

LES TRANSPORTS EN SUSPENSION ET EN SOLUTION DANS LA BURDINALE, AFFLUENT PRINCIPAL DE LA MEHAIGNE

C. Lamalle (*), F. Petit (*), G. Koch (**), C. Hurtgen (**), A. Pissart (*)

Mots clés : transports en solution, transports en suspension, Hesbaye, Belgique, Meuse.

Résumé

Les concentrations des matières minérales et organiques transportées en suspension et les teneurs en éléments en solution ont été mesurées d'octobre 1985 à janvier 1987 dans 323 échantillons d'eau prélevés à deux endroits dans une petite rivière de Belgique : la Burdinale. Celle-ci draine un bassin hydrographique de 28 km², dans une région limoneuse agricole située à la limite méridionale de la Hesbaye.

Les droites de régression établissant les relations entre les concentrations et les débits d'une part, et entre les débits solides et liquides d'autre part, ont été calculées en séparant les échantillons d'après le type de condition hydrologique rencontré au moment de leur prélèvement. Les débits enregistrés par deux limnigraphes ont permis, via l'équation des droites de régression, de calculer les transports totaux à chaque station pour l'année 1986. La quantité de matières évacuées par la rivière correspond à une érosion estimée à environ 0,1 mm.an⁻¹ sur tout le bassin hydrographique.

Les différences trouvées entre les deux sous-bassins étudiés ont été expliquées par leur topographie et leur affectation des sols.

Les valeurs obtenues dans ce travail sont les plus élevées de toutes celles trouvées pour les rivières étudiées par le Service de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire de l'Université de Liège. Elles ne peuvent cependant expliquer les charges très élevées trouvées dans la Meuse à Liège.

Abstract

Organic and mineral sediments transported in suspension and minerals in solution were measured from October 1985 until January 1987 in the Burdinale, a small river in Belgium. This river collects water from a 28 km² basin which is near the southern limit of the agricultural loess region.

Regressions between sediment concentration and water discharges and regressions between the total amount of transported sediments and water discharges were calculated separately for constant, increasing and decreasing discharges. The water discharges were continuously measured by two limnigraphs so it was possible to estimate through the regression the total transport for the year 1986 : a value of approximately 0.1 mm.year⁻¹ was obtained for the erosion of the whole basin.

Differences in sediment transport at two places, where the discharges were measured and the samples collected, are explained by changes in topography and in land uses.

The values obtained here are the highest that our laboratory has measured in the Meuse basin. However, these values are not high enough to explain the very high suspended sediment values recorded in the Meuse at Liège by G. LEMIN et al. (1987).

(*) Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire. Université de Liège. Place du 20 Août, 7, B - 4000 Liège (Belgique). **Téléchargé depuis / Downloaded from www.bsglg.be**

(**) Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire. Boeretang, 200, B - 2400 Mol (Belgique).

I. INTRODUCTION

Dans des travaux précédents, le Service de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire de l'Université de Liège et le Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire (C.E.N.-S.C.K.) de Mol ont étudié les transports en suspension et en solution dans trois rivières belges.

J.-F. CLOSE-LECOCQ (1981) compare, pour la Meuse à Liège, les transports en suspension et en solution qu'il a observés de décembre 1979 à mars 1981, aux résultats obtenus au même endroit par W. SPRING et E. PROST (1883), de novembre 1882 à novembre 1883. Il conclut que les transports en suspension dans la Meuse ont plus que triplé en un siècle. La charge en solution, quant à elle, ne montre pas de variation significative.

J.-F. CLOSE-LECOCQ *et al.* (1982) remarquent également que les transports solides actuels à Tailfer (sur la Meuse, en amont de Namur) sont bien moins importants qu'à Liège, et sont comparables à ceux observés par W. Spring et E. Prost à Liège il y a un siècle. Ils attribuent l'accroissement de charge observé à Liège à l'industrialisation du sillon Sambre et Meuse.

G. LEMIN *et al.* (1987), après avoir confirmé par de nouveaux prélèvements que la charge en suspension transportée par la Meuse à Liège s'est considérablement accrue au cours du dernier siècle, réfutent cependant l'hypothèse de J.-F. Close-Lecocq : l'effet de l'industrialisation est compensé par celui des dragages dans la Meuse et dans la Sambre. L'augmentation de la charge transportée en suspension par la Meuse - canalisée sur tout son cours entre Namur et Liège - est imputée au fait que le fleuve n'inonde plus sa plaine alluviale et n'y dépose plus actuellement de sédiments.

D'autre part, l'étude des charges en suspension dans des affluents de la Meuse a montré que l'érosion estimée à partir de la charge transportée était moindre dans le bassin de l'Ourthe à Liège (3600 km^2 , $27 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1} = 0,014 \text{ mm.an}^{-1}$) et celui de la Hoëgne à Theux (190 km^2 , $19 \text{ t.km}^2.\text{an}^{-1} = 0,010 \text{ mm.an}^{-1}$) que dans celui de la Meuse à Liège (16500 km^2 , $29 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1} = 0,015 \text{ mm.an}^{-1}$). Notons que tous ces chiffres sous-estiment les transports car une correction dont R. FERGUSON (1987) a montré la nécessité - et dont nous parlons plus loin - n'a pas été apportée.

Afin de comprendre cette différence, nous avons observé le comportement d'une rivière drainant un bassin versant réduit ($28,3 \text{ km}^2$), dans une région géographique autre, la Hesbaye. Ce bassin hydrographique se différencie des bassins de l'Ourthe et de la Hoëgne par sa topographie, sa géologie, sa pédologie et son affectation des sols.

En octobre 1985, deux limnigraphes ainsi que deux lames déversantes à paroi mince ont été installés sur la Burdinale à Lamontzée et à Marneffe. Des échantillons d'eau ont été prélevés à ces deux stations limnigraphiques. Les charges en suspension, les charges de matières organiques et les charges en solution ont été mesurées dans ces échantillons et mises en relation avec les valeurs des débits, comme elles l'ont été dans les travaux cités plus haut.

Cette étude nous a permis de mettre en évidence la perte de sol que subit le bassin versant de la Burdinale en ces deux endroits. Il a en outre été possible d'évaluer la contribution de la Burdinale dans la quantité de matières que transporte la Meuse.

II. CARACTERES DU BASSIN VERSANT DE LA BURDINALE

La Burdinale est l'affluent principal de la Meuse. La figure 1 A permet de la situer. Les caractères physiographiques des deux sous-bassins délimités par les stations limnigraphiques sont donnés dans le tableau 1.

La géologie du bassin versant est représentée sur la figure 1 B. Les roches primaires sont principalement des schistes, phyllades et psammites du Silurien, des roches rouges et du poudingue de Mazy du Givetien, des calcaires et de la dolomie du Frasnien. Le Crétacé est représenté par des dépôts de craie, de sable glauconifère, de marne et d'argile sénoniens. Ces formations meubles ont été recouvertes d'épaisses couches de sable fin micacé du Tongrien. Des amas de cailloux blancs affleurent (Onx). Toutefois des dépôts de limons éoliens quaternaires recouvrent la majeure partie des formations décrites qui n'affleurent que localement, principalement sur les pentes fortes.

Le bassin de la Burdinale est en majeure partie occupé par des terres cultivées (figure 1 C).

Tableau 1 : Caractères physiographiques des bassins versants

	Bassin à Lamontzée	Bassin à Marneffe
Superficie (en km ²)	7,2	26,0
Périmètre (en km)	13,5	23,8
Longueur du cours d'eau (en km)	4,8	9,2
Dénivellation (en m)	60,0	91,5
Indice de compacité (M. ROCHE, 1962)	1,42	1,31
Indice de pente (M. ROCHE, 1962)	0,101	0,093
Pente longitudinale moyenne de la rivière (en %)	1,20	1,02

III. LES PRELEVEMENTS D'EAU

A Lamontzée, station limnigraphique amont drainant un sous-bassin de la Burdinale de 7,2 km² (figure 1 A), 156 échantillons d'eau ont été prélevés manuellement, dans des bouteilles en matière plastique d'une contenance d'un litre et demi. A Marneffe, station limnigraphique aval drainant un bassin de 26 km² (figure 1 A), 167 échantillons d'eau ont été prélevés de façon similaire.

Dans un premier temps, du 17 octobre 1985 au 3 décembre 1985, les prélèvements d'eau aux deux endroits ont été quotidiens. Par la suite, jusqu'au 2 janvier 1987, ils ont été réduits à un ou deux échantillons par semaine lorsque les débits ne fluctuent que peu ou pas (figure 2).

IV. DETERMINATION DE LA CHARGE EN SUSPENSION, DE LA CHARGE ORGANIQUE ET DE LA CHARGE EN SOLUTION

A. La charge en suspension

Les matières en suspension ont été recueillies par filtration forcée des échantillons d'eau sur des filtres en microfibrilles de verre Whatman préalablement tarés, dont les pores ont un diamètre de 1,6 µm. Les filtres ont été repesés après séchage à 80° C pendant au moins 20 minutes.

Plusieurs tests ont été réalisés de façon à nous assurer que le processus de filtration donnait des résultats valables. Nous avons ainsi vérifié que les filtres en microfibrilles de verre n'absorbent pas l'humidité ambiante et que le passage d'eau distillée n'entraînait aucune variation du poids des filtres après séchage. D'autre part, des filtrats obtenus après un premier passage ont été soumis à un essai sur des filtres dont les mailles ont 0,7 µm de diamètre. Il

est apparu que le refus pouvait être considéré comme négligeable.

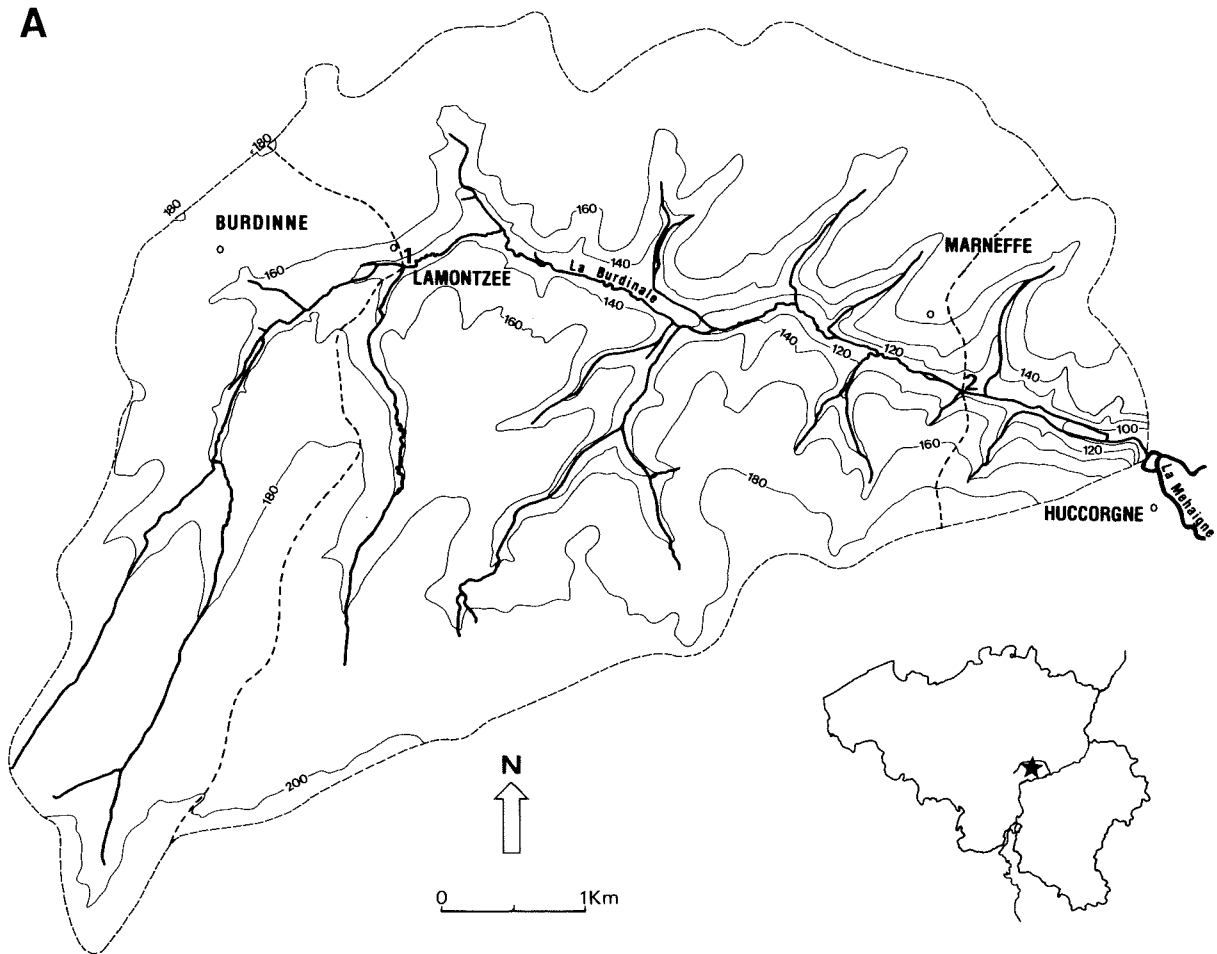
La filtration d'échantillons prélevés en différents endroits de sections transversales et à différentes profondeurs a montré que leur charge était représentative de la charge réelle, ceci pour l'une et l'autre stations. A Lamontzée et à Marneffe, le coefficient de variation de la charge en suspension d'échantillons prélevés dans une même section a toujours été inférieur à 8 %. Des échantillons prélevés en divers endroits sur la lame déversante ont donné des coefficients de variation moindres, ne dépassant pas 3 %. En conséquence, c'est toujours sur la lame déversante que les échantillons ont été recueillis.

B. Détermination des concentrations en matières organiques

La méthode de la perte au feu a été appliquée aux résidus solides de filtrations sous vide. Ce procédé permet de mesurer les quantités de matières volatiles ou oxydables (minérales ou organiques) présentes dans les échantillons. Après avoir effectué différents tests, les filtres ont été calcinés à 450°C pendant une heure. La perte de poids des filtres après ce traitement a été considérée comme la quantité de matières organiques. La température à laquelle les filtres ont été calcinés est en effet assez basse pour que peu de matières minérales aient réagi pendant ce laps de temps d'une heure.

Les filtres traités ont été choisis en fonction des saisons et des débits auxquels ont été prélevés les échantillons d'eau à Lamontzée et à Marneffe. Il existe en effet des variations dans les concentrations en matières organiques en relation aussi bien avec la saison et le développement de la couverture végétale, qu'avec le moment de la séquence hydrologique pendant lequel l'échantillon a été prélevé (crue - décrue - étiage).

A



B



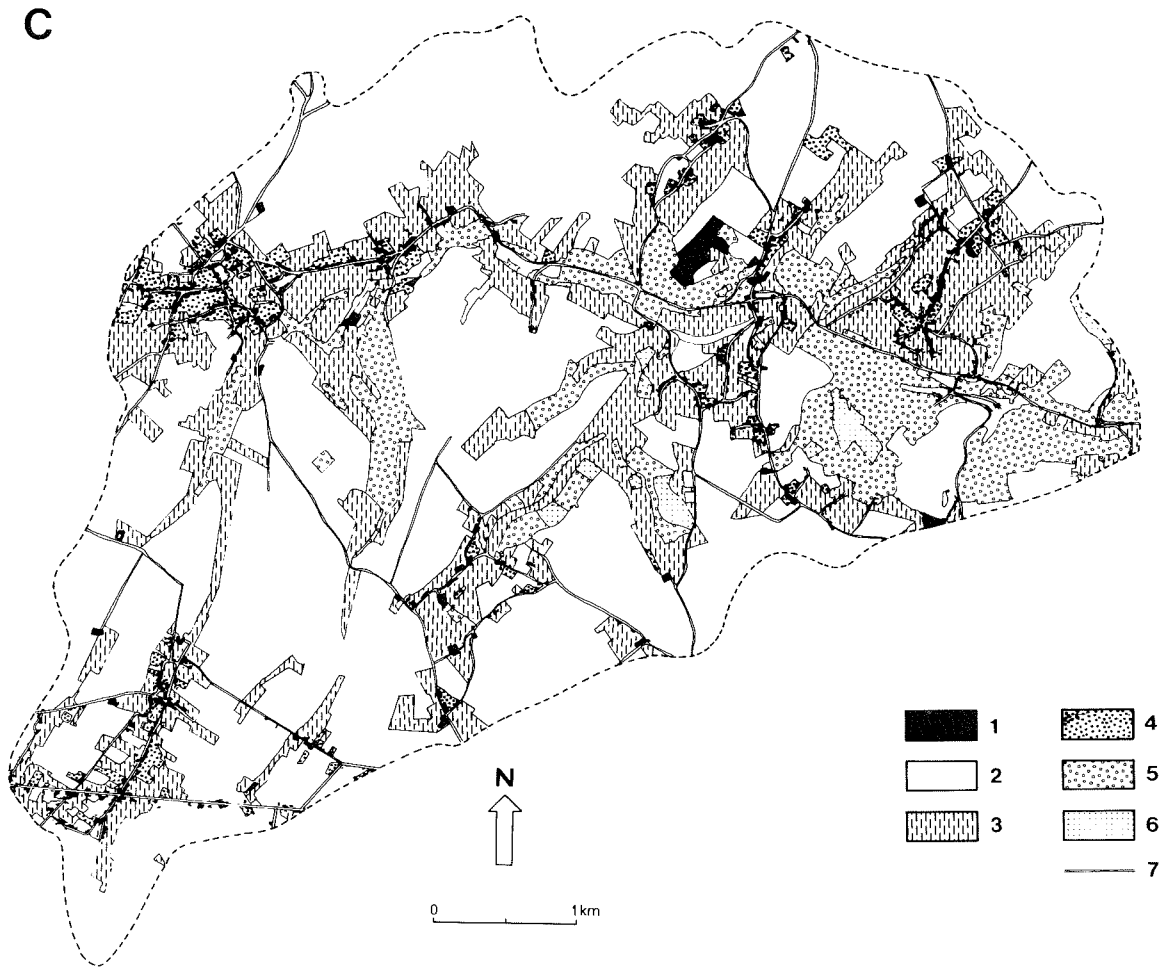


Figure 1 : A. Topographie du bassin versant de la Burdinale et localisation de la région étudiée en Belgique

1 station limnigraphique de Lamontzée, 2 station limnigraphique de Marneffe.

--- Limite des bassins hydrographiques.

B. Géologie et lithologie

1. Alluvions quaternaires.
2. Dépôts supérieurs continentaux oligocènes (Onx).
3. Sable fin micacé du Tongrien.
4. Craie du Sénonien.
5. Sable glauconifère, marne, grès, argile sénoniens.
6. Calcaires et dolomie du Frasnien.
7. Roches rouges et poudingue du Givetien.
8. Schistes, phyllades et psammites du Silurien.

C. Affectation des sols

1. Surfaces bâties.
2. Cultures.
3. Prairies.
4. Vergers.
5. Feuillus.
6. Conifères.
7. Routes et chemins principaux.

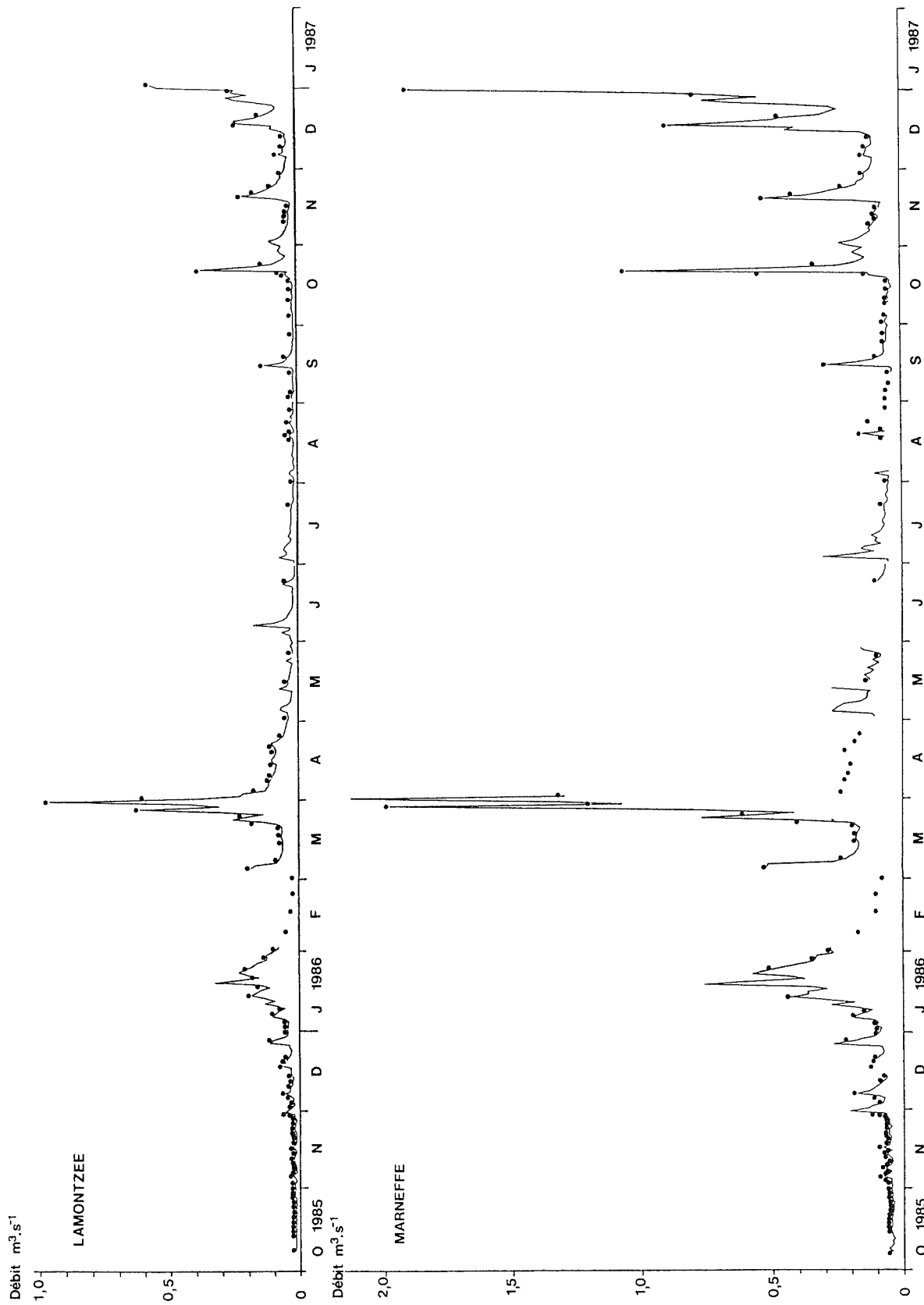


Figure 2 : Débits journaliers moyens de la Burdinale à Lamontzée et à Marneffe, D'octobre 1985 à janvier 1987.
 • date des prélèvements d'échantillons d'eau.

C. Les charges en solution

Des analyses chimiques ont été réalisées sur 38 échantillons d'eau après leur filtration sous vide. Ces analyses ont permis de déterminer notamment :

- le titre alcalimétrique complet (TAC) correspondant à la teneur totale de l'eau en hydroxydes, carbonates et bicarbonates alcalins et alcalino-terreux.
- la dureté totale, ou titre hydrotimétrique (TH) qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne. Cette valeur est obtenue par une méthode dite par complexométrie (méthode Merck). Elle prend en compte, outre les hydroxydes et carbonates, les sels d'autres acides (sulfates, chlorures, nitrates, ...).

V. LES RESULTATS

A. Les traitements statistiques

La concentration de sédiments en suspension ou de matières en solution a été exprimée en fonction du débit instantané de la Burdinale au moment où l'échantillon d'eau a été prélevé, par la relation :

$$C = d \cdot Q^a \quad (1)$$

C est la concentration en suspension ou en solution, exprimée en mg.l^{-1} ,

Q est le débit, en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$,

d et a sont des coefficients qui dépendent des propriétés du bassin versant envisagé.

Cette relation devient l'équation d'une droite de régression lorsque l'on exprime le logarithme des variables :

$$\begin{aligned} \log C &= a \log Q + b \\ b &= \log d \end{aligned} \quad (2)$$

Une relation similaire a été établie entre le logarithme du débit solide (égal à la concentration de matières multipliée par le débit) et le logarithme du débit :

$$\begin{aligned} T &= C \cdot Q \\ T &= d \cdot Q^{a+1} \quad \log T = (a+1) \log Q + b \end{aligned} \quad (3)$$

T est le débit solide, en g.s^{-1} .

Ces relations unissant la concentration et le débit permettent d'estimer la charge de la rivière pour des périodes où existent seulement des mesures du débit. Dans deux articles récents, M. JANSSON (1985) puis R. FERGUSON (1987) établissent que les calculs effectués de

la sorte sous-estiment la charge réelle de la rivière : la droite de régression (2) donne certes une estimation non biaisée du logarithme de la charge en suspension ou en solution, mais la charge correspondante (C') estimée à partir de l'équation:

$$C' = 10^b \cdot Q^a \quad (4)$$

est par contre entachée d'une erreur systématique. Une correction doit être apportée aux résultats des calculs effectués à partir de cette courbe suivant la formule :

$$T_{cr} = T \exp(2,651 s^2) \quad (5)$$

T_{cr} est la charge totale corrigée selon R. Ferguson, exprimée en g,

T est la charge totale calculée à partir de la droite de régression (3), exprimée également en g,

s est l'erreur standard d'estimée de la courbe (2).

Nous avons apporté cette correction aux résultats que nous présentons ici.

B. Les transports en suspension

Seuls les échantillons prélevés le même jour à Lamontzée et à Marneffe ont été considérés dans cet article.

Les concentrations de sédiments en suspension varient de moins de 10 à plus de 1000 mg.l^{-1} à Lamontzée et à plus de 2500 mg.l^{-1} à Marneffe.

Les valeurs maximales sont beaucoup plus élevées que celles observées par J.-F. CLOSE-LECOCQ (1981) et par G. LEMIN *et al.* (1987) lors des crues de la Meuse, de l'Ourthe et de la Hoëgne.

Les résultats des échantillons prélevés pendant la montée des eaux lors des crues ont été séparés de ceux prélevés lors des décrues. Les concentrations des échantillons recueillis lors de débits d'étiage ont fait l'objet d'un troisième groupe. Le nombre relativement élevé de prélèvements effectués nous a permis de réaliser ces subdivisions. Nous avons également comparé ce que donnait l'ensemble des échantillons prélevés à une même station, quel que soit le débit. Un traitement statistique identique a été réalisé pour les échantillons prélevés à Lamontzée et à Marneffe.

Le tableau 2 reprend l'équation des différentes droites de régression, le coefficient de corrélation correspondant trouvé entre les variables et le nombre d'échantillons à partir duquel chaque régression a été établie.

Tableau 2 : Relations entre le logarithme de la concentration en suspension (C) ou le logarithme du débit solide (T) et le logarithme du débit (Q) de la Burdinale à Lamontzée et à Marneffe. Coefficients de corrélation correspondants.

	$\log C = a \log Q + b$	$\log T = m \log Q + b$ considérés	Nombre d'échantillons
LAMONTZEE			
Crués	$y = 0,593 x + 2,826$ ($r = 0,60$)	$y = 1,593 x + 2,826$ ($r = 0,89$)	22
Décrués	$y = 0,821 x + 2,677$ ($r = 0,77$)	$y = 1,821 x + 2,676$ ($r = 0,94$)	16
Etiages	$y = 0,381 x + 1,640$ ($r = 0,33$)	$y = 1,381 x + 1,640$ ($r = 0,78$)	55
Tous débits	$y = 0,919 x + 2,693$ ($r = 0,66$)	$y = 1,919 x + 2,694$ ($r = 0,88$)	93
MARNEFFE			
Crués	$y = 1,002 x + 2,918$ ($r = 0,72$)	$y = 2,002 x + 2,918$ ($r = 0,90$)	22
Décrués	$y = 0,931 x + 2,607$ ($r = 0,80$)	$y = 1,931 x + 2,607$ ($r = 0,94$)	16
Etiages	$y = 1,013 x + 2,324$ ($r = 0,71$)	$y = 2,013 x + 2,323$ ($r = 0,90$)	55
Tous débits	$y = 1,271 x + 2,759$ ($r = 0,82$)	$y = 2,271 x + 2,760$ ($r = 0,93$)	93

Les coefficients de corrélation entre le logarithme de la charge et le logarithme du débit sont compris entre 0,60 et 0,82, excepté pour les échantillons classés dans les débits d'étiage ($r = 0,33$) à Lamontzée. Ce très mauvais coefficient de corrélation s'explique par le fait que les débits considérés comme "débits d'étiage" sont très peu différents les uns des autres et déterminent difficilement l'inclinaison de la droite de régression.

Il est normal que ces coefficients de corrélation soient améliorés - ils sont alors compris entre 0,78 et 0,94 - lorsque l'on étudie le logarithme des transports solides en fonction du logarithme des débits. La variable "débit" intervient en effet déjà dans le calcul du transport solide.

Ces droites de régression ont été regroupées sur la figure 3. Tant à Lamontzée qu'à Marneffe ces droites montrent un accroissement systématique de la charge en fonction du débit. Les droites de régression trouvées pour l'ensemble des données occupent une position intermédiaire. Leur coefficient angulaire est plus élevé.

Le transport total en suspension dans la Burdinale à Lamontzée et à Marneffe a été calculé comme suit. La série de débits enregistrés par chaque limnigraphe a été

scindée en trois classes : celle des débits journaliers de crues, celle des débits journaliers de décrues et enfin une classe de débits journaliers d'étiage. Chaque valeur du débit journalier de la Burdinale, via l'équation de la droite de régression (3) correspondant à sa classe - suivant que l'on est en période de crue, de décrue ou d'étiage - a permis de calculer le transport solide total.

Lorsque des résultats sont présentés dans cet article nous donnons systématiquement deux valeurs : les premières valeurs ont été corrigées par l'équation 5, proposée par R. Ferguson. Les secondes, non corrigées par l'équation 5, sont données entre parenthèses : elles permettent de comparer nos résultats à ceux publiés par de nombreux auteurs.

Les résultats suivants ont été obtenus.

à Lamontzée :

363 (266) tonnes de matériel
transportées en suspension en 61 jours de crues,
78 (50) tonnes transportées en 74
jours de décrues,
6 (4) tonnes transportées en 183
jours de débits d'étiage,

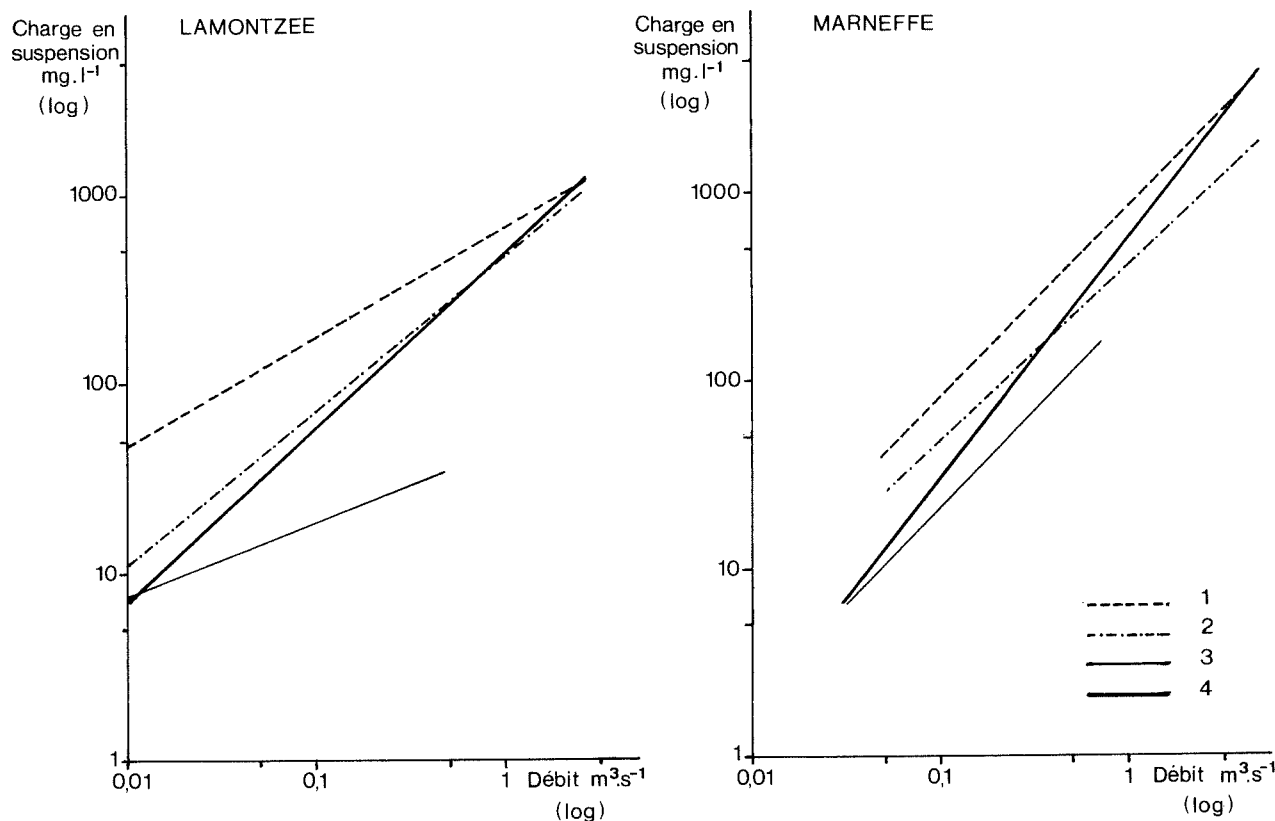


Figure 3 : Droites de régression entre le logarithme de la concentration en suspension et le logarithme du débit à Lamontzée (station amont) et à Marneffe (station aval), établies en fonction des différentes conditions hydrologiques observées au moment des prélèvements : 1 crues, 2 décrues, 3 étiages, 4 tous débits confondus.

soit un total de 447 (320) tonnes transportées en suspension en 318 jours.

A Marneffe :

2936 (1770) tonnes transportées en suspension en 61 jours de crues,

324 (220) tonnes transportées en 74 jours de décrues,

30 (25) tonnes transportées en 183 jours de débits d'étiage,

3290 (2015) tonnes de matériel au total auraient donc transité en suspension à la station aval en 318 jours, soit environ 10 tonnes par jour.

Ces chiffres montrent le fait bien connu que les matières transportées en suspension sont principalement évacuées au moment des crues.

L'estimation de la charge transportée d'après la seule équation globale (tous débits confondus) établie entre le logarithme du transport solide et le logarithme du débit

donne :

416 (229) tonnes évacuées en 318 jours à Lamontzée

2387 (1657) tonnes à Marneffe.

De nombreux ennuis au limnigraphe de Marneffe et le gel intense du mois de février 1986 ont fait que le nombre de jours pour lesquels nous avons simultanément une valeur du débit journalier de la Burdinale à Lamontzée et à Marneffe est seulement 318. En réalité, nous possédons 425 valeurs du débit journalier à Lamontzée et 329 à Marneffe. Afin de pouvoir comparer les transports aux deux stations, nous avons effectué nos calculs à partir des seuls débits communs.

C. Les transports de matières organiques

Les villages drainés par la Burdinale sont dépourvus de réseau d'égoûts. D'autre part, le bassin versant a une vocation agricole dominante (62 % de la superficie sont

occupés par des cultures). Il est dès lors intéressant de rectifier les valeurs obtenues pour le transport total en suspension en leur soustrayant la part du transport de matières organiques. L'érosion que subit le bassin versant de la Burdinale par le départ de matières minérales pourra ainsi être mieux estimée.

La charge organique en suspension varie entre 2 et 110 mg.l⁻¹ dans les échantillons prélevés à Lamontzée et entre 3 et 143 mg.l⁻¹ à Marneffe.

L'équation de la droite de régression unique établie à chaque station entre le logarithme du débit solide de matières organiques (T, en g.s⁻¹) et le logarithme du débit (Q, en m³.s⁻¹) et les coefficients de corrélation correspondants sont :

à Lamontzée :

$$\log T = 1,529 \log Q + 1,641 \quad (r = 0,93)$$

à Marneffe :

$$\log T = 1,783 \log Q + 1,635 \quad (r = 0,95)$$

L'estimation du transport de matières organiques en suspension d'après ces équations donne 48 (33) tonnes évacuées en 318 jours à Lamontzée et 189 (130) tonnes évacuées en 318 jours à Marneffe, soit de l'ordre d'une demi-tonne par jour. Ces valeurs représentent respectivement 11 % (à Lamontzée) et 6 % (à Marneffe) de la charge totale ayant transité en suspension aux deux stations pendant le même laps de temps.

D. Les transports en solution

Le TH est toujours supérieur au TAC, tant à Lamontzée qu'à Marneffe. Il existe donc une dureté permanente dans les eaux de la Burdinale aux deux points de prélèvements étudiés, quels que soient la saison et le débit observé.

L'équation des droites de régression obtenues entre le logarithme du transport en solution et le logarithme du débit sont

à Lamontzée :

$$\begin{aligned} \log T_{TAC} &= 0,757 \log Q + 1,635 \quad (r = 0,96) \\ \log T_{TH} &= 0,774 \log Q + 2,211 \quad (r = 0,96) \end{aligned}$$

à Marneffe :

$$\begin{aligned} \log T_{TAC} &= 0,714 \log Q + 1,989 \quad (r = 0,87) \\ \log T_{TH} &= 0,706 \log Q + 2,234 \quad (r = 0,92) \end{aligned}$$

Leur application à la série de débits journaliers enregistrés à Lamontzée donne 309 (303) tonnes d'hydroxydes, carbonates, bicarbonates alcalins et alcalino-terreux (TAC) et 520 (508) tonnes transportées dans la dureté totale (TH) en 318 jours. A Marneffe, pendant le même laps de temps, 753 (731) tonnes auraient été transportées d'après le TAC et 1320 (1298) tonnes transportées d'après la dureté totale.

Une analyse hydrologique du régime de la Burdinale et la comparaison avec celui de la Meuse pour laquelle existe une plus longue série de mesures des débits, a montré que la période d'observations dont il est question ici a été une période d'écoulement important de la rivière par rapport à celui d'autres années.

VI. COMMENTAIRES

Nous avons extrapolé à 365 jours les résultats obtenus en 318 jours pour pouvoir les comparer à ceux trouvés par différents auteurs pour d'autres bassins versants, et qui sont généralement estimés en un an. Les débits à partir desquels les transports totaux en suspension et en solution ont été estimés sont répartis sur toute la période de quinze mois qu'a duré cette étude. Ils représentent bien les différentes conditions hydrologiques rencontrées au cours des saisons. Il est donc licite d'admettre qu'en bonne approximation la transformation arithmétique des résultats soit représentative des phénomènes se produisant dans la Burdinale.

Nous obtenons ainsi les valeurs suivantes pour une année correspondant à peu près à 1986.

Tableau 3 : Estimation des différents transports de la Burdinale en 1986.

	LAMONTZEE (station amont)				MARNEFFE (station aval)			
	tonnes		t.km ² .an ⁻¹		tonnes		t.km ² .an ⁻¹	
Transport total en suspension	513	(367)	73	(52)	3776	(2312)	145	(89)
Transport organique	55	(38)	7,9	(5,4)	217	(149)	8,3	(5,7)
Transport en solution	952	(931)	136	(133)	2379	(2329)	92	(90)

A Marneffe, la charge totale en suspension et, dans une moindre mesure, la charge de matières organiques exprimées en $t.km^2.an^{-1}$ sont plus élevées que les charges équivalentes à Lamontzée. La topographie et l'affectation des sols des deux sous-bassins de la Burdinale paraissent expliquer cette situation. La carte topographique reproduite sur la figure 1 A montre en effet que les pentes du bassin à Lamontzée sont beaucoup plus faibles que les pentes du bassin à Marneffe. Les sédiments produits sur les versants agricoles sont de ce fait emportés plus aisément par la Burdinale dans le bassin de Marneffe que dans le bassin de Lamontzée. La carte de l'affectation des sols (figure 1 C) nous montre encore la répartition de l'habitat, source importante de matières organiques autres que celles produites directement par la végétation. Le bassin de la Burdinale à Lamontzée reçoit en effet les eaux usées des habitations des villages de Waret-l'Evêque, de Burdinne et d'une partie des maisons du village de Lamontzée. Ces villages sont dépourvus d'égoûts. Les fermiers vidangent également régulièrement leurs cuves à purin directement dans la Burdinale. Signalons ici que l'Institut National de Statistique recense 2564 bovins dans la commune de Burdinne. Le bassin de la Burdinale à Marneffe draine en plus les eaux usées des maisons des villages d'Oteppe et de Marneffe. Un centre de vacances et un centre pénitentiaire importants y accueillent de nombreuses personnes. Ces deux collectivités influencent également les charges organiques en suspension observées à la station aval.

Les proportions de matières organiques vis-à-vis de la quantité totale de matières recueillies en suspension sont plus élevées pour les échantillons prélevés pendant les faibles débits que pendant les débits de crues, cela aux deux stations. Ce fait est expliqué par une érosion moindre du bassin versant et des berges de la rivière en période d'étiage ou de débits stationnaires. Les matières minérales sont minoritaires dans les échantillons prélevés pendant ces périodes. L'inverse se produirait en périodes de crues : érosion importante du bassin versant et matières organiques minoritaires dans les échantillons prélevés. Le débit solide des matières organiques est toutefois plus élevé pendant les périodes de crues que pendant celles de débits stables.

Les roches carbonatées sont proportionnellement plus représentées dans le bassin versant de la Burdinale à Lamontzée qu'à Marneffe (figure 1 B). D'autre part, la vallée étant plus encaissée à l'aval, les précipitations tombant sur ce bassin s'y écoulent plus rapidement. A Lamontzée, l'eau s'infiltré dans le sol et reste plus longtemps en contact avec les roches carbonatées. L'ensemble de ces facteurs permet une dissolution des roches carbonatées et une concentration en solution plus élevées dans la tête du bassin hydrographique qu'à Marneffe.

Cette comparaison des transports en suspension et en solution en deux sites proches de la Burdinale montre vraiment bien l'influence des caractères physiographiques propres de chacun des deux sous-bassins versants. Les précipitations sont en effet comparables aux deux stations.

L'érosion provoquée en 1986 par le départ des matières minérales peut être obtenue en soustrayant la charge de matières organiques de la charge totale en suspension et en ajoutant au résultat la charge en solution. En admettant conventionnellement une densité de 2, les volumes obtenus exprimés en m^3 emportés en 1986 et correspondant à une pellicule uniformément répartie sur tout le bassin sont donnés dans le tableau 4.

Ces valeurs sont élevées par rapport à celles que donnent d'autres auteurs. Par exemple, J.-F. CLOSE-LECOCQ (1981) trouve la valeur de $0,054 mm.an^{-1}$ pour le bassin de la Meuse à Liège. De plus, il obtient ce résultat sans déduire la charge organique, non mesurée.

Les valeurs considérables des charges en suspension observées dans la Burdinale résultent certes du fait que la correction de R. Ferguson a été appliquée. Si nous retenons les valeurs non corrigées afin de permettre la comparaison avec d'autres études effectuées en Belgique, elles restent néanmoins très élevées.

Ceci semble tout d'abord lié à l'affectation du sol. En effet, dans un petit bassin d'une superficie de $4,3 km^2$, couvert

Tableau 4 : Transport de matières minérales : volume exprimé en m^3 par an et érosion exprimée en mm par an.

	LAMONTZEE		MARNEFFE	
	volume	érosion	volume	érosion
Charge minérale en suspension	229 (165)	0,033 (0,024)	1780 (1082)	0,068 (0,042)
Charge en solution	476 (467)	0,068 (0,067)	1190 (1165)	0,046 (0,045)
Charge minérale totale	705 (632)	0,101 (0,091)	2970 (2247)	0,114 (0,087)

en majeure partie de forêts (le ruisseau du Fond de Wavelinse, affluent du Hoyoux), C. DAVE (1974) a suivi la progression d'un delta s'édifiant dans un étang situé à l'exutoire du bassin. Elle a pu ainsi estimer le débit solide: $6,1 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$, déduction faite des apports liés à la charge de fond, estimée par ailleurs grâce à des pièges à sédiments. Cette valeur représente moins du cinquième de ce qui a été mesuré dans la Burdinale à Lamontzée, alors que les pentes du bassin y sont au moins aussi fortes et qu'il y existe également une couverture de loess, discontinuée il est vrai. Ces résultats concordent assez bien avec les valeurs obtenues par l'un d'entre nous dans un bassin entièrement boisé ($16,1 \text{ km}^2$) du sud de l'Ardenne (moins de $5 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$) (F. PETIT, 1985).

Toutefois, dans une étude effectuée sur la Mehaigne supérieure ($20,4 \text{ km}^2$), dans des conditions d'affectation du sol assez semblables à celles du bassin de la Burdinale, L. SINE et J.-P. AGNEESSENS (1978) ont trouvé que la quantité de matériel évacué en suspension représentait seulement $10 \text{ t.km}^{-2}.\text{an}^{-1}$. Deux éléments justifient de tels écarts. Tout d'abord les pentes du bassin de la Mehaigne supérieure sont nettement moins marquées que celles du bassin de la Burdinale. Ensuite, ces mesures ont été effectuées entre 1973 et 1977, c'est-à-dire, comme le soulignent d'ailleurs ces auteurs, au cours d'une période caractérisée par une sécheresse excessive et par une absence quasi totale de débits de crues importants, moments où, comme nous l'avons vu, les concentrations sont les plus élevées et où l'essentiel du matériel est évacué.

Notre étude indique que l'érosion d'un bassin à vocation agricole, caractérisé par une couverture limoneuse importante et des pentes fortes est donc importante ($0,07 \text{ mm.an}^{-1}$). Toutefois, lorsque l'on met cette valeur en relation avec les études faites par A. BOLLINNE (1978) dans des cuvettes fermées près de Gembloux, c'est-à-dire pour des sols et des modes de culture analogues à ceux du bassin de la Burdinale, on remarque que le coefficient de dénudation ne rend compte que de façon très partielle de l'érosion. Il est certes impossible de résumer en quelques lignes la somme de résultats obtenus par A. Bollinne durant plus de dix ans d'expériences, mais des valeurs moyennes de l'ordre de 1 mm.an^{-1} peuvent néanmoins être retenues. Il se confirme donc que la plus grande partie du matériel érodé sur les versants s'accumule au pied de ceux-ci et contribue principalement à colmater le fond des vallons secs. Ceci rejoint les observations faites par C. Planq (in P. MACAR, 1974) qui avait estimé que la quantité de sédiments qui s'accumulent sous forme de colluvions correspondrait, si elle était répartie sur toute la surface avoisinante, à une couche moyenne enlevée de $0,5 \text{ mm.an}^{-1}$

Toutefois, dans le cas de la Burdinale, le rapport entre la quantité exportée du bassin et la quantité érodée sur les versants représenterait moins de 10 %, rapport comparable à celui généralement obtenu sous climat tempéré (W. GRAF, 1988).

VII. CONCLUSION

Il est intéressant de comparer les résultats obtenus dans cette étude avec d'autres données recueillies dans le bassin de la Meuse. Cette comparaison portera uniquement sur les transports en suspension.

G. LEMIN *et al.* (1987) ont rassemblé sur une figure unique les courbes obtenues pour la Meuse à Liège, l'Ourthe à Esneux et la Hoëgne à Theux. Sur la figure 4, nous avons repris ces droites et nous y avons ajouté les droites obtenues pour la Burdinale à Lamontzée et à Marneffe.

Les droites obtenues pour la Burdinale sont à peu près parallèles à la courbe obtenue pour la Meuse à Liège en 1983, alors que G. LEMIN *et al.* (1987) avaient trouvé des courbes beaucoup moins inclinées pour la Hoëgne à Theux et pour l'Ourthe à Esneux. La courbe si redressée de la Meuse à Liège n'est explicable que si des débits plus chargés que ceux de la Hoëgne ou de l'Ourthe viennent se jeter dans la rivière. L'étude de la Burdinale semble à première vue fournir une réponse à ce problème.

Toutefois, à l'examen, cette réponse paraît fort peu satisfaisante car il serait indispensable de trouver pour tous les affluents des courbes aussi redressées que celles de la Burdinale. Il est en conséquence évident que la droite représentant la charge en suspension à Liège est très fortement inclinée à la suite d'une autre cause, à savoir la construction de barrages, l'élargissement du fleuve et son endiguement. Comme J.-F. CLOSE-LECOCQ *et al.* (1982) l'ont déjà montré, suite aux modifications apportées au chenal, la vitesse est fortement réduite au moment des étiages et les sédiments se déposent alors dans le lit du fleuve. Cette charge est remise en mouvement au moment où les débits deviennent plus importants et, en l'absence d'inondation - donc de sédimentation dans la plaine alluviale -, les sédiments sont transportés vers l'aval. La courbe extrêmement redressée que nous trouvons sur la figure 4 pour la Meuse à Liège résulte principalement des aménagements qui ont été apportés au chenal de la Meuse. L'explication de la pente de cette droite par les apports des différents affluents du fleuve semble donc vaine.

Remerciements

Les responsables de l'A.S.B.L. "Etudes et Promotion du Parc Naturel Régional de la Vallée de la Burdinale" et spécialement MM. Loumaye, Bertrand et Delavignette nous ont aidés de diverses manières à réaliser ce travail. Mme Laruelle, travaillant dans le cadre de cette A.S.B.L., a réalisé certains des prélèvements d'eau. Nous les prions de trouver ici nos remerciements.

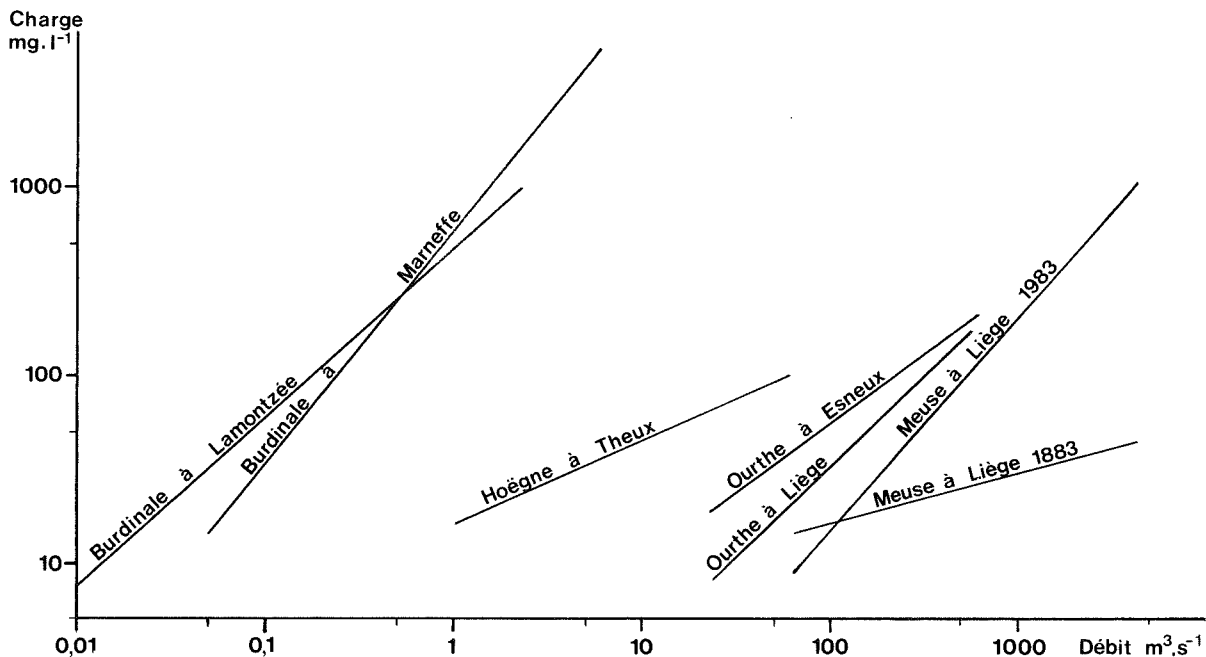


Figure 4 : Droites de régression établies entre la charge en suspension et le débit des différentes rivières du bassin de la Meuse.

- BOLLINNE, A., 1974, L'érosion des sols limoneux cultivés - Aperçu général - Première estimation. Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux, 9 (3) : 353-369.
- BOLLINNE, A. et PISSART, A., 1978, L'érosion des sols limoneux cultivés de la Hesbaye. Aperçu général. Pédologie, XXVIII, 2, 161-182.
- CLOSE-LECOQ, J.-F., 1981, Les transports en suspension de la Meuse à Liège et à Tailfer (avec observations sur les transports en solution à Liège). Mémoire lic. en Sciences Géographiques (inédit), conservé à l'Université de Liège (184 p).
- CLOSE-LECOQ, J.-F., PISSART, A. et KOCH, G., 1982, Les transports en suspension et en solution de la Meuse à Liège et à Tailfer (amont de Namur). Bulletin de la Société Géographique de Liège, 18, 5-18.
- DAVE, C., 1975, Etude de la dynamique fluviale d'un petit ruisseau de type torrentiel. Le ruisseau du fond de Wavelinse. Mémoire de licence en Sciences Géographiques (inédit), conservé à l'Université de Liège (145 p.).
- FERGUSON, R. I., 1987, Accuracy and precision of methods for estimating river loads. Earth Surface Processes and Landforms, 12, 95-104.
- GRAF, W. L., 1988, Fluvial processes in dryland rivers. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 346 p.
- JANSSON, M. B., 1985, Sediment rating curves of the Ljusnan at Funäsdalen, in IGU Pre-Congress SY n° 30, 20-25 August 1984, Freiburg i. Br., Beiträge zur Hydrologie, Special Issue, Vol. 5.
- LAMALLE, C., 1987, Les transports en suspension et en solution dans la Burdinale. Résultats d'analyses de prélèvements d'eau et de l'étude du colmatage d'un ancien barrage. Mémoire de licence en Sciences Géographiques (inédit), conservé à l'Université de Liège, 193 p.
- LEMIN, G., 1984, Contribution à l'étude des transports solides dans des rivières du bassin de la Meuse (Meuse, Ourthe, Hoëgne. Mémoire de licence en Sciences Géographiques (inédit), conservé à l'Université de Liège, 183 p.
- LEMIN, G., KOCH, G., HURTTGEN, C. et PISSART, A., 1987, Les transports en suspension de la Meuse, l'Ourthe et la Hoëgne. Bulletin de la Société Géographique de Liège, 22-23, 39-61
- MACAR, P., 1974, Etude en Belgique de phénomènes d'érosion et de sédimentation récents en terres limoneuses. Report of the Commission on Present-day Geomorphological Processes (International Geographical Union), 334-371.
- PETIT, F., 1985, L'évolution de la charge en suspension d'une rivière ardennaise au cours de périodes de crue. Bulletin de la Société Géographique de Liège, 21, 97-104.
- ROCHE, M., 1962, Hydrologie de surface. Gauthier-Villars, Paris, 430 p.
- SINE, L. et AGNEESSENS, J.-P., 1978, Etude des débits solides et du phénomène de migration dans une rivière drainant un bassin agricole. Pédologie, XXVIII, 2, 183-191.

