, ces derniers se différencient par le type de relation existant, lors d'une crue, entre l'accroissement des concentrations particulières jusqu'au pic de MES et les variations concomitantes de débits dans le drain (ex. des figures 4A et 4B) :

- dans le cas du sous-type B2 (ex. de l'année 1993-1994 ; figure 4B), les teneurs de MES croissent plus rapidement que ne le font les débits. Elles sont souvent très élevées au moment du pic de MES (généralement > à 450 mg/l, atteignant 892 mg/l lors de la crue du 04/01/94, alors que les débits de pointe ne dépassent pas 11 à 12 l/sec). Ce cas se rencontre durant une longue période en 1993-1994 (entre les crues du 29 décembre 1993 et du 22 février 1994) et au cours d'un train de 4 crues en 1994-1995 (du 18 au 26 janvier 1995 inclus avec un débit de pointe record de 18,2 l/sec le 22 janvier) ;



Série 2 : 21/1/95    Série 3 : 22/1/95    Série 4 : 25/1/95    Série 6 : 2/2/95    Série 7 : 22/01/95  
 Série 9 : 04/02/95    Série 10 : 04/02/95    Série 11 : 24/02/95    Série 12 : 08/03/95

Figure 4 A: Crues de type B1. Variations des teneurs particulières jusqu'au pic de MES dans le drain D-Leudon en fonction des débits.



Série 1 : 29/12/93    Série 2 : 02/01/94    Série 3 : 04/01/94    Série 4 : 11-12/01/94    Série 5 : 03/02/94  
 Série 6 : 03/02/94    Série 7 : 31/12/93    Série 8 : 31/12/93    Série 9 : 12/01/94    Série 10 : 24/01/94  
 Série 11 : 24/01/94    Série 12 : 25/01/94    Série 13 : 25/01/94    Série 14 : 22/02/94

Figure 4 B: Crues de type B2. Variations des teneurs particulières jusqu'au pic de MES dans le drain D-Leudon en fonction des débits.

- quant au sous-type B1, il rassemble des crues dont l'accroissement des teneurs de MES en fonction des débits est faible et intermédiaire entre les types A et B2 (ex. de l'année 1994-95 ; figure 4A). Les teneurs, lors du pic de MES, atteignent 300 à 350 mg/l, selon les années, alors que des débits de pointe peuvent égaler 13 l/sec). Il est à noter que la pente es courbes représentant les crues de type B1 est plus faible en 1994-95 qu'en 1993-94.

Enfin le type C (tableau 1 et figures 2A et 2B) correspond à des crues de fin d'hiver ou au début du printemps. Les valeurs des teneurs maximales en MES sont irrégulières. Elles sont plus faibles que pour le type B, mais plus fortes que pour le type A. La courbe des pluies utiles cumulées devient à nouveau plus irrégulière (précipitations discontinues et ETP plus fortes qu'en hiver). Cette troisième phase est caractérisée par des averses à caractère sporadique, parfois orageuses (fortes intensités), par un ressuyage plus ou moins profond des horizons superficiels des sols entre deux averses, par une dessiccation du sol en surface et enfin, par le rabattement plus ou moins rapide de la nappe de versant jusqu'à disparition de l'écoulement par le système de drainage.

### 3. DISCUSSION

L'examen des données obtenues à l'exutoire de D-Leudon témoigne de la réalité de de l'exportation des MES par le réseau de drainage agricole enterré, essentiellement lors es crues de la saison de drainage intense. Les résultats soulignent, de plus, la forte hétérogénéité temporelle (intra et inter-annuelle) de cette exportation (bilan et teneurs maximales), montrant ainsi que la réponse des horizons des sols à l'action des pluies est complexe.

Le drainage agricole enterré pose donc le problème de la mobilisation différenciée selon les périodes de l'année et selon les années des particules au sein des horizons du sol. En se fondant sur une analyse des variations concomitantes des teneurs des MES et des débits lors des montées de crue, la variabilité des réponses des horizons des sols aux pluies, via le drainage, a pu être ordonnées.

Ainsi, *en année humide*, trois type de rue se succèdent (A, B et C), l'un d'eux étant subdivisé en deux sous-types (B1 et B2). Chacune de ces quatre classes de crues est caractérisée par un mode d'accroissement des concentrations particulières en fonction des débits durant les montées de crue et une gamme des teneurs maximum atteintes lors du pic de MES. La durée relative de chaque classe dépend d'abord de l'abondance des précipitations et du rythme des séquences pluvieuses (entrées du système) :

➤ en début d'année hydrologique, les pluies servent à réhumecter le sol et à reconstituer la réserve utile puis la réserve hydrologique. La nappe temporaire de versant, dont l'importance est 'abord limitée (à la fois dans l'espace et en hauteur), finit par atteindre le niveau du réseau de drains, au moins dans la partie aval de la parcelle. Ces derniers, qui fonctionnaient de façon sporadique au moment des pluies, se mettent des pluies, se mettent alors à couler de façon continue. Durant cette période, la pente des courbes des teneurs de MES en fonction des débits est faible et les teneurs maximales de MES sont modestes (crues de type A ; teneurs le plus souvent < à 100 mg/l) ;

➤ au long de la saison froide (ETP faible), les pluies alimentent la nappe de versant. Celle-ci est rabattue rapidement par le réseau de drainage, tout en continuant d'être drainée naturellement, mais beaucoup plus lentement vers la rivière et vers les nappes plus profondes (sortie du système). Si les séquences pluvieuses sont espacées dans le temps, le réseau de drainage contribue de façon efficace au ressuyage des sols de la parcelle entre deux précipitations. Les crues de type B1 sont caractérisées par des pentes des courbes des

concentrations particulières en fonction des débits et des teneurs maximales de MES plus fortes que précédemment, ces dernières restant néanmoins toujours inférieures à 350-400 mg/l. En revanche, lorsque le rythme des séquences pluvieuses s'accélère, l'extension spatiale et/ou la hauteur de la nappe de versant deviennent plus grandes. Les sols restent alors plus ou moins gorgés d'eau entre deux pluies. Les pentes des courbes de MES en fonction des débits et les concentrations maximum lors du pic de ruissellement deviennent très élevées (crues de type B2 avec des teneurs > 350 mg/l allant jusqu'à 892 mg/l). L'occurrence des crues de type B2 est étroitement conditionnée par le rythme pluviométrique comme en témoignent les résultats des deux années humides étudiées (figures 2A et 2B) où les crues de ce type apparaissent lorsque la pente de la courbe des précipitations cumulées est la plus forte.

➤ enfin, lorsque se développent les averses de printemps, l'ETP devient plus importante et les sols sont ressuyés, voire desséchés en surface. Les teneurs maximales de MES lors des crues deviennent alors irrégulières, en liaison avec le total pluviométrique et la valeur de l'intensité des précipitations. Le taux de couverture du sol par la végétation (faible à nul sous les cultures de printemps ; moyen à fort sous les cultures d'hiver) intervient également sur le partage entre les eaux de ruissellement et d'infiltration. Le même type de situation peut se produire durant les violents rages d'été.

*En année « normale » ou sèche*, les crues de type B2, voire B1, peuvent manquer en particulier lorsque la répartition intra-annuelle des pluies n'est pas favorable (faibles précipitations et absence de pluies continues durant les saisons froides). Dans ce cas, les teneurs maximales de MES lors des crues ainsi que le bilan annuel d'exportation des particules par le réseau de drainage sont faibles (tableau 1).

L'analyse qui précède a souligné le rôle joué par l'abondance et le rythme des séquences pluvieuses, en particulier au moment où se produisent des abats d'eau importants (circulation cyclonique hivernale ou orages de printemps, voire d'été) sur l'évacuation des MES par les drains agricoles enterrés.

Les résultats ont également montré que de l'état hydrique du sol intervient fortement sur l'ampleur de cette exportation et de ce sous-tirage des particules du sol.

Un autre facteur semble jouer un rôle essentiel dans la production de MES : le temps d'humectation des particules du sol par l'eau qui permettrait, s'il est long, une meilleure dispersion des argiles présentes dans les sols, et notamment des smectites que l'on retrouve abondamment dans les MES exportées (MERCIER, 1998). Or, les chemins empruntés par l'eau au sein du sol sont complexes (microporosité / macroporosité). Par la nature de la porosité fonctionnelle empruntée, ils contrôlent de type d'eau restituée au drain et donc sa composition, tant chimique que particulière. Par ailleurs, lorsque le rythme des pluies s'accélère, l'air emprisonné dans la partie supérieure du sol ressuyée après une précipitation peut être comprimé par la « vague » d'infiltration de la pluie suivante. Il peut ainsi expulser vers le drain de l'eau plus « ancienne » (effet piston ; Horton et Hawkins, 1965), dont le temps de contact avec les particules du sol a pu être long. Ces différents facteurs affectent la nature de la porosité fonctionnelle dans le sol (macroporosité / microporosité) et donc les chemins empruntés par les eaux d'infiltration. Ces derniers conditionnent les temps de contact eau / sol et donc les capacités de dispersion au sein des horizons pédologiques.

Enfin, un dernier facteur semble avoir joué un rôle dans la différenciation des teneurs en MES lors des crues et des bilans d'exportation par le drain durant les deux années humides. Ce sont les pratiques culturales et leur calendrier en fonction de celui des précipitations automnales (BRUNSTEIN et al., 2000). En effet, la quantité d'eau infiltrée dans les parcelles culturales dépend pour une large part de la formation à la surface des champs de croûtes de

battance (structurale ou sédimentaire), sous l'action de l'impact des gouttes de pluie. Ces croûtes, plus ou moins épaisse, réduisent considérablement la perméabilité de la surface du sol et favorisent l'installation du ruissellement aux dépens de l'infiltration. Or la situation a été très différente pendant les deux années humides étudiées :

- en 1993-1994, les précipitations ont été très abondantes de la mi-septembre à la mi-octobre en Brie (figure 2A), gênant considérablement le travail du sol et la mise en place des cultures d'hiver. Les semis ont donc été tardifs par rapport au calendrier habituel et l'impact des gouttes de pluie sur les sols labourés et semés a été faible. De plus, les sols étant très humides, les traitements n'ont pas été réalisés, ce qui s'est traduit par l'absence de traces de roues dans les champs. Après la longue période sans pluie de novembre, les pluies n'ont repris que courant décembre en donnant naissance progressivement aux croûtes. Les conditions étaient donc réunies pour favoriser l'infiltration (impermeabilisation tardive du sol, pas de traces de roues) au détriment du ruissellement. L'extension spatiale de la nappe de versant a eu une durée particulièrement longue, sans que sa hauteur ait été forcément exceptionnelle (débit maximum de 14,4 l/sec, le 21 décembre 1993). Cette situation a permis l'occurrence de concentrations maximales de MES et d'un bilan annuel d'exportation particulière (1,54 t) particulièrement élevé ;
- en 1994-1995, ce phénomène ne s'est pas reproduit. La succession des pluies étant différente en début d'année hydrologique, les exploitants agricoles ont pu semer selon le calendrier agricole habituel. Après les faibles pluies de septembre qui ont permis la recharge de la réserve utile, les pluies n'ont repris qu'à la fin du mois d'octobre après les semis et les traitements (présence de traces de roues). Ces précipitations ont contribué à former progressivement les croûtes peu perméables tout au long des mois de novembre et décembre. A l'échelle des différentes parcelles du bassin versant du Vannetin, ces conditions ont favorisé le ruissellement, en particulier lors de l'épisode des trains de crues de fin janvier 1995, au dépens de l'infiltration, même si celle-ci a persisté lors de cet épisode (débit maximum du drain de 18,3 l/sec enregistré le 22 janvier 1995). Il en est résulté des teneurs maximales de MES lors des crues et un bilan annuel d'exportation des particules du sol par le drainage (0,99 t) plus faibles que l'année précédente.

#### 4. CONCLUSION

La sensibilité des sols limoneux à l'érosion agricole est bien connue. En effet, leur fragilité structurale assure la formation d'une croûte de battance sous l'effet des précipitations, même d'intensité modérée. Cette croûte associée à un état de saturation du sol favorise le ruissellement généralisé sur les parcelles cultivées et donc leur ablation. Sur le plateau de Brie, aux sols limono-argileux, BRUNSTEIN (1999) a montré que la formation de cette croûte se fait plus rapidement à la surface des sols les plus limoneux (interfluve des plateaux, colluvions de pied de versant) que sur les versants (sols tronqués plus argileux) ou les fonds de vallon (alluvions argileuses). A l'échelle du petit bassin du Vannetin, le secteur des versants joue un rôle important en étant capable de capter, en les infiltrant, les eaux de ruissellement en provenance des secteurs limoneux amont plus ruisselants. Si le ruissellement diffus sur de courtes distances et celui qui se forme le long des traces de roues sont largement répandus, le ruissellement généralisé en nappe sur les versants ou l'écoulement concentré sont plus rares. Ils restent néanmoins très efficaces d'un point de vue érosif lorsqu'ils se produisent. A cette érosion de surface, s'ajoutent les pertes en sol par le réseau de drainage agricole. En effet,

cette pratique tend à diminuer le ruissellement et donc l'érosion des sols, mais, *a contrario*, elle contribue à la charge en MES des cours d'eau qui collectent les eaux issues des drains. Ainsi elle participe activement à l'érosion insidieuse des sols et à leur appauvrissement en particules fines à moyen terme (PENVEN *et al.* 1998c). En effet, même si les flux spécifiques annuels évacués par le réseau de drainage sont relativement modestes (maximum de 0,24 t/ha/an en année humide), ces exportations sont chroniques. De plus, MERCIER (1998) a montré qu'il s'agit des particules les plus fines (particules  $< 0,2 \mu\text{m}$ ) et donc les plus réactives du sol d'un point de vue agronomique. En l'absence de réseau de drainage enterré, celles-ci étaient lessivées depuis l'horizon Ap pour s'accumuler au sein de l'horizon Btg. Désormais elles peuvent être évacuées hors du profil du sol, modifiant ainsi le processus naturel de la pédogenèse ainsi, qu'à terme, la conductivité hydraulique de cet horizon profond.

L'analyse des données de D-Leudon et les différentes considérations qui ont été développées ci-dessus ont permis de souligner les effets de la combinaison de certains facteurs naturels et anthropiques (abondance et rythmicité de la pluie, état hydrique du sol, chemins empruntés par les eaux d'infiltration, temps de contact eau / particules du sol, large ou faible extension de la croûte de battance, pratiques culturales) sur les rythmes de production et d'exportation de MES par le drainage agricole. Plusieurs types de situations ont été mises en évidence et quatre familles de crues ont pu être identifiées.

Les résultats obtenus en Brie rejoignent un certain nombre de ceux obtenus par OYGARDEN *et al.* (1997) en Norvège méridionale, à l'exutoire d'un drain agricole implanté dans des sols limono-argileux. Cependant les flux exportés mesurés par ces auteurs, sous labour et en années humides (environ 1 000 mm), sont nettement supérieurs (2,7 à 3 t/ha/an) à ceux mesurés sur le plateau Briard (0,13 à 0,25 t/ha/an). Cette différence pourrait être en partie liée à un réseau de drains plus dense en Norvège (espacement 4 m) qu'en Brie (10 m). Il en est de même des concentrations maximales qui peuvent atteindre chez ces auteurs 800 à 4000 mg/l. En revanche, contrairement à AWAN *et al.* (1987) qui affirment que les exportations cessent quelques années après l'installation du drainage par tassement et obturation de la porosité de la tranchée drainante, nous constatons un système encore actif 10 à 15 ans après son implantation.

Enfin, OYGARDEN *et al.* (1997) démontrent que le mode d'occupation (production plus faible sous prairie) et le type de travail du sol (labour ou non des parcelles cultivées) ainsi que le réseau fissural des horizons pédologiques ont un rôle essentiel dans les exportations de MES. Ils concluent au rôle de l'horizon Ap dans leur production. En effet, la porosité artificielle créée par le travail du sol permet une bonne pénétration des eaux de pluie et leur assure une bonne circulation dans cette porosité fissurale connectée à celle naturelle de l'horizon sous-jacent à celle de la tranchée drainante (colonne de sol remaniée à forte macroporosité). En Brie, un réseau fissural dense se développe dans l'horizon non affecté par le labour. Toutefois, la porosité semble y être plus fine, notamment dans l'horizon Ap, (modes culturaux différents ? rôle du gel/dégel et de la couverture neigeuse en Norvège ?), introduisant certainement des différences dans le cheminement de l'eau. Par ailleurs en Brie, l'utilisation du  $^{137}\text{Cs}$  a montré que les MES des eaux de drainage étaient particulièrement riches en cet isotope (particulièrement les smectites de la fraction  $< 0,2 \mu\text{m}$ , MERCIER, 1998) de même que l'horizon Ap, les horizons sous-jacents en étant dépourvus (SOGON, 1999 ; SOGON *et al.*, 1999). Ces données tendraient à démontrer également qu'une partie importante des particules mobilisées et exportées en Brie est prise en charge dans l'horizon Ap (SOGON, 1999).

## Références Bibliographiques

- AUZET A.V., 1987 - *L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture. Aspects agronomiques*. Ministère de l'environnement, Ministère de l'Agriculture, CERE-G-URA 95, CNRS, 60 p.
- AWAN M.S., PERRATON E., SINCLAIR L.R. et THOMPSON G.T., 1987 — Subsurface drainage system performance. Mardan. Scarp, Pakistan. *Proc. Third Int. Workshop on Land Drainage*. Ohio State University, Déc. 7 —11, F : 19 — 36.
- BOARDMAN J., FOSTER I.D.L. et DEARING J.A. (Ed), 1990 - *Soil erosion on agricultural land*, J. Wiley & Sons, Chichester, 687 p.
- BRUNSTEIN D., PENVEN M.-J. ET MUXART T., 2000. Modelling of soil crusting on crop fields of the Brie Plateau in relation to rainfall amounts. Implications of soil surface sealing development on suspended loads in rivers. III International Congress of the E.S.S.C. Man and Soil at the Third Millenium. 28 mars-1<sup>er</sup> avril 200, Valencia, Espagne (à paraître dans les actes du Congrès).
- COSANDEY C., MUXART T. et PENVEN M.-J., 1997. Rôle du drainage dans les écoulements de crue : un exemple en région de grande culture (site de Leudon-en-Brie). *Bull. du GFHN*, 39-40 : 43 - 48.
- DE PLOEY J., 1990. La conservation des sols. Supp. Agronomie, *La Recherche*, 227 : 38-41.
- DE PLOEY J., 1991. Soil erosion, soil degradation and climatic change. In *Land Use Changes in Europe*, 275-292. The Geojournal Library. Kluwer Acad. Publ. Netherland, 528 p.
- HORTON J. H. et HAWKINS R. H., 1965. Flow path of rain from the soil surface to the water table. *Soil SC.*, 100 : 377-383.
- KIRKBY M.J. et MORGAN R.P.C. (Ed), 1980. *Soil Erosion*, J. Wiley & Sons, Chichester, 312 p.
- LE BISSONNAIS Y., MONTIER C., DAROUSSIN J. et KING D., 1998. Cartographie de l'aléa érosion des sols en France. IFEN, Collection Etudes et travaux, N° 18, 63 p. + CD rom.
- LE BISSONNAIS Y., 1999. *L'érosion hydrique des sols cultivés. Mécanismes, déterminisme et spatialisation*. Thèse HDR. Université d'Orléans, 62 p. + sélection de publications.
- LESAFFRE B. et ZIMMER D., 1987a. Régime hydrique d'un sol drainé. Débits de pointe et tarissements. *Science du Sol*, vol. 25, 4 : 231 - 246.
- LESAFFRE B. et ZIMMER D., 1987b. Modélisation du comportement hydraulique d'un sol drainé : comparaison des phases débit de pointe et tarissement. *Science du Sol*, vol. 25, 4 : 217 - 229.
- MERCIER P., 1998. *Contribution méthodologique à l'étude des matières en suspension. Application au transfert particulaire en sol drainé*. Thèse ENGREF, Paris, 173 p.
- OYGARDEN L., KVAERNER J. et JENSSEN P.D., 1997. Soil erosion via preferential flow to drainage systems in clay soils. *Geoderma*, 76 : 65 - 86.
- PENVEN M.-J. et MUXART T., 1993 - Assesment of soil losses in Brie (France) : measuring suspended loads in rivers with a graduated monitoring network. In *Farm Land Erosion in Temperate Plains Environment and Hills*, S. Wicherek (Ed) : 207-220.



- PENVEN M.J, MUXART T., GUERRINI M-C., JANNOT Ph., BRUNSTEIN D. et MUSSOT R., 1998a. Un bassin versant rural et ses pratiques : le Grand Morin. ch. 3 : 127-157. In *La Seine en son bassin. Fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé*, Meybeck et al (Ed), Elsevier, Paris, 749 p.
- PENVEN M-J., MONTIER C., BRUNSTEIN D., MUXART T. et SEBBAB H., 1998b. *Géochronique*, 65 : 18 et 37.
- PENVEN M.J, MUXART T., BARTOLI F., BONTE PH, BRUNSTEIN D., COSANDEY C., GOUY V., IRACE S., LEVIANDIER TH et SOGON S., 1998c. Petits bassins ruraux et pollutions diffuses ch. 4 : 159-210. In *La Seine en son bassin. Fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé*, Meybeck et al (Ed). Elsevier, Paris, 749 p.
- ROBERT M., 1996. *Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement*. Collection Sciences de l'environnement. Masson, Paris, 244 p.
- SOGON S., 1999. *Erosion des sols cultivés et transport des matières en suspension dans un bassin versant de Brie. Application des traceurs radioactifs naturels et magnétiques*. Thèse de l'Université Paris 1, 304 p.
- SOGON S., PENVEN M-J., BONTE Ph. et MUXART T., 1999. Estimation of soil loss and sediment yield using <sup>137</sup>Cs measurements and suspended sediment load on agricultural land, Brie Plateau, France. In : *Man and River Systems, Hydrobiologia 410*, 251-261.
- VERHEYE W.H., 1989. Le régime hydrique des sols d'Europe, basé sur des données pédologiques et climatologiques courantes. *Science du Sol*, vol. 27, 2 : 117 - 130
- VERHEYE W.H., 1990. Le régime hydrique des sols d'Europe, basé sur des données pédologiques et climatologiques courantes. 2 : application à la France. *Science du Sol*, vol. 29, 1 : 37 - 53.
- ZIMMER D., 1990. Profils tensiométriques et fonctionnement hydraulique des sols drainés à plancher imperméable peu profond ; essai de typologie. *Science du Sol*, vol. 28, 3 : 179 - 191.
- ZIMMER D., BOUZIGUES R., CHOSSAT J.-C., FAVROT J.-C. et GUIRESSE A.M., 1991. Importance et déterminisme des infiltrations profondes en luvisols-rédoxisols drainés. Incidence sur les modalités du drainage. *Science du Sol*, vol. 29, 4 : 321 - 337.

**RESEAU  
EROSION**



**Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION**

**Pour citer cet article / How to cite this article**

Penven, J. P.; Muxart, T.; Cosandey, C.; Andrieu, A. - Contribution du drainage agricole enterré à l'érosion des sols en région tempérée (Brie), pp. 128-144, Bulletin du RESEAU EROSION n° 20, 2000.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : [beep@ird.fr](mailto:beep@ird.fr)