

Les transports en suspension de la Meuse, l'Ourthe et la Hoëgne

par G. LEMIN (*), G. KOCH (**), C. HURTGEN (**), et A. PISSART (*)

MOTS-CLES. - Rivière, charge en suspension, relation débit/charge, matières organiques, action anthropique.

RESUME. - Des échantillons d'eau ont été prélevés dans la Meuse à Liège, dans l'Ourthe à Liège et à Esneux et dans la Hoëgne à Theux, principalement au moment des crues. A partir de ces échantillons, la charge en suspension de chacune de ces rivières a été mesurée par filtration et les matières recueillies sur les filtres ont été analysées pour déterminer l'importance des matières organiques. Des droites de régression unissant le débit et d'une part la charge en suspension, et d'autre part la quantité de matières organiques ont été calculées. Ces relations varient systématiquement en fonction de l'importance des cours d'eau.

La comparaison entre les données que nous avons recueillies et celles qui avaient été publiées pour la Meuse à Liège par W. Spring et E. Prost en 1883 montre que la charge en suspension transportée par le fleuve à Liège a probablement triplé depuis un siècle. Cet accroissement résulte principalement de l'endiguement du fleuve qui a supprimé tout débordement, et donc toute sédimentation dans la plaine alluviale à l'aval de Namur.

KEY-WORDS. - River, suspended matter, relation discharge/suspended matter, organic matter, anthropic action.

ABSTRACT. - Samples of water were collected mainly during floods from the Meuse and the Ourthe rivers at Liège, the Ourthe river at Esneux and from the Hoëgne river at Theux. The concentration of suspended matter was determined by filtration, while the organic matter was measured in the sediments deposited on the filters. Regression lines were obtained for the relationship between discharge and both the suspended matter and the organic matter contents for each location. They were found to vary systematically with the size of the river.

Comparison of the results with those obtained from the river Meuse at Liège by W. Spring and E. Prost (1883) suggests the amount of suspended matter appears to have tripled in one century. This is ascribed to the elimination of flooding of the alluvial plain by man made levees.

(*) Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire, 7, place du XX-Août, B-4000 Liège (Belgique).

(**) Centre de l'Energie nucléaire, Boeretang, Mol (Belgique).

I. - INTRODUCTION

Deux professeurs de chimie à l'Université de Liège, W. Spring et E. Prost, ont quotidiennement durant une année s'étendant de novembre 1882 à novembre 1883, mesuré et analysé les matières en suspension et en solution transportées par la Meuse à Liège. Un siècle plus tard, J.F. Close-Lecocq (1981) a effectué de décembre 1979 à mars 1981, le même travail, au même endroit (la passerelle Saucy). Avec ces données, des corrélations ont été établies (J.F. Close-Lecocq *et al.*, 1982) entre la quantité des matières transportées et les débits liquides de la Meuse pour 1883 et 1980. Dans le même travail, des relations semblables ont été recherchées plus en amont à partir des observations rassemblées à Tailfer de 1974 à 1980 par la Compagnie Intercommunale Bruxelloise des Eaux.

Les comparaisons entre les droites de régression définissant ces relations ont montré que la charge solide de la Meuse à Liège s'était accrue considérablement de 1883 à 1981. Par contre, la quantité de matières transportées en solution ne paraissait pas avoir varié. D'autre part, la relation débit solide/débit liquide s'est révélée être fort semblable pour la Meuse à Tailfer de 1974 à 1980 et pour la Meuse à Liège en 1883.

J.F. Close-Lecocq *et al.* (1982) ont supposé que le développement de l'activité industrielle du sillon Sambre et Meuse était, au moins en partie, à l'origine des différences constatées.

Cette hypothèse méritait d'être confirmée. C'est la raison pour laquelle l'étude a été poursuivie. Il convenait principalement d'augmenter le nombre d'observations (spécialement en ce qui concerne les périodes de crue qui constituent les moments importants pour les transports solides), mais encore de s'interroger sur l'influence qu'avait eue le choix du lieu de prélèvement. J.F. Close-Lecocq *et al.* (1982), tout comme W. Spring et E. Prost (1883) avaient, en effet, récolté des échantillons au centre de Liège, à proximité de l'Université, soit à l'aval d'une liaison aménagée par l'homme entre l'Ourthe et la Meuse, liaison susceptible aussi bien de déverser des eaux de la Meuse vers la Dérivation que d'amener une partie des eaux de l'Ourthe dans la Meuse à l'amont du point de prélèvement. De telle sorte que dans ces données, des influences de l'Ourthe et de la Meuse sont partiellement mélangées.

L'expérience acquise lors de l'étude de J.F. Close-Lecocq *et al.* (1982) a orienté la présente recherche et déterminé différentes options que nous énumérons ci-dessous :

1. Afin de bien distinguer les apports de l'Ourthe et de la Meuse, les prélèvements ont été effectués dans chacune de ces deux rivières directement en amont de leur confluence.
2. De façon à reconnaître l'influence de l'activité industrielle du sillon Sambre et Meuse, des prélèvements ont été effectués également dans des rivières ne subissant pas cette influence, à savoir, l'Ourthe et la Hoëgne.
3. Comme la charge en suspension transportée pendant les étiages est négligeable, les prélèvements ont été principalement réalisés

au moment des crues, ce qui a réduit considérablement le nombre de mesures sans guère affecter l'équation de la droite de régression établissant la relation entre les transports liquides et solides.

4. Un effort important a été accompli pour essayer de distinguer les matières minérales au sein de la charge en suspension. Les matières organiques sont particulièrement importantes, car elles participent de façon très active à l'adsorption et aux transports de divers polluants et métaux lourds (U. Forstner and G.T. Wittman, 1979).

II. - LES PRELEVEMENTS D'ECHANTILLONS DANS LES RIVIERES

A. - LIEUX

Les lieux des différents prélèvements effectués sont les suivants : la Meuse à Liège (depuis le pont de Fragnée); l'Ourthe à Liège (depuis le pont de Féтинne); l'Ourthe à Esneux (quelques mètres en amont du pont d'Esneux sur la rive droite); la Hoëgne à Theux (depuis la passerelle piétonnière, rue des Makas)(voir fig. 1).

B. - MOMENT DES PRELEVEMENTS

Les prélèvements ont été effectués à des moments variables, mais la majorité au moment des crues. Les figures 2, 3 et 4 présentant les fluctuations des débits de la Meuse à Ampsin, de l'Ourthe à Angleur et de la Hoëgne à Theux, précisent les moments où les échantillons ont été recueillis. Les prélèvements n'ont pas toujours été effectués lors des maxima des crues, spécialement pour la Hoëgne qui subit de brutales variations de débit.

C. - METHODE DE PRELEVEMENTS

A Liège, une bouteille Nansen ⁽¹⁾ suspendue à un câble a été immergée dans la Meuse depuis le pont de Fragnée et dans l'Ourthe depuis le pont de Féтинne. Les prélèvements ont été effectués à environ 3 m de profondeur dans la Meuse et 1 m 50 dans l'Ourthe. Comme nous avons prélevé les échantillons au moment des crues, soit lorsque le courant était rapide, il a été nécessaire, pour entraîner la bouteille en profondeur, de lester celle-ci d'un poids de 10 kg.

Dans la Hoëgne à Theux, la profondeur du cours d'eau est trop faible pour utiliser la bouteille Nansen. Les prélèvements ont été réalisés manuellement, en plongeant depuis la berge une bouteille en polyéthylène de 1,5 l de capacité. Cette technique présente l'avantage d'être rapide, peu coûteuse et relativement efficace pour les petits cours d'eau (A.P. Plamondon, 1982). La même technique de prélèvement a été utilisée dans l'Ourthe à Esneux.

(1) Cet appareil est constitué d'un cylindre métallique de capacité de 1 215 ml, fermé par deux valves commandées simultanément par un messenger, poids qui coulisse le long du câble et qui percute une cale, libérant les deux valves.

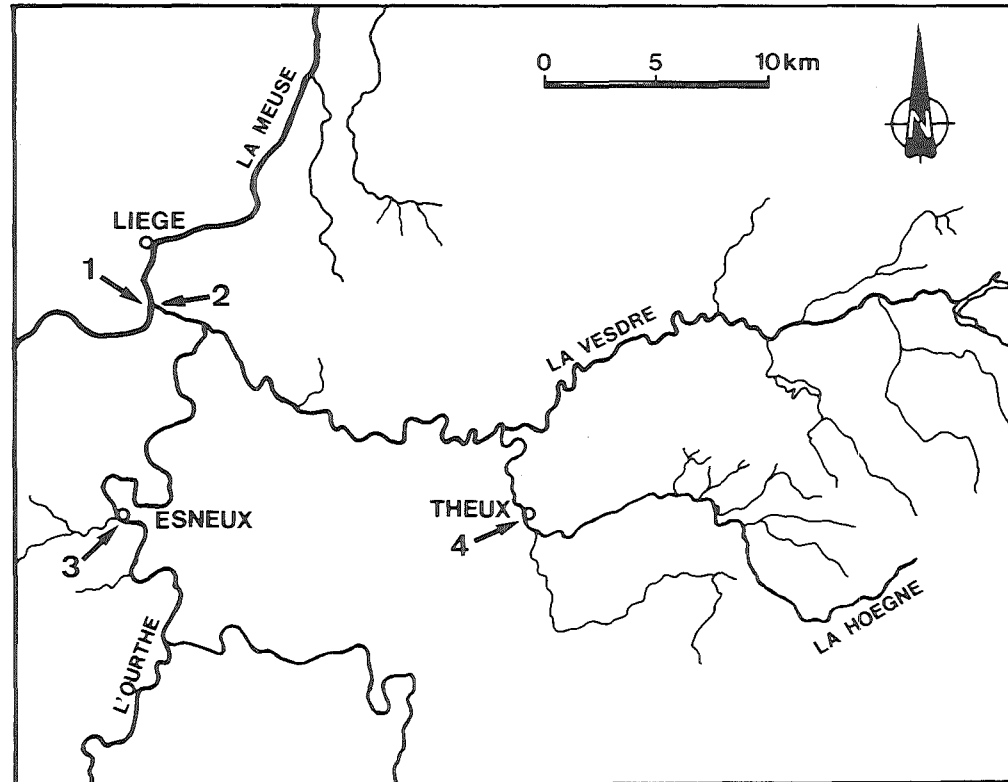


FIG. 1.- Localisation des lieux de prélèvements.

1. La Meuse à Liège; 2. L'Ourthe à Liège; 3. L'Ourthe à Esneux; 4. La Hoëgne à Theux.

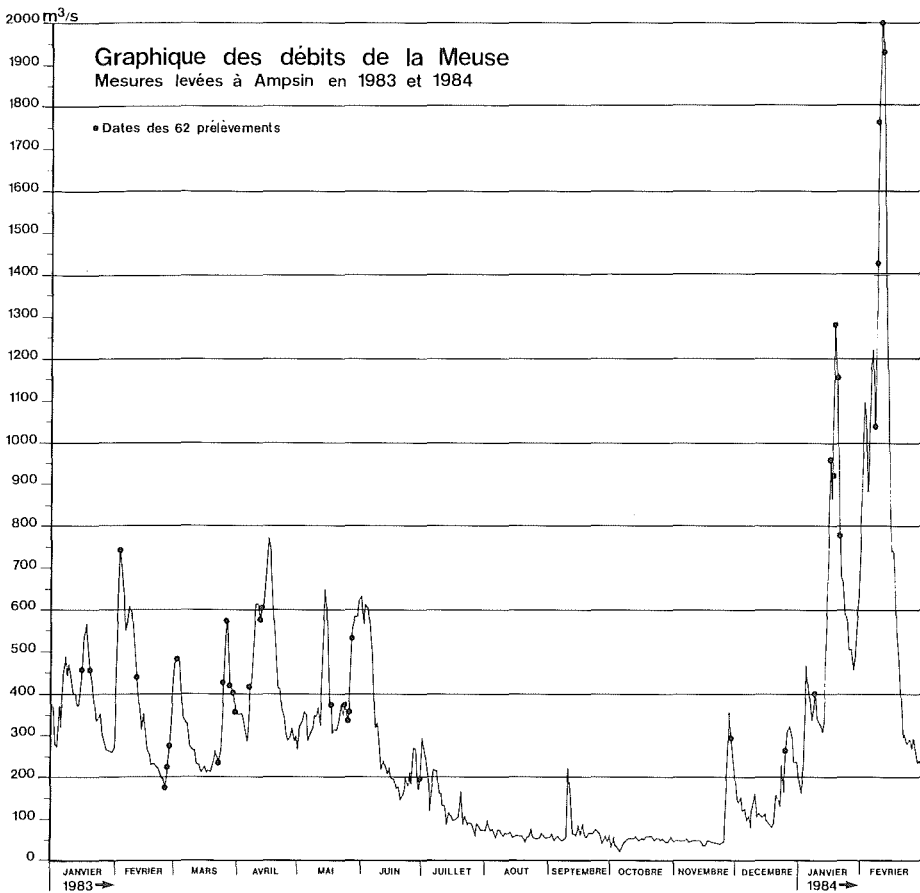


FIG. 2.- Variations des débits de la Meuse à Ampsin de janvier 1983 à janvier 1984, localisant les moments des 62 prélèvements considérés dans la présente étude.
(Source : Office de la navigation, 11, place St Jacques, 4000 Liège).

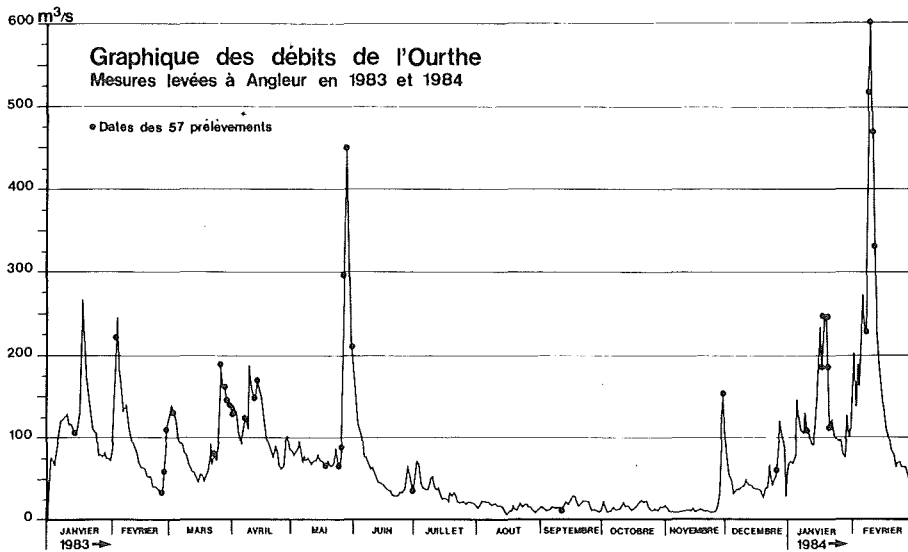


FIG. 3.- Variations des débits de l'Ourthe à Angleur de janvier 1983 à janvier 1984 localisant les moments des 57 prélèvements considérés dans la présente étude.
(Source : Office de la Navigation, 11, place St Jacques, 4000 Liège).

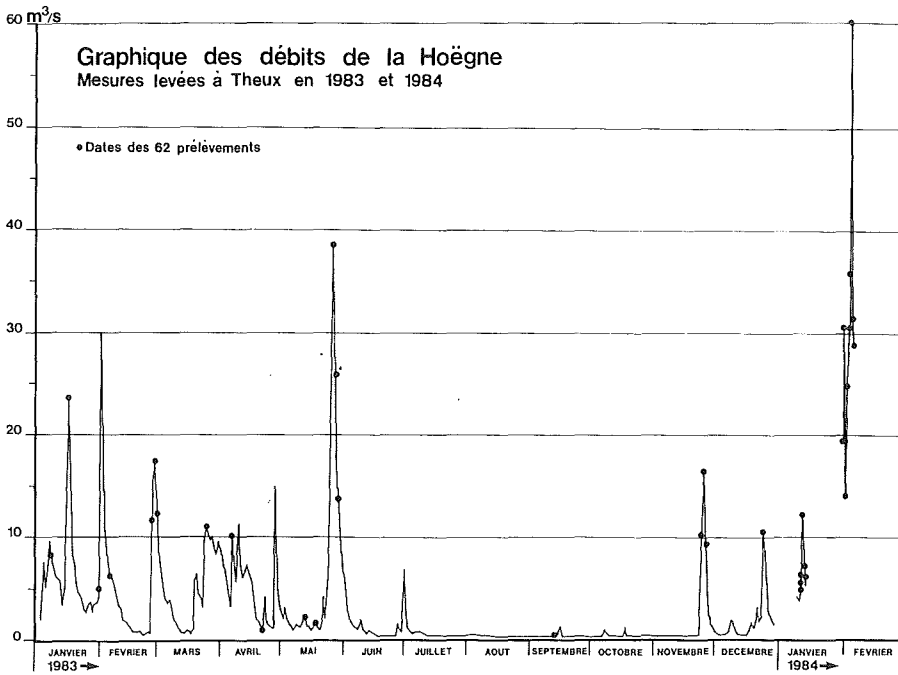


FIG. 4.- Variations des débits de la Hoëgne à Theux de janvier 1983 à janvier 1984 localisant les moments des 62 prélèvements considérés dans la présente étude.
(Source : Ministère de la Région Wallonne, Direction de l'Hydraulique Agricole, Avenue de la Toison d'Or, 17 A, Bruxelles).

D. - TRAITEMENT DES ECHANTILLONS

A partir des échantillons recueillis, la détermination de la quantité de matières en suspension a été obtenue par une filtration forcée sur des filtres en microfibrilles de verre ayant une porosité de $0,4\mu\text{m}$, suivie d'une pesée à $\pm 0,1$ mg après séchage à l'étuve à une température de 105°C .

La détermination de l'importance des matières organiques a été réalisée par la méthode du C.O.D. (chemical oxygen demand). Le dosage a été effectué à l'aide d'une solution de permanganate de potassium titrée par l'acide oxalique. Cette mesure ne fournit qu'une approximation de la quantité des matières organiques, car elle mesure en même temps la quantité éventuelle de substances minérales réductrices.

En outre, cette méthode n'est pas à l'abri d'autres critiques : ainsi, certains lui reprochent de ne pas rendre compte totalement des matières organiques (90 à 95 %, selon U. Forstner and G.T. Wittman, 1979).

E. - LA PRECISION DES MESURES

Une procédure semblable, par filtration et pesée a été suivie par A. P. Plamondon (1982) qui annonce une précision globale de 1 ppm. Nous pouvons sans doute admettre une précision comparable pour les mesures effectuées en laboratoire, mais l'incertitude principale ne provient pas des mesures elles-mêmes, mais de l'échantillonnage, comme le montrent les variations observées lorsque deux échantillons ont été recueillis immédiatement l'un après l'autre. Parmi les 83 couples de mesures effectuées de cette manière, les différences constatées varient de moins de 1 % à plus de 40 %. Toutefois, les écarts moyens, de même que les écarts types sont généralement inférieurs à 10 %, comme le montre le tableau I.

TABLEAU I.- Ecarts-types et moyennes des écarts dans les 83 couples de prélèvements réalisés dans les différentes rivières étudiées.

| | Moyenne en % des écarts des couples de prélèvements (%) | Ecart-type % | Nombre de couples de prélèvements |
|---------------|---|--------------|-----------------------------------|
| Meuse-Liège | 5.0 | 3.8 | 17 |
| Ourthe-Liège | 10.6 | 7.9 | 22 |
| Ourthe-Esneux | 5.1 | 5.4 | 15 |
| Hoëgne-Theux | 8.5 | 7.5 | 29 |

Les grandes variations sont difficiles à comprendre. Nous savons que la teneur des matières en suspension diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du fond du lit. Les variations pourraient donc, au moins en partie, être dues à ce facteur car, les profondeurs des prélèvements ne sont pas toujours identiques.

présent article, de conserver à l'esprit l'incertitude inhérente à ces variations de mesures.

III. - LES RESULTATS

A. - LA MEUSE AU PONT DE FRAGNEE A LIEGE

A titre d'exemple, nous donnerons pour la Meuse à Liège une vue générale des résultats qui ont été obtenus. La figure 5 représente la relation liant le logarithme du poids des matières en suspension (mg/l) au logarithme du débit de la rivière au moment du prélèvement (en m³/s). Comme pour les courbes publiées par J.F. Close-Lecocq *et al.* (1982), la dispersion des points est grande et le coefficient de corrélation linéaire pour la droite dessinée n'est que de 0,81. La relation unissant le logarithme du transport solide (g/s) et le logarithme du débit (m³/s) est évidemment bien meilleure (fig. 6). (C'est ce type de graphique qui est généralement présenté dans les travaux semblables à celui-ci). Le coefficient de corrélation linéaire atteint ici 0,92. La relation est encore améliorée si, au lieu de considérer tous les points isolément, on calcule les valeurs moyennes de matières en suspension pour des classes de débit déterminées arbitrairement selon une progression géométrique de raison 1,25. Le coefficient de corrélation s'élève alors à 0,97 (fig. 7). Mais bien entendu, toutes ces transformations constituent des façons artificielles d'accroître la relation entre les différentes données.

En admettant en première approximation que la relation entre les logarithmes du transport solide et du débit est une régression de première espèce, nous avons calculé les limites de confiance des régressions obtenues. Pour une limite de signification de la distribution de Student égale à 80 % ($t_{2x} = 0,20$), nous avons calculé les intervalles de confiance pour le transport annuel de la Meuse, de l'Ourthe et de la Hoëgne en 1983. Ces données rassemblées dans le tableau II, montrent que les relations obtenues sont grossières et doivent être considérées avec prudence.

TABLEAU II.- Transports annuels solides de la Meuse, de l'Ourthe et de la Hoëgne en 1983, avec un intervalle de confiance à 80 %.

| | | |
|----------------|------------|--------------|
| Meuse à Liège | 483.409 t. | + 122.562 t. |
| Ourthe à Liège | 98.558 t. | + 23.629 t. |
| Hoëgne à Theux | 3.660 t. | + 842 t. |

La figure 8 compare les droites obtenues à la suite de nos mesures avec celles données par J.F. Close-Lecocq *et al.* (1982) pour leurs observations et celles de W. Spring et E. Prost (1883).

Cette figure confirme, et c'est le premier résultat de ce travail, la différence notée par J.F. Close-Lecocq *et al.* (1982) entre les transports actuels de la Meuse et ceux qui existaient en 1883. Cette

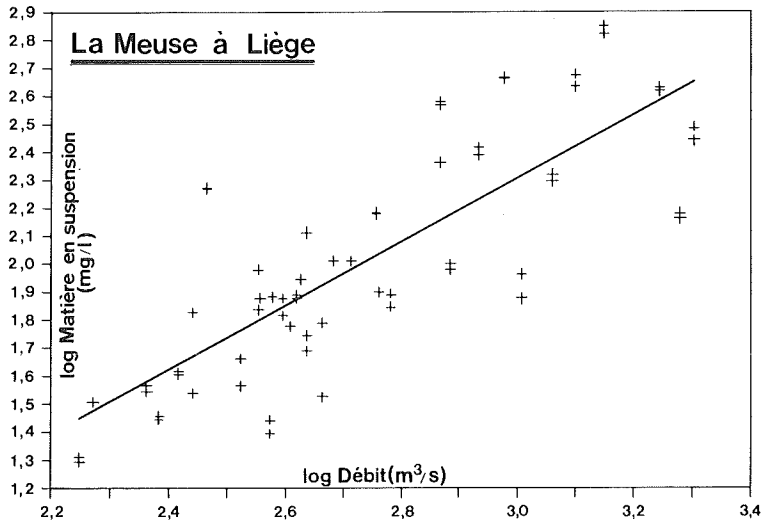


FIG. 5.- Relation entre le débit de la Meuse et la teneur de matières en suspension pour les 62 prélèvements réalisés à partir du Pont de Fragnée en 1983-1984. Equation de la droite :

$$\log \text{ matière suspension (mg/l)} = 1.14 \log \text{ débit (m}^3/\text{s)} - 1.11.$$

Le coefficient de corrélation est de 0,81.

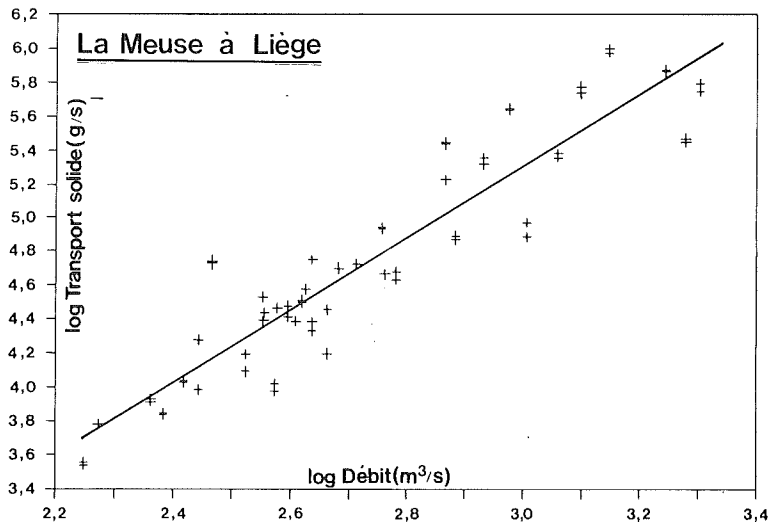


FIG. 6.- Relation entre la charge en suspension transportée par la Meuse en kg/sec et le débit du fleuve pour les 62 prélèvements réalisés à partir du Pont de Fragnée en 1983-1984. Equation de la droite:

$$\log \text{ transport en suspension (kg/s)} = 1.14 \log \text{ débit} - 4.11.$$

Le coefficient de corrélation de la droite est de 0,93.

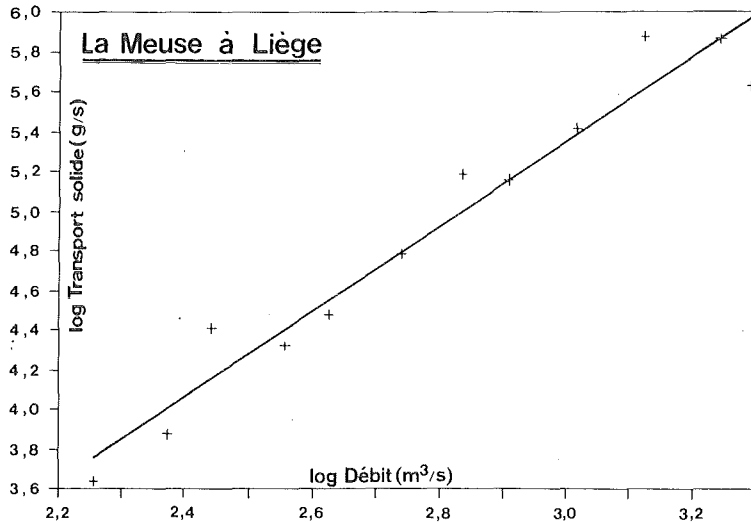


FIG. 7.- Mêmes données que celle prises en compte dans la figure 6 mais groupées par classes de débit. La relation devient :

$$\log \text{ transport en suspension (kg/s)} = 1,14 \log \text{ débit} - 4,07.$$

Le coefficient de corrélation s'élève à 0,92.

différence paraît significative, si l'on considère les limites de confiance dont nous avons parlé plus haut. Par contre, à la lumière des mêmes données statistiques, les courbes de J.F. Close-Lecocq et les nôtres ne paraissent pas différentes.

Pour un débit de l'ordre de $100 \text{ m}^3/\text{s}$, les 3 courbes donnent une même charge en suspension. Les modifications enregistrées de part et d'autre de cette valeur peuvent s'exprimer en disant que de 1883 à nos jours la charge en suspension a diminué quand le débit est inférieur à $100 \text{ m}^3/\text{s}$ et que, par contre, elle s'est accrue quand le débit est plus important. Comme J.F. Close-Lecocq *et al.* (1982) l'ont proposé, cette modification peut s'expliquer par l'aménagement du lit du fleuve pour la navigation : en effet, au moment des étiages, l'écoulement extrêmement lent, dans les plans d'eau plus ou moins horizontaux déterminés par les barrages mobiles, permet la sédimentation des éléments en suspension et diminue fortement la charge que la rivière transporte à ce moment ; lorsque le débit augmente, les sédiments déposés sont remis en mouvement et la charge est alors plus importante qu'elle ne l'aurait été sans les aménagements.

Mais une modification supplémentaire se produit : notre recherche confirme en effet que l'importance de la charge totale en suspension s'est accrue considérablement depuis 1883. On peut déjà le voir, même sans calcul, en constatant que maintenant la charge est

La Meuse à Liège.

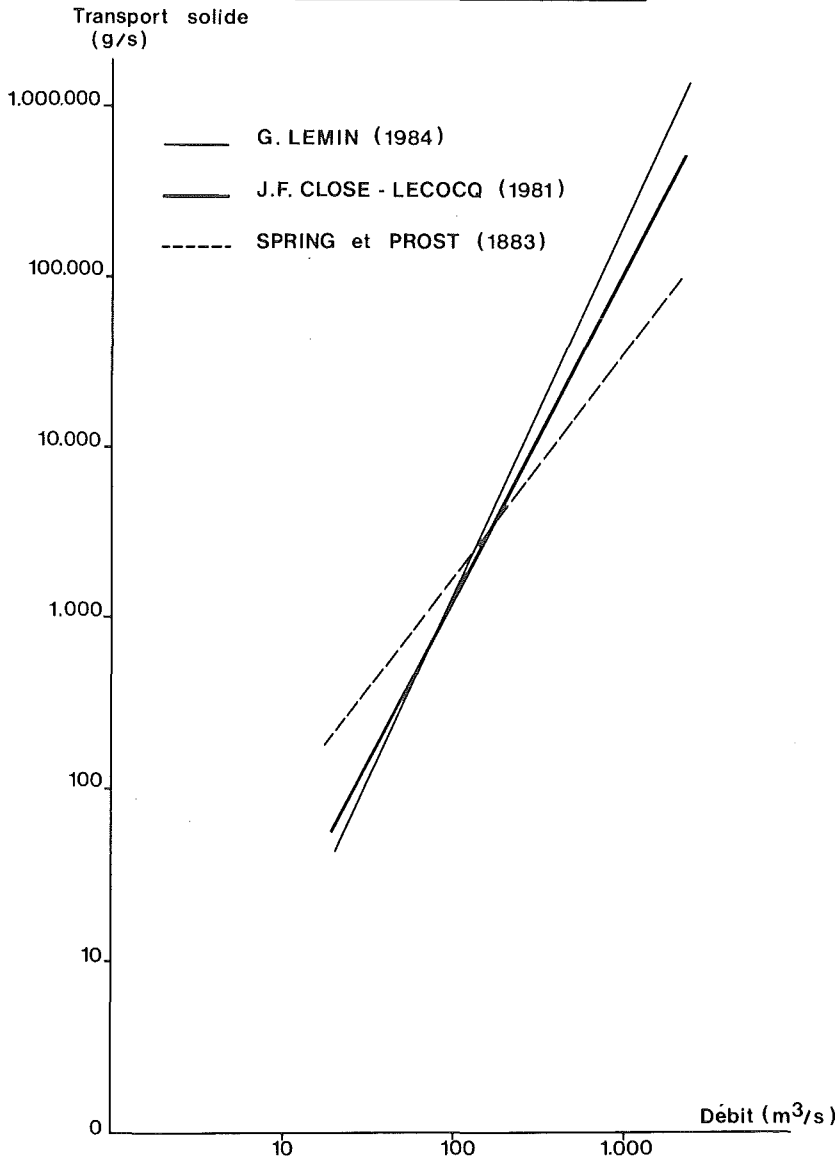


FIG. 8. - Comparaison entre les courbes donnant la relation entre le logarithme du transport en suspension (en kg/s) et le débit en m³/s pour la Meuse d'après les données recueillies par Spring et Prost (1883), Close-Lecocq *et al.* (1982) et celles présentées dans le présent article (figure 6).

plus importante lorsque le débit atteint $100 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui représente un débit bien inférieur au débit moyen de la Meuse qui, de 1958 à 1977, s'est élevé à $181 \text{ m}^3/\text{s}$ (J.F. Close-Lecocq *et al.*, 1982).

L'augmentation de la charge pour les débits élevés est d'autre part fort importante puisque pour un débit de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, la quantité transportée serait de 30 mg/l d'après la droite obtenue avec les données de W. Spring et E. Prost (1883) alors qu'elle s'élève à 204 mg/l d'après la courbe que nous avons obtenue suite aux échantillons récoltés au Pont de Fragnée. Après avoir calculé la charge transportée pendant 20 ans à partir des équations des courbes obtenues en 1982 et la charge transportée par les débits de la même période à partir de la courbe de 1883 de W. Spring et E. Prost, il était apparu (J.F. Close-Lecocq *et al.*, 1982) que la charge en suspension de la Meuse à Liège avait sans doute triplé au cours du dernier siècle.

Sans argument, l'hypothèse avait été émise que cet accroissement résultait de l'industrialisation du sillon Sambre-et-Meuse. Les renseignements que nous avons obtenus auprès des services de la Meuse Namuroise, de la Meuse Liégeoise et de l'Office de la Navigation en mars 1986, indiquent que les rejets industriels les plus importants dans la Meuse entre Namur et Liège résultent de l'exploitation des carrières ($\pm 30\,000 \text{ m}^3/\text{an}$), de l'industrie métallurgique ($\pm 15\,000 \text{ m}^3/\text{an}$) et des centrales thermiques ($\pm 5\,000 \text{ m}^3/\text{an}$). Les déversements totaux, de l'ordre donc de $50\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ (soit pour une densité moyenne de 1,6, de $80\,000$ tonnes) sont largement compensés par les dragages qui, en Meuse, sont actuellement de l'ordre de $80\,000 \text{ m}^3/\text{an}$, soit $128\,000 \text{ t}/\text{an}$. De la même manière, la quantité draguée dans la Sambre ($160\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ soit $250\,000 \text{ t}$) est supérieure à la masse de l'ensemble des rejets provenant des carrières et des industries.

En conséquence de ce bilan, nous pensons que l'effet de l'industrialisation est largement compensé par celui des dragages et donc que la cause de l'accroissement de la charge en suspension doit être recherchée ailleurs. C'est la raison pour laquelle nous croyons maintenant que la sédimentation dans la plaine alluviale était le facteur qui autrefois limitait l'accroissement de la charge en suspension. Actuellement, le fleuve canalisé dans tout son cours entre Namur et Liège ne déborde pratiquement plus et évacue toute la charge qui lui arrive.

Un bref calcul basé sur l'importance de l'accroissement des transports en suspension trouvé par J.F. Close-Lecocq *et al.* (1982) et une estimation de l'importance de la sédimentation dans la plaine alluviale de la Meuse fournie par J. Henrottay (1973) atteste que ce facteur est sans doute essentiel. En effet, la surface de la plaine alluviale entre Namur et Liège peut être estimée à environ 45 km^2 . De 1883 à nos jours, la charge en suspension à Liège aurait environ triplé d'après les données de J.F. Close-Lecocq *et al.* (1982) et serait portée à $388\,000 \text{ t}$. par an (moyenne calculée pour les variations de débit de la période 1958-1977). L'augmentation de la charge en suspension serait ainsi de $2/3$ de $388\,000 \text{ t}$ soit de $259\,000 \text{ t}$ par an sur la surface de la plaine alluviale. Cette valeur correspond à une sédimentation uniforme inférieure à $3 \text{ mm}/\text{an}$, en comptant une densité

de 2,0. Nous connaissons évidemment mal quelle était, il y a un siècle, la vitesse de sédimentation dans la plaine alluviale. Toutefois, l'étude de J. Henrottay (1973), basée sur la répartition des témoins de l'industrie du fer, nous permet d'estimer que l'épaisseur de limon qui s'est ajoutée dans le lit du fleuve en moins de 700 ans, est de l'ordre de 150 cm. Cette sédimentation qui correspond à plus de 2 mm/an est assez concordante avec les valeurs auxquelles nous conduit l'étude des transports en suspension. Bref, notre calcul semble indiquer que la majeure partie de l'augmentation de la charge en suspension de la Meuse résulte directement de l'endiguement du fleuve.

B. - L'OURTHE A LIEGE ET A ESNEUX; LA HOEGNE A THEUX

Ne possédant pas, pour ces rivières, de données anciennes comparables aux résultats publiés par W. Spring et E. Prost pour la Meuse en 1883, nous pouvons seulement comparer les unes aux autres les données obtenues dans ces différents cours d'eau.

Les formules représentant les relations entre la charge et le débit, obtenues pour ces différentes rivières, ainsi que les coefficients de corrélation donnant une idée de la dispersion des points d'observation sont rassemblés dans le tableau III. Sur ce même tableau, nous avons reproduit pour comparaison les données acquises pour la Meuse par W. Spring et E. Prost (1883) et celles publiées un siècle plus tard par J.F. Close-Lecocq *et al.* (1982).

TABLEAU III.- Relations entre la charge des différentes rivières et le débit; coefficients de corrélations des droites obtenues.

| | log matières en suspension (g/l) % en débit (m ³ /s) | Coefficient de corrélation | log transport en suspension (kg/s) % en débit (m ³ /s) | Coefficient de corrélation |
|--|---|-------------------------------|---|-------------------------------|
| Meuse à Liège Spring & Prost (av. mat. organiques) | 0,27 log débit + 0,67 | 0,40 | 1,27 log débit - 2,33 | 0,69 |
| Meuse à Liège (passerelle) Close et al. 1982 | 0,96 log débit - 0,73 | 0,71 | 1,96 log débit - 3,73 | 0,93 |
| Meuse à Liège (Pont de Fragnée (1986) | 1,14 log débit - 1,11 | 0,81 | 2,14 log débit - 4,11 | 0,93 |
| Ourthe à Liège | 0,97 log débit - 0,43 | 0,60 | 1,98 log débit - 3,43 | 0,87 |
| Ourthe à Esneux | 0,73 log débit + 0,27 | 0,53 | 1,73 log débit - 2,73 | 0,82 |
| Hoëgne à Theux | 0,43 log débit + 1,23 | 0,36 | 1,43 log débit - 1,77 | 0,78 |

Les relations logarithmiques données pour la quantité de matière en suspension en g/l et la quantité de matière transportée en kg/s sont identiques. Le premier coefficient est accru de 1 dans la quantité transportée pour tenir compte du fait que les valeurs ont été multipliées par le débit; le second coefficient a été réduit de 3 pour tenir compte de l'unité kg au lieu de g.

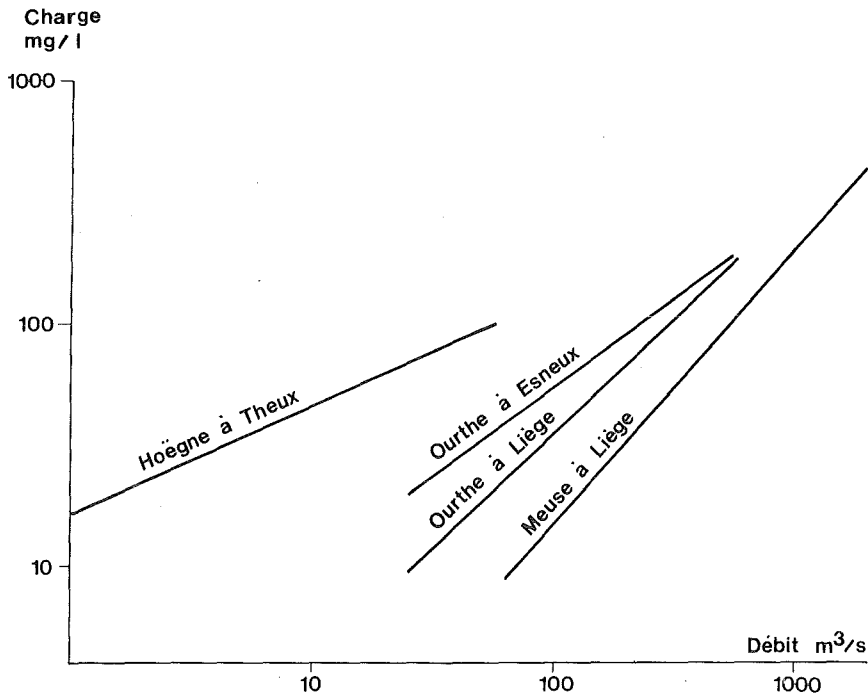


FIG. 9.- Relations entre la charge en suspension en mg/l et le débit en m^3/s obtenus pour la Meuse, l'Ourthe à Liège et à Esneux et pour la Hoëgne à Theux. Les équations des différentes droites ainsi que les valeurs des coefficients de corrélation sont données dans le tableau III.

Les données des quatre dernières lignes de ce tableau montrent une variation systématique, aussi bien des différents paramètres dans l'équation que des coefficients de corrélation et ce, suivant un ordre qui correspond à l'importance des cours d'eau. Le classement correspond aussi à l'ordre des cours d'eau suivant l'ampleur des aménagements que l'homme y a apportés. Cet ordre des cours d'eau apparaît bien sur la figure 9 représentant les droites de régression calculées d'après les données individuelles. Afin de mieux visualiser la signification de ces courbes figurées en coordonnées logarithmiques, la figure 10 présente les mêmes relations en coordonnées arithmétiques.

Précisons immédiatement, avant de proposer des interprétations pour les caractéristiques de ces courbes, que les explications que nous fournirons restent hypothétiques et attendent d'être vérifiées par des mesures complémentaires. Nous sommes en effet conscients de ce que nous allons comparer des rivières coulant sur des formations lithologiques différentes, avec des pentes variables, dans des régions présentant des couvertures végétales dissemblables et rece-

vant même des précipitations variant localement du simple au double. Les influences sont, de ce fait, très diverses et nous ne pouvons espérer mettre en évidence que des tendances générales. Rappelons en outre que les coefficients de corrélation attestant de la validité de certaines des courbes que nous avons obtenues sont parfois faibles (tableau III) et que, comme nous l'avons montré précédemment, elles doivent être considérées avec prudence. Malgré toutes ces incertitudes, les variations systématiques que montre ce tableau III sont remarquables et paraissent ne pas tenir compte des influences multiples que nous venons d'énumérer ci-dessus.

Parmi les éléments d'explication, rappelons tout d'abord que pour un débit identique, la Hoëgne sera en crue et la Meuse en étiage. Les vitesses d'écoulement ne sont, évidemment pas semblables. Ainsi un débit de 40 m³/s donne une vitesse de 4 m/s dans la Hoëgne et de 0,04 m/s dans la Meuse; ce qui permet le transport d'une charge en suspension tout à fait différente. En bref, il est normal que pour des débits identiques la charge soit plus importante dans les petites rivières que dans les grandes.

L'aménagement des grandes rivières par la construction de barrages constituant des plans d'eau pour la navigation va accentuer encore cette influence. La charge en suspension sera encore diminuée pendant les étiages dans les rivières aménagées. En conséquence immédiate, la charge en suspension sera plus grande au moment des crues quand les dépôts sédimentés dans le lit pendant les étiages seront remis en mouvement.

Comme le montre la figure 10, en coordonnées arithmétiques les courbes passent, en fonction de l'aménagement plus ou moins grand des différentes rivières, d'une allure convexe vers le haut (Hoëgne) à une allure approximativement rectiligne (Meuse) au fur et à mesure de l'accroissement du débit et de l'importance des aménagements. L'aménagement de l'Ourthe inférieure qui est coupée par une série de barrages construits au siècle dernier expliquerait ainsi de la même manière les différences d'inclinaison des courbes de l'Ourthe à Esneux et à Liège.

La diminution systématique de l'importance de la charge avec l'importance des rivières s'explique aisément, car les crues de toutes les rivières appartenant au bassin de la Meuse ne sont pas simultanées. Il reste quand même étonnant que la charge en g/l dans la Meuse puisse être plus importante que celle observée dans l'Ourthe. Ce phénomène est peut-être dû aux caractéristiques différentes des bassins versants, mais aussi à la canalisation du cours de la Meuse dont nous avons déjà expliqué les conséquences précédemment.

Nous sommes conduits aux mêmes conclusions lorsque, en fonction de l'étendue des différents bassins versants, nous calculons les coefficients de dénudation du sol, exprimés en t/km² par an.

Ces résultats paraissent à première vue aberrants : l'érosion serait la plus grande dans la partie aval du bassin ! Nous n'osons l'affirmer, car la Hoëgne et l'Ourthe, qui drainent des régions recouvertes de forêts et de prairies, ne sont sans doute pas représentatives de ce qui se passe dans la majorité des bassins affluents de la Meuse. L'étude des transports solides d'autres affluents est

HOEGNE, OURTHE et MEUSE.

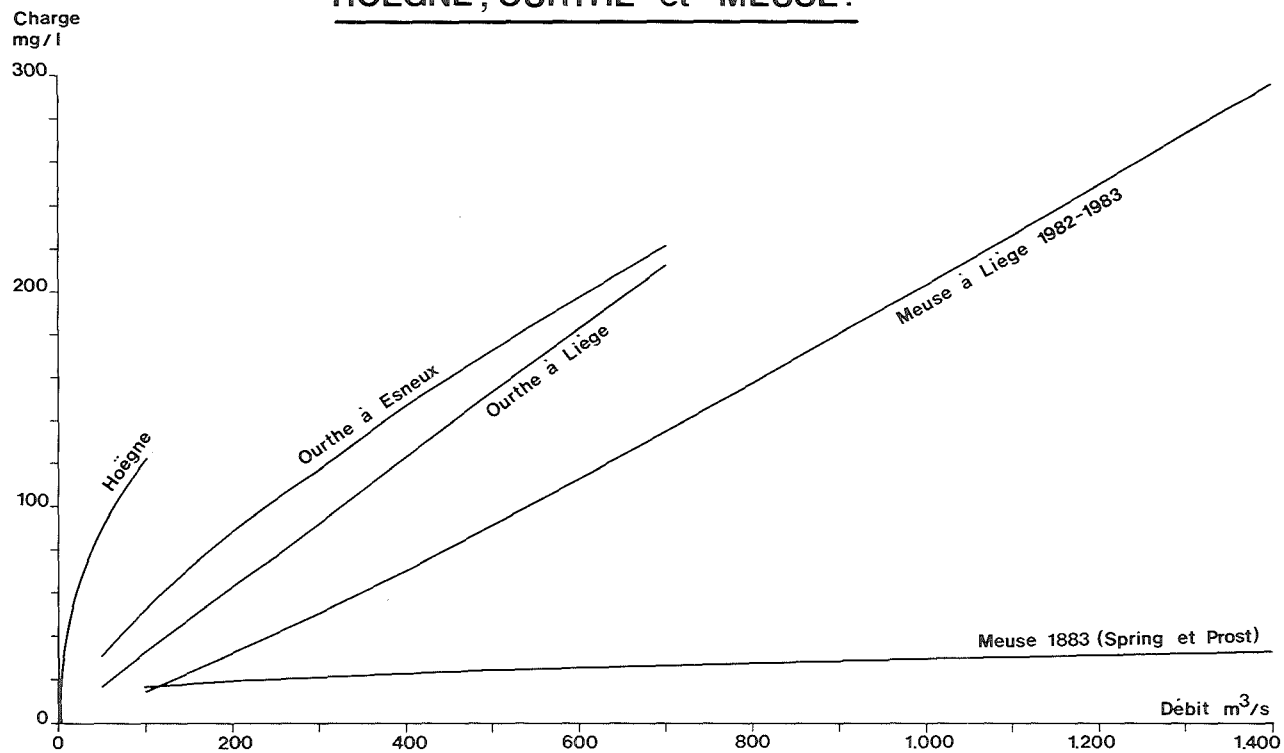


FIG.10.- Relations entre la charge en suspension en mg/l et le débit en m³/s, obtenues pour la Meuse à Liège, l'Ourthe à Liège et à Esneux et pour la Hoëgne à Theux. Les courbes représentent en coordonnées arithmétiques les droites de la figure 7.

indispensable avant d'avancer à ce sujet des conclusions plus générales.

TABLEAU IV.- Coefficients de dénudation du sol à la suite des transports en suspension dans les bassins étudiés.

| Rivières | Bassins versants (km ²) | Coefficient de dénudation du sol t/km ² par an |
|----------------|--|--|
| Meuse à Liège | 16 500 | 29 |
| Ourthe à Liège | 3 600 | 27 |
| Hoëgne à Theux | 190 | 19 |

Précisons cependant que le chiffre annuel obtenu pour la Meuse à Liège est très proche de la valeur avancée par J.N. Holeman (1968) pour l'ensemble des fleuves de l'Europe (32 t/km²) par an et ne s'écarte pas anormalement d'une autre estimation de (50 t/km²) par an proposé par J.D. Milliman et R.H. Meade (1983).

C. - LA TENEUR EN MATIERES ORGANIQUES DANS LES MATIERES EN SUSPENSION DES DIFFERENTES RIVIERES

Comme nous l'avons indiqué précédemment, la teneur en matières organiques a été évaluée par la méthode de la demande en oxygène dans les matières en suspension. Nous ne reviendrons pas sur les incertitudes de cette technique que nous avons mentionnées dans le paragraphe traitant de la précision des mesures.

Rappelons seulement que par la méthode que nous avons utilisée, nous sommes incapables de chiffrer la quantité réelle de matières organiques contenues, mais que les valeurs que nous avons obtenues sont sans doute proportionnelles à la quantité réelle de ces matières.

Les mesures de la quantité de matières oxydables effectuées de la sorte se sont révélées dans leur relation avec le débit plus dispersées que les mesures de la quantité totale de matières transportées. Pour les courbes représentées à la figure 11 établissant les relations entre la quantité transportée de matières oxydables et les débits des rivières, les équations obtenues et les coefficients de corrélation sont donnés au tableau V.

Précisons que ces coefficients de corrélation qui varient de 0,44 à 0,92, sont beaucoup plus faibles lorsque l'on considère la relation entre la charge en matières oxydables (en mg/l) et le débit : ils varient de 0,10 à Esneux à 0,69 à Liège. Avec de tels coefficients, il importe de rester prudent et nos commentaires seront de ce fait très réduits.

Remarquons tout d'abord le classement en ordre systématiquement décroissant des paramètres des équations du tableau V et des coefficients de corrélation s'y rapportant, lorsque l'on considère les rivières dans un ordre décroissant d'importance : la Meuse, l'Ourthe à Liège, et la Hoëgne. Pour l'Ourthe à Esneux, on a cependant obtenu des nombres moins élevés qu'à Liège ; aussi nous

nous demandons si le fait de prélever à la bouteille les échantillons en surface, n'aurait pas eu pour effet de récolter plus d'éléments en flottaison (feuilles) lorsque les débits étaient faibles.

TABLEAU V.- Equations reliant le logarithme du transport en suspension des matières oxydables et le logarithme du débit dans les différentes rivières étudiées (Fig. 11).

| | Equations des droites de la figure | Coefficient de corrélation |
|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Meuse (Pont de Fragnée), Liège | $y = 2,28 x - 2,86$ | 0,92 |
| Ourthe (Pont de Fétinne), Liège | $y = 2,08 x - 1,74$ | 0,78 |
| Ourthe (Pont), Esneux | $y = 1,26 x + 0,12$ | 0,44 |
| Hoëgne, Theux | $y = 1,33 x + 0,42$ | 0,71 |

$x = \log$ débit en m^3/s ; $y = \log$ de la charge transportée en matières oxydables, exprimées en $g O^2/s$.

La figure 11 illustre le résultat principal de ces mesures. Les droites représentant les transports en matières oxydables dans les différentes rivières sont classées de la même manière que les droites de la figure 9, montrant que la quantité des matières oxydables varie assez bien comme la quantité de matières en suspension. Contrairement à ce que nous supposions au départ, le pourcentage de matières organiques est plus important pour la Meuse et pour l'Ourthe à Liège en temps de crue qu'en étiage (tabl. VI). Il en est autrement pour l'Ourthe à Esneux et la Hoëgne à Theux, qui sont beaucoup moins aménagées par l'homme.

TABLEAU VI.- Importance relative de la part des matières organiques dans les matières en suspension pour différents débits de la Meuse, de l'Ourthe et de la Hoëgne (exprimé en poids de matières oxydables divisé par le poids des matières en suspension).

| | (1) Débit m^3/s | (2) Transport en susp. (g/s) | (3) Transport mat. oxydable ($g O^2/s$) | (4) (3)(2) x 100 ($g O^2/g$) % |
|-----------------|-------------------------|---|--|--|
| Meuse (Liège) | 20 | 46 | 1,4 | 3 |
| | 1000 | 180000 | 9000 | 5 |
| Ourthe (Liège) | 10 | 34 | 2 | 6 |
| | 500 | 70000 | 7000 | 10 |
| Ourthe (Esneux) | 10 | 100 | 24 | 24 |
| | 300 | 30000 | 1800 | 6 |
| Hoëgne (Theux) | 10 | 420 | 55 | 13 |
| | 50 | 4200 | 460 | 11 |

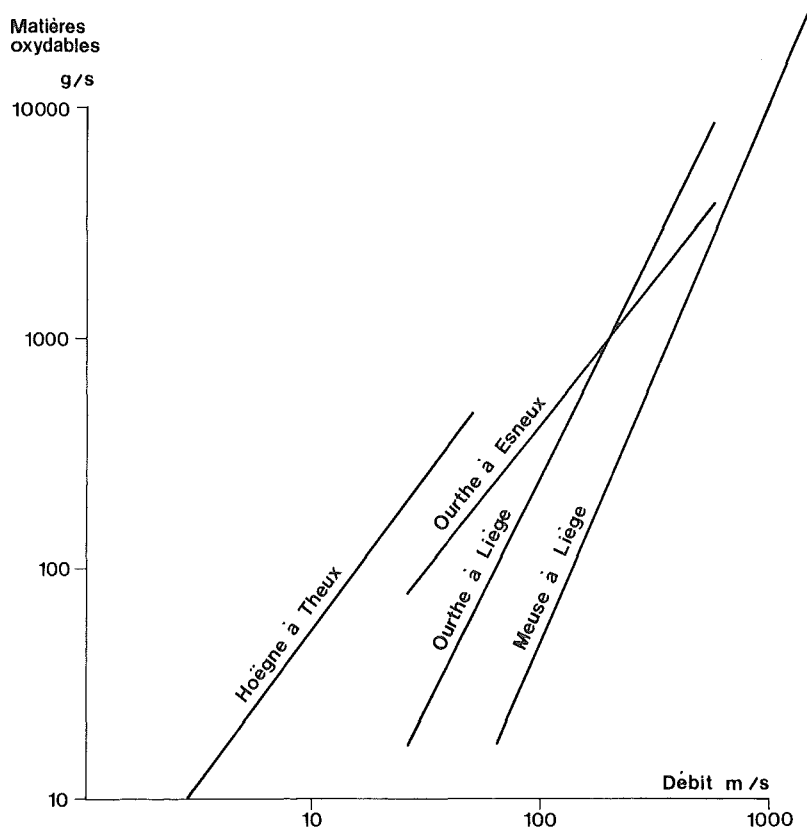


FIG. 11.- Relations entre la charge en matières oxydables en gO_2 et le débit en m^3/s pour les différentes rivières étudiées.

IV. - CONCLUSION

La présente recherche confirme les résultats apportés par J.F. Close-Lecocq *et al.* (1982) en ce qui concerne l'augmentation considérable de la charge en suspension de la Meuse actuelle par rapport à celle que déplaçait la Meuse en 1883 selon les mesures de W. Spring et E. Prost.

les modifications observées depuis 1883 paraissent avant tout dues aux aménagements apportés au fleuve. D'une part, l'établissement de barrages en diminuant la vitesse du courant entraîne pendant les étiages, une sédimentation importante de la charge en suspension dans le fond du lit. Au moment des crues, ces matériaux sont remis en mouvement et accroissent considérablement la charge, spécialement au début de ces événements ainsi que J.F. Close-Lecocq *et al.* (1982) l'ont montré. D'autre part, notre recherche confirme un accroissement

très important de la charge en suspension totale transportée par la Meuse à Liège. Cet accroissement avait été attribué par J.F. Close-Lecocq *et al.* (1982) à l'industrialisation du sillon Sambre-et-Meuse parce qu'il ne paraissait pas exister à l'amont de Namur (Tailfer), où les valeurs étaient restées comparables à celles de la Meuse à Liège en 1883. Nous pensons maintenant que l'industrialisation n'est pas la cause de cet accroissement, car l'importance des dragages actuels dans la Meuse et la Sambre compense largement la somme des rejets dus aux industries extractives (limon de recouvrement des carrières) et métallurgiques (laitier). Nous y voyons la conséquence immédiate de l'endiguement du fleuve : la charge en suspension s'est considérablement accrue parce que des inondations ne se produisent plus que très rarement dans la plaine alluviale à l'amont de Liège et que, en conséquence, une partie importante de cette charge en suspension ne peut plus s'y déposer.

L'endiguement du fleuve entre Namur et Liège a résolu le problème des inondations. Il a toutefois provoqué un accroissement important de la charge en suspension transportée par le cours d'eau. Cet effet indirect vient augmenter l'importance des dragages qui doivent être réalisés pour maintenir la profondeur requise pour la navigation. L'approfondissement actuel du cours de la Meuse, qui est amené à une profondeur de 5 m, viendra, dans un proche avenir encore accroître l'importance des dragages.

Lorsque l'on considère la Meuse à Liège, l'Ourthe à Liège et à Esneux et la Hoëgne à Theux, les relations unissant charge en suspension et débit varient systématiquement selon l'importance des rivières et l'ampleur des modifications que l'homme a apportées à leurs lits.

Enfin, l'étude de la quantité de matières organiques transportées (représentées par la quantité d'oxygène consommé) a montré que le pourcentage de ces matières organiques n'augmente pas d'une manière considérable aux étiages comme nous le supposions. Elle paraît en outre varier d'une manière différente avec le débit dans les grandes et les petites rivières.

Au total, il est évident que les actions humaines ont profondément modifié le milieu naturel dans notre pays. La mise en culture a provoqué une érosion importante des terres; l'accroissement des surfaces bâties a entraîné une augmentation considérable des coefficients d'écoulement et modifié les caractéristiques des crues... Et le présent article a souligné que l'endiguement du fleuve a provoqué un accroissement considérable de la charge en suspension transportée par le cours d'eau.

Cette altération des conditions naturelles a des conséquences diverses : elle nécessite des dragages plus fréquents pour maintenir le chenal navigable, mais d'autre part protège la plaine alluviale contre toute pollution que pourrait amener le fleuve. Et cette dernière observation prend toute son importance si l'on considère la possibilité d'un accident nucléaire qui amènerait dans le lit du fleuve des substances radioactives.

REMERCIEMENTS

Les personnes ci-après nous ont aidés de diverses façons à réaliser la présente étude : M. Cornet de l'Office de la Navigation, 11, place St.-Jacques, 4000 Liège, nous a communiqué les débits de la Meuse à Ampsin et de l'Ourthe à Angleur; M. Bouttefeux, directeur de l'Hydraulique Agricole, Avenue de la Toison d'Or, 17A, Bruxelles, nous a fourni les débits de la Hoëgne à Theux; M. Misonne, directeur de l'Institut des Sciences Naturelles de Belgique, nous a prêté les bouteilles Nansen avec lesquelles des prélèvements ont été réalisés dans la Meuse et l'Ourthe à Liège; M. Gelissen, directeur de la Meuse Namuroise, de même que M. l'ingénieur Schiepers du Service de la Meuse Liégeoise et MM. les ingénieurs Haccourt et Salmon de l'Office de la Navigation nous ont fourni de précieux renseignements sur les rejets industriels dans la Meuse et les dragages qui y ont été réalisés; M. Lievens et ses collaborateurs du Service de Chimie analytique du C.E.N. (Mol) ont eu l'obligeance de réaliser des analyses de matières organiques; M. le directeur Bellefroid de l'Ecole St-Roch à Theux nous a permis d'installer temporairement une centrifugeuse continue dans les bâtiments de son institution; M. Staes de la section "Mesures bas niveaux" du C.E.N. (Mol) a installé cet appareil et a effectué les prélèvements dans le cadre de cette recherche.

Nous les prions de trouver ici l'expression de nos remerciements.

BIBLIOGRAPHIE

- 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 de fin d'études en Sciences géographiques, Université de Liège, 184 p. (inédit).
- 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), *Bull. de la Soc. géogr. de Liège*, n° 18, pp. 5-18.
- CLOSE-LECOQ J.F. et EK C., 1985. - Quantités des matières transportées en solution et en suspension par l'affluent majeur du karst belge : la Meuse, *Ann. de la Soc. géol. de Belgique*, 106, pp. 275-280.
- FORSTNER U. and WITTMANN G.T., 1979. - *Métal pollution in the aquatic environment*, Springer-Verlag, Berlin, 473 p.
- HENROTTAY J., 1973. - La sédimentation de quelques rivières belges au cours des sept derniers siècles, *Bull. de la Soc. géogr. de Liège*, n° 9, pp. 101-115.
- HOLEMAN J.N., 1968. - The sediment yield of major rivers of the world, *Water Resources Research*, 4, pp. 737-747.

- LEMING G., 1984. - *Contribution à l'étude des transports solides dans les rivières du bassin de la Meuse (Meuse, Ourthe, Hoëgne)*, Mémoire de fin d'études en Sciences géographiques, Université de Liège, 183 p. (inédit).
- MILLIMAN J.D. and MEADE R.H., 1983. - World-wide delivery of river sediment to the oceans, *Journ. of Geology*, 91, pp. 1-21.
- PLAMODON A.P., 1982. - L'influence de l'exploitation forestière sur la concentration des particules dans les petits cours d'eau de la Beauce, Québec, *Géogr. Physique et Quaternaire*, 36 (3), pp. 315-325.
- SPRING W. et PROST E., 1883. - Etude sur les eaux de la Meuse, *Ann. de la Soc. géol. de Belgique*, II, pp. 123-220.
-

