

ETUDE DES VARIATIONS DE LA CHARGE EN SUSPENSION DE LA MEUSE ENTRE HASTIERE ET LIXHE

M. VROLIX* et A. PISSART*

Mots-clés : charge en suspension, relation débit liquide/débit solide, sédimentation, action anthropique.

RESUME

Afin de connaître les variations de la charge en suspension de la Meuse le long de son cours en Belgique, 460 échantillons ont été prélevés en période de crue simultanément à huit stations situées entre la frontière française et la frontière hollandaise. A partir de ces échantillons, la charge en suspension et le débit solide de la Meuse ont été estimés à chacune de ces huit stations.

Des droites de régression unissant le logarithme du débit liquide avec, d'une part, le logarithme de la concentration de sédiments en suspension et, d'autre part, le logarithme du débit solide ont été calculées. La comparaison de ces différentes droites de régression permet, pour les débits étudiés, de localiser des zones où se produit une sédimentation ou, au contraire, un apport de matières en suspension.

Ces variations de la charge en suspension de la Meuse paraissent avant tout être dues aux aménagements du fleuve par l'homme (élargissement, approfondissement, construction de barrages et d'écluses, ...).

ABSTRACT

Study of variations of suspended load in the Meuse river between Hastière and Lixhe

Measurements of suspended load carried by the Meuse river have been made during floods at eight locations distributed on the Belgian course of the river. Regression lines were obtained for the relationships between discharge of water and the amount of suspended load. Comparisons between the regressions at the different places indicate parts of the river where some sedimentation occurs and other parts where some new sediments are added in the river bed.

Alterations of the natural river bed made for navigation purposes and the location of factories and quarries near the river explain the observed variations of suspended load.

* Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire - Université de Liège, Place du 20-Août, 7, B - 4000 Liège.

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, diverses études ont été menées sur les transports en suspension de la Meuse et de ses affluents par le Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire de l'Université de Liège (CLOSE-LECOQ, 1981, 1985; CLOSE-LECOQ *et al.*, 1982; LEMIN, 1984; LEMIN *et al.*, 1987; LAMALLE, 1987).

Ces études n'avaient considéré que l'évolution de la charge en suspension de la Meuse dans la région liégeoise au cours du temps. Nous avons, pour notre part, entrepris l'étude des variations de la charge en suspension de la Meuse dans l'espace belge entre Hastière et Lixhe. Ce travail a pu être mené à bien grâce à l'aide de l'Office de la Navigation dont les agents ont prélevé simultanément des échantillons d'eau à l'emplacement de 8 barrages sur la Meuse, à savoir : Hastière, Dinant, Rivière, Grands Malades, Andenne, Ivoz, Monsin et Lixhe et aussi d'un barrage sur la Sambre à Salzinnes (fig. 1).

Cette étude présente un intérêt pratique réel. En effet, la sédimentation peut entraver localement la navigation; les organismes gérant la Meuse sont obligés de faire draguer régulièrement en quelques endroits le fond du lit en vue de permettre la navigation sur le fleuve. Il est donc essentiel de connaître au mieux la provenance et le devenir de la charge transportée par le fleuve. La connaissance de ces éléments permettra d'aborder scientifiquement la gestion des eaux de la Meuse par les organismes responsables.

I. METHODOLOGIE

A. Périodes de prélèvement

Des échantillons d'eau ont été prélevés aux diverses stations uniquement lorsque la Meuse est en crue. C'est, en effet, à ce moment que le fleuve évacue la plus grande partie des matériaux, à la fois parce que le débit est plus important mais aussi parce que la concentration de sédiments en suspension est la plus grande. Il est bien connu - et divers auteurs l'ont montré pour la Meuse (SPRING et PROST, 1883; CLOSE-LECOQ, 1985; LEMIN *et al.*, 1987) - que les transports solides ont surtout lieu en période de crue.

Nous avons considéré que la Meuse est en crue lorsque son débit atteint au moins 350 m³/s à Ampsin-Neuville. L'ordre de prélèvement n'a donc été donné aux différentes stations que lorsque ce débit était atteint.

Arbitrairement, car il fallait bien limiter le nombre des échantillons recueillis, nous avons décidé que les

prélèvements porteraient sur une période de 5 jours au *maximum* avec, simultanément dans les neuf stations, deux prélèvements par jour à 8 et 16 heures.

Nous nous sommes efforcés autant que possible d'obtenir des prélèvements quelques jours avant le maximum de débit à Ampsin-Neuville. La prévision de l'évolution des débits liquides est cependant très difficile : en effet, l'onde de crue est susceptible de se transformer au fur et à mesure de son déplacement. Par exemple, le débit maximum à Hastière lors d'une crue ne correspond pas toujours à un débit maximum à Lixhe car les crues des affluents peuvent être fort décalées par rapport à la crue du fleuve.

B. Méthode de prélèvement

L'ensemble des prélèvements ont été réalisés par le personnel de l'Office de la Navigation. Pour des raisons de facilité, nous avons pris la décision d'utiliser des bouteilles en polyéthylène d'une contenance de 1500 ml. Ces bouteilles ont été plongées dans la Meuse et la Sambre à l'aide d'une perche et ce à une profondeur approximative de 1 mètre.

Evidemment, la profondeur de prélèvement peut avoir une influence sur la teneur des matières en suspension. Toutefois, CLOSE-LECOQ (1981) a démontré, au centre de la ville de Liège, par des prélèvements réalisés simultanément en profondeur à l'aide de bouteilles Nansen et depuis le bord du fleuve à 40, 80, 120 et 160 cm de profondeur à l'aide d'une centrifugeuse continue, que les résultats étaient comparables pour des débits variant entre 250 et 700 m³/s. L'étude de la granulométrie des sédiments prélevés avec la centrifugeuse continue a montré, en cette occasion, que plus de 90 % des sédiments recueillis avaient une granulométrie inférieure à 63 µm. Des sédiments prélevés à l'entrée du Canal Albert comprenaient pour leur part plus de 95 % de sédiments de taille inférieure à cette dimension. Or, pour les sédiments de cette taille, soit plus petits que 63 µm, il est admis que la distribution de la charge en suspension est uniforme dans tout le profil de la rivière (VAN RIJN, 1986).

C. Méthode d'analyse des échantillons en laboratoire

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 Whatman dont le diamètre des mailles est de 0,7 µm, suivie d'une pesée après séchage à l'étuve à une température de 100°C et ce pendant un temps minimum de 15 minutes.

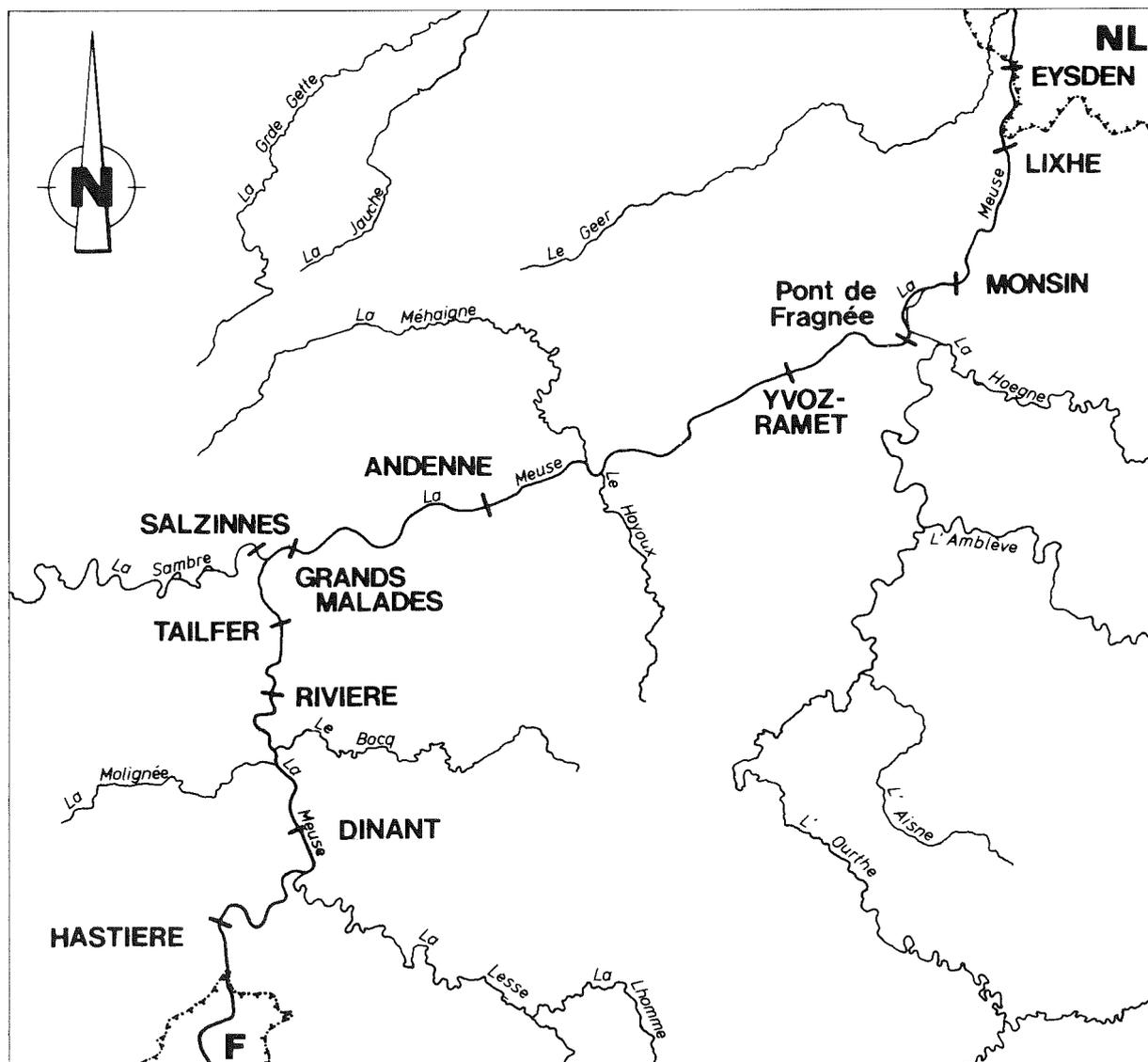


Figure 1 : Tracé de la Meuse en Belgique et de ses principaux affluents, avec la localisation des points de prélèvements.

II. LES RESULTATS

Au cours de notre étude, nous avons prélevé 460 échantillons d'eau de Meuse.

A. Présentation

Pour chacune de nos stations, nous avons recherché deux droites de régression :

- la première liant le logarithme du débit liquide exprimé en m^3/s (Q) au logarithme de la concentration de sédiments en suspension exprimé en kg/m^3 (C).
- la deuxième liant le logarithme du débit liquide exprimé en m^3/s au logarithme du débit solide en kg/s .

Pour ces droites de régression, nous avons calculé un intervalle de confiance à 95 %. Cet intervalle délimite, de part et d'autre de la droite de régression, une aire qui est définie comme étant celle où, à 95 % de chance, se trouve la droite de régression. La prise en compte de cet intervalle permettra de reconnaître les variations particulièrement significatives des différentes droites.

Le tableau I présente, pour chacune de nos stations, les équations des deux droites de régression ainsi que les coefficients de corrélation qui se rapportent à chacune d'elles. Dans ce même tableau, nous avons reproduit les données acquises pour la Meuse et l'Ourthe à Liège par G. LEMIN (1984), à Tailfer par J.F. CLOSE-LECOQ (1981) et à Eysden par M. VROLIX (1988).

STATIONS	(1) en m ³ /s	(2)	EQUATIONS	(3)
HASTIERE	250-600	38	Y1=2,363X-7,457 Y2=3,363X-7,457	0,61 0,73
DINANT	250-600	41	Y1=1,154X-4,229 Y2=2,154X-4,229	0,48 0,71
RIVIERE	350-750	42	Y1=2,222X-7,179 Y2=3,222X-7,179	0,67 0,80
GRANDS MALADES	330-1000	34	Y1=1,217X-4,552 Y2=2,217X-4,552	0,67 0,85
ANDENNE	350-1000	51	Y1=1,145X-4,265 Y2=2,145X-4,265	0,66 0,86
YVOZ	350-1000	59	Y1=1,435X-5,039 Y2=2,435X-5,039	0,68 0,84
MONSIN	400-1000	40	Y1=2,819X-9,161 Y2=3,819X-9,161	0,78 0,86
LIXHE	400-1000	34	Y1=2,875X-9,249 Y2=3,875X-9,249	0,78 0,86
EYSDEN	400-1200	60	Y1=1,579X-5,599 Y2=2,579X-5,599	0,82 0,92
PONT de FRAGNEE (G. LEMIN)		62	Y1=1,140X-1,110 Y2=2,140X-4,100	0,81 0,99
TAILFER (J.F. CLOSE-LECOCQ)		2557	Y2=1,518X+0,048	0,92
OURTHE LIEGE (G. LEMIN)		57	Y2=1,980X-3,430	0,87
SALZINNES		26	Y2=2,121X-3,228	0,94

(1)= débits considérés ; (2)= Nombre d'échantillons ; (3)= Coefficient de corrélation.

Tableau I : Equations des droites de régression établies entre le logarithme du débit liquide (X) et le logarithme de la concentration en suspension ($Y_1 = \text{kgr/m}^3$) d'une part, et entre le logarithme du débit liquide (X) et le logarithme du débit solide ($Y_2 = \text{kgr/s}$) d'autre part.

L'examen des différents coefficients de corrélation indiqués dans le tableau I nous conduit à certaines observations : le coefficient de corrélation de la droite de régression unissant le logarithme du débit liquide (Q) au logarithme du débit solide est toujours meilleur que celui de la droite de régression unissant le logarithme du débit liquide au logarithme de la concentration de sédiments en suspension (C).

Ce fait est parfaitement compréhensible si nous nous souvenons que le débit solide est obtenu en multipliant le débit liquide par la concentration de sédiments en suspension. Lorsque nous recherchons la corrélation existant entre le débit liquide et le débit solide d'une rivière, nous recherchons donc la corrélation entre Q et Qc. Notre coefficient de corrélation est artificiellement amélioré car la donnée Q intervient dans les deux séries de données que nous considérons.

B. Validité des résultats

Excepté pour la station de Salzinnes (0,84), les coefficients de corrélation marquant la relation entre le débit liquide et la concentration de sédiments en suspension sont faibles (entre 0,61 et 0,78). Il est même très mauvais pour la station de Dinant (0,48).

Les faibles coefficients de corrélation résultent, pour une part, du petit nombre de données considérées (entre 26 à Salzinnes et 59 à Ivoz). D'autre part, il faut réaliser que les charges en suspension prises en compte couvrent aussi bien des périodes de crue que de décrue, alors qu'il est bien connu que la quantité de sédiments transportés est très différente au cours de ces deux phases.

Le coefficient de corrélation marquant la relation entre le débit liquide et le débit solide est supérieur à 0,85 pour

Débit solide

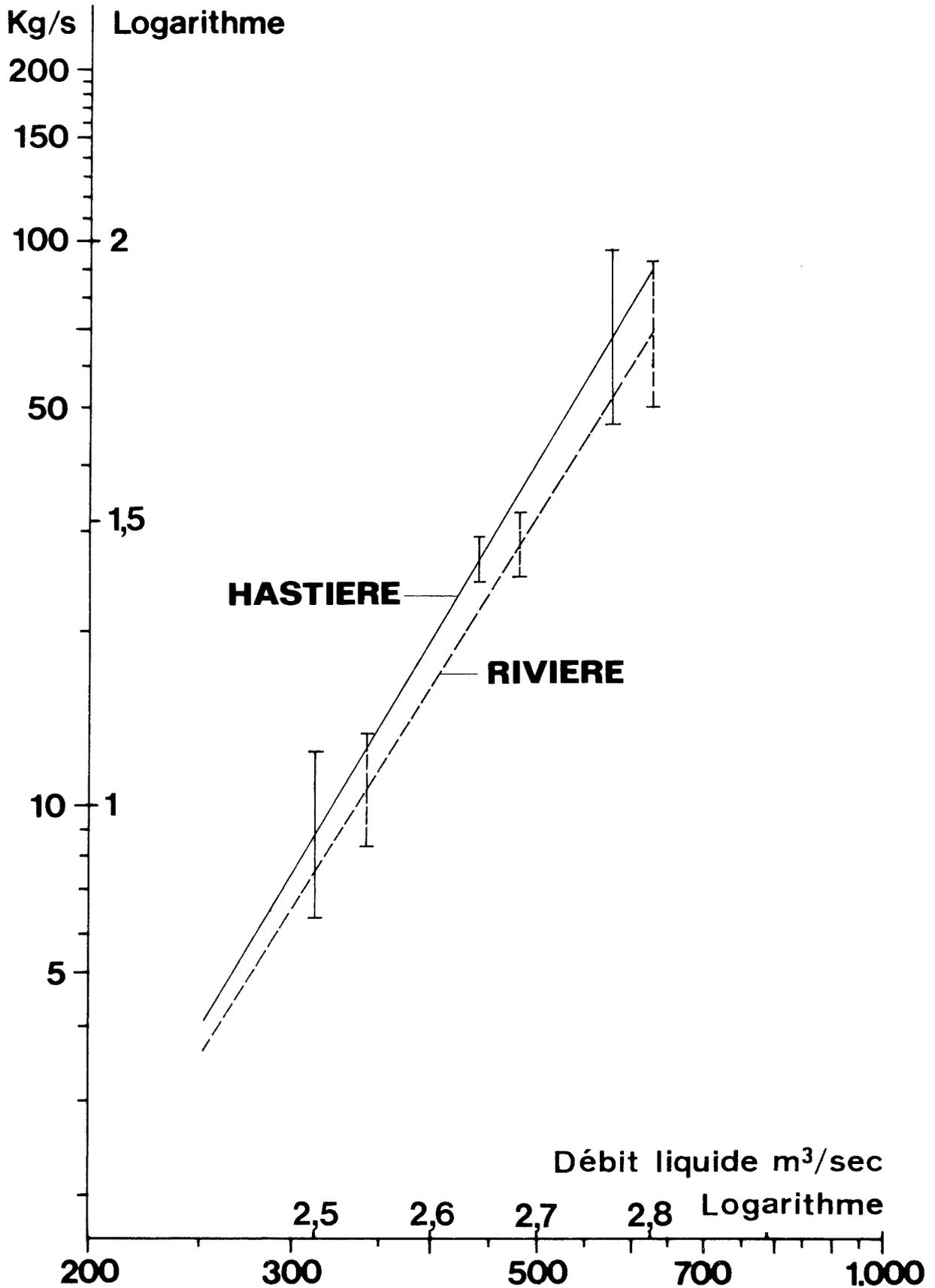


Figure 2 : Relation entre le débit solide (charge en suspension) et le débit liquide à Hastière et Rivière. Les équations de ces droites de régression sont mentionnées dans le tableau 1. Les traits verticaux montrent les intervalles de confiance à 95 % des différentes régressions.

Débit solide

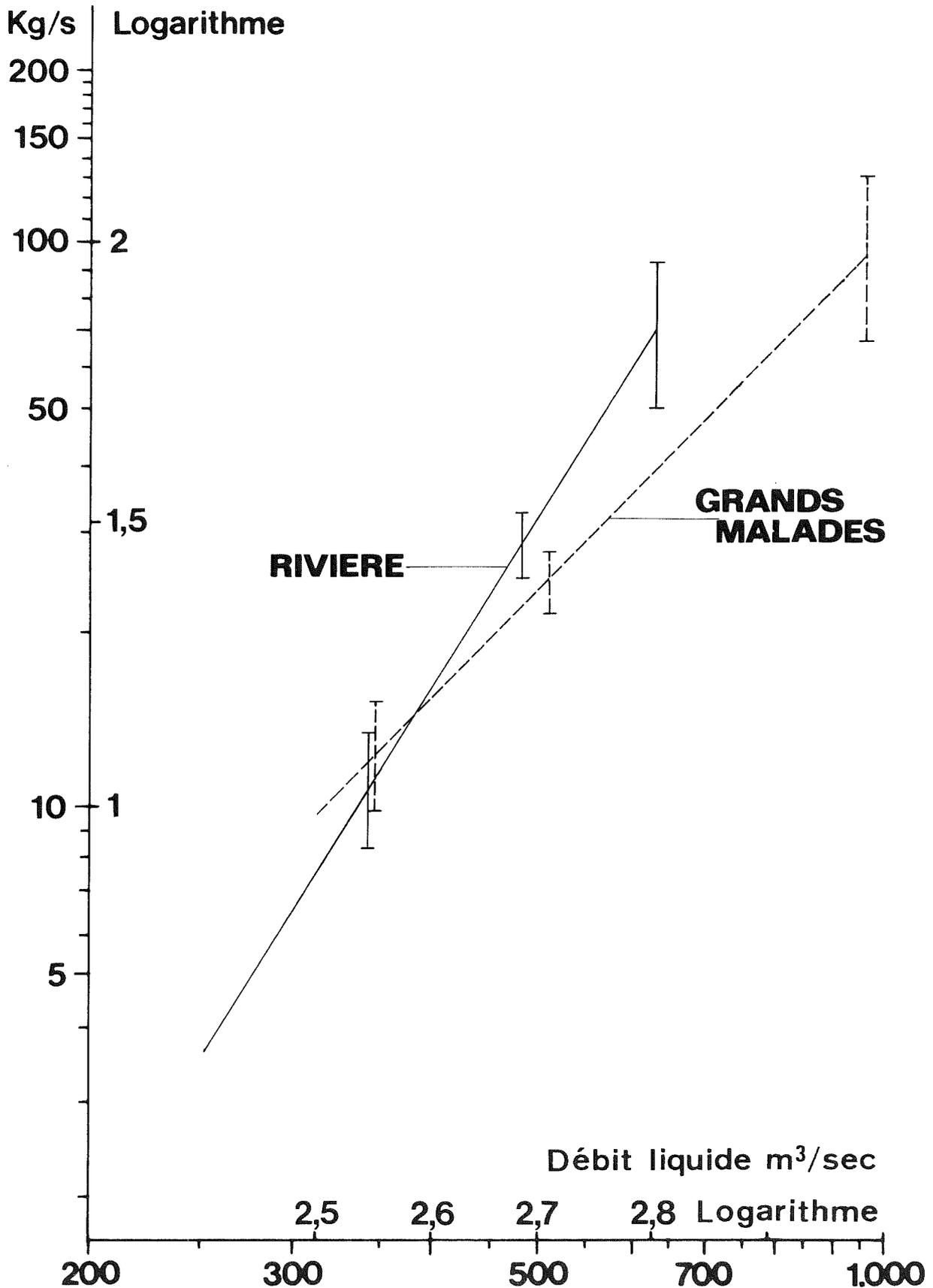


Figure 3 : Relation entre le débit solide (charge en suspension) et le débit liquide à Rivière et Grands-Malades. Les équations de ces droites de régression sont mentionnées dans le tableau 1. Les traits verticaux montrent les intervalles de confiance à 95 % des différentes régressions.

Débit solide

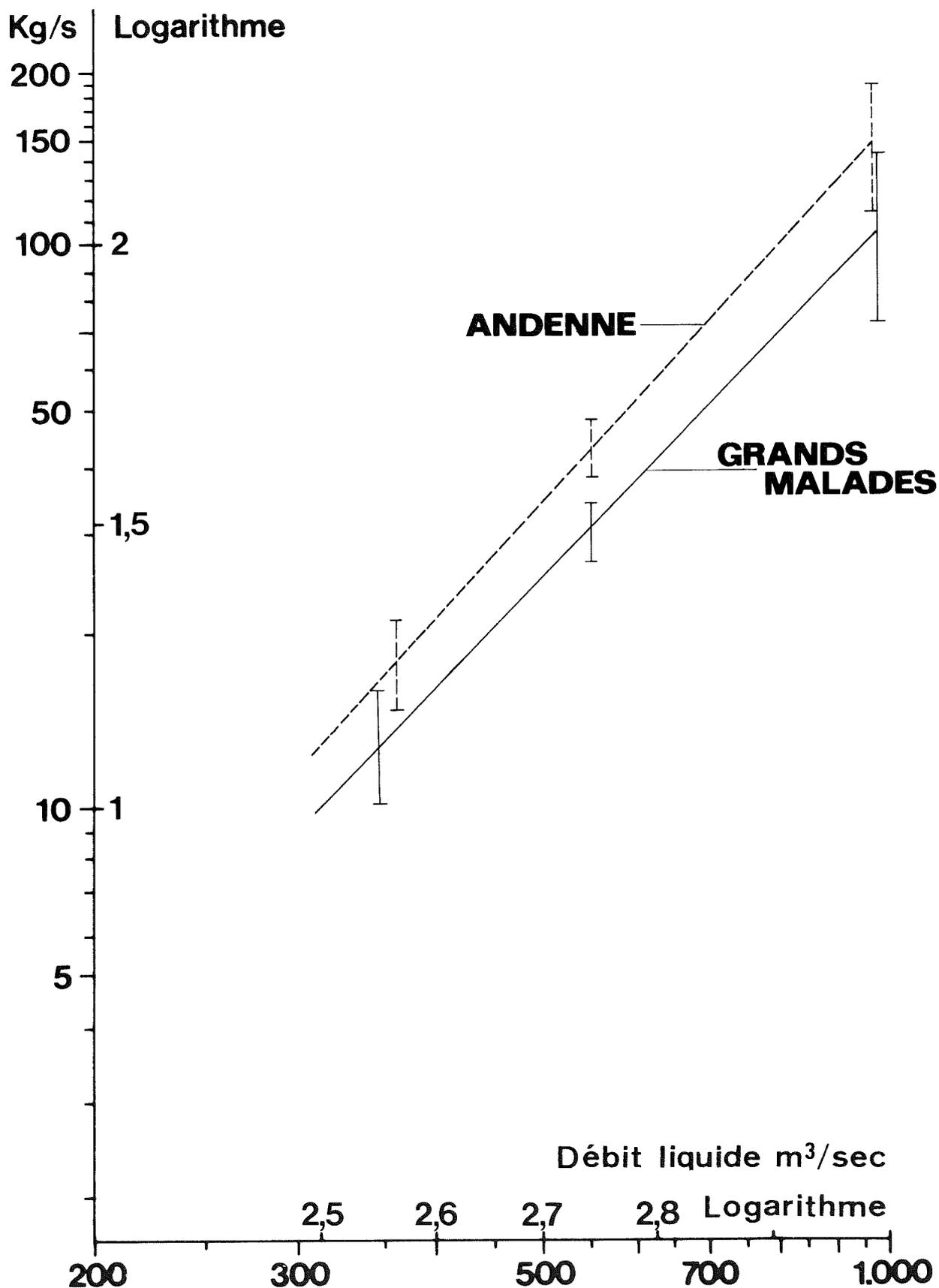


Figure 4 : Relation entre le débit solide (charge en suspension) et le débit liquide à Grands-Malades et Andenne. Les équations de ces droites de régression sont mentionnées dans le tableau 1. Les traits verticaux montrent les intervalles de confiance à 95 % des différentes régressions.

l'ensemble de nos stations sauf pour ceux obtenus aux stations de Hastière (0,73), Dinant (0,71) et Rivière (0,80).

Les faibles coefficients de corrélation obtenus à Dinant sont anormaux par rapport à ceux qui ont été trouvés dans les autres stations. Pour cette raison, nous écarterons cette station dans l'interprétation des résultats.

C. Interprétation des résultats

Notre interprétation portera essentiellement sur une comparaison de la position relative des droites de régression unissant le logarithme du débit liquide au logarithme du débit solide. Nous analyserons les diverses droites de régression en considérant chaque station comparée à la station située immédiatement en aval.

1. Hastière - Rivière (fig. 2)

Les deux droites sont extrêmement proches l'une de l'autre. Il est étonnant que la confluence de la Lesse, située entre les deux stations, n'induit pas une différence plus importante dans l'allure des droites.

2. Rivière - Grands Malades (fig. 3)

L'inclinaison des droites est différente à Rivière et aux Grands Malades. Les droites sont même significativement différentes à 95 % de chance pour les débits les plus importants. Plusieurs éléments peuvent justifier les différences observées; ce sont, tout d'abord, la confluence de la Sambre qui se jette dans la Meuse entre les deux stations; ensuite, les travaux d'aménagement du lit qui ont été réalisés entre Rivière et les Grands Malades pendant notre période d'étude et qui ont pu modifier artificiellement la charge en suspension de la Meuse; enfin, 14 échantillons seulement ont été prélevés *simultanément* aux barrages de Rivière et des Grands Malades.

Bien que les droites de régression se croisent pour des débits de 411 m³/s, la quantité de matières transportées en kg/s a toujours été plus importante aux Grands Malades qu'à Rivière car les débits y sont plus importants.

Vu la multiplicité des causes susceptibles d'expliquer les différences, nous ne sommes pas en mesure, dans l'état actuel de nos connaissances, de comprendre les divergences observées entre les deux stations.

3. Grands Malades - Andenne (fig. 4)

Les droites de régression des Grands Malades et

d'Andenne sont proches les unes des autres et ne sont pas différentes, à 95 % de chance. Les coefficients angulaires sont fort semblables mais les débits solides estimés à Andenne sont toujours supérieurs à ceux estimés aux Grands Malades.

Cette observation résulte vraisemblablement de l'existence d'une source ponctuelle de sédiments entre les deux stations. Des carrières localisées à proximité du fleuve sont réputées être une source de matières en suspension non négligeable et, d'ailleurs, des dragages d'entretien réguliers du lit du fleuve sont rendus nécessaires.

4. Andenne - Ivoz (fig. 5)

Les droites de régression observées entre ces deux stations sont très voisines les unes des autres et ne sont pas significativement différentes pour un intervalle de confiance à 95 %. Les apports de la Méhaigne et du Hoyoux qui ont leur confluence avec la Meuse entre ces deux stations ne paraissent pas affecter les charges transportées par le fleuve.

5. Ivoz-Monsin (fig. 6)

Les droites de régression obtenues à Ivoz et à Monsin sont significativement différentes pour une partie importante de leur tracé. Les influences susceptibles d'intervenir sont diverses, à savoir d'une part, l'existence de rejets industriels dans la Meuse entre les deux stations; d'autre part, la confluence de l'Ourthe qui apporte à la fois un débit solide et un débit liquide importants dans la Meuse à Liège; ensuite, les aménagements de l'Ourthe à l'aval de sa confluence naturelle (création du canal de la dérivation) et l'élargissement très marqué du lit du fleuve à l'entrée du Canal Albert, c'est-à-dire entre le pont Atlas et le barrage de Monsin; enfin, la prise d'eau du Canal Albert qui, entre les deux stations, soustrait au fleuve un débit de l'ordre de 20 m³/s. Les débits solides estimés au pont de Fragnée (Liège) par LEMIN (1984) sont toujours plus importants que ceux trouvés à Ivoz. Les valeurs montrent sans doute l'influence des rejets industriels dans cette partie du fleuve. Mais si l'on calcule, à partir des estimations obtenues, la quantité (en kg/s) de matières en suspension passant à Ivoz et à Monsin, on constate que, pour les débits considérés, dans plus de 90 % des cas, la charge qui transite à Monsin est inférieure à celle qui passe à Ivoz et cela bien que l'Ourthe apporte dans la Meuse une charge non négligeable. Les débits qui s'écoulent dans le Canal Albert ne peuvent justifier cette diminution de charge. Les observations montrent donc bien l'existence de l'importante sédimentation entre les deux stations, c'est-à-dire principalement dans l'élargissement du lit du fleuve en amont de Monsin.

Débit solide

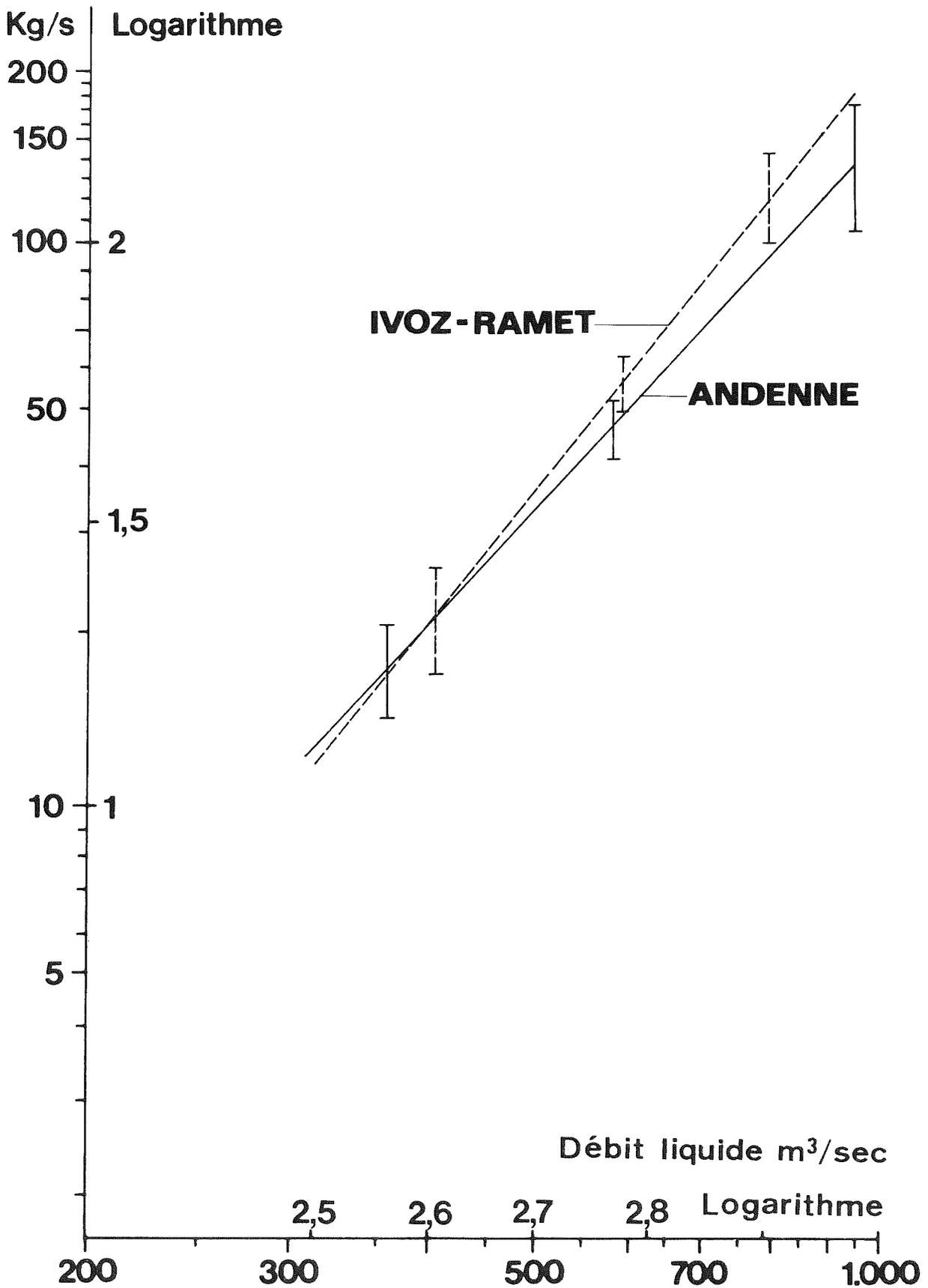


Figure 5 : Relation entre le débit solide (charge en suspension) et le débit liquide à Andenne et Ivoz-Ramet. Les équations de ces droites de régression sont mentionnées dans le tableau 1. Les traits verticaux montrent les intervalles de confiance à 95 % des différentes régressions.

Débit solide

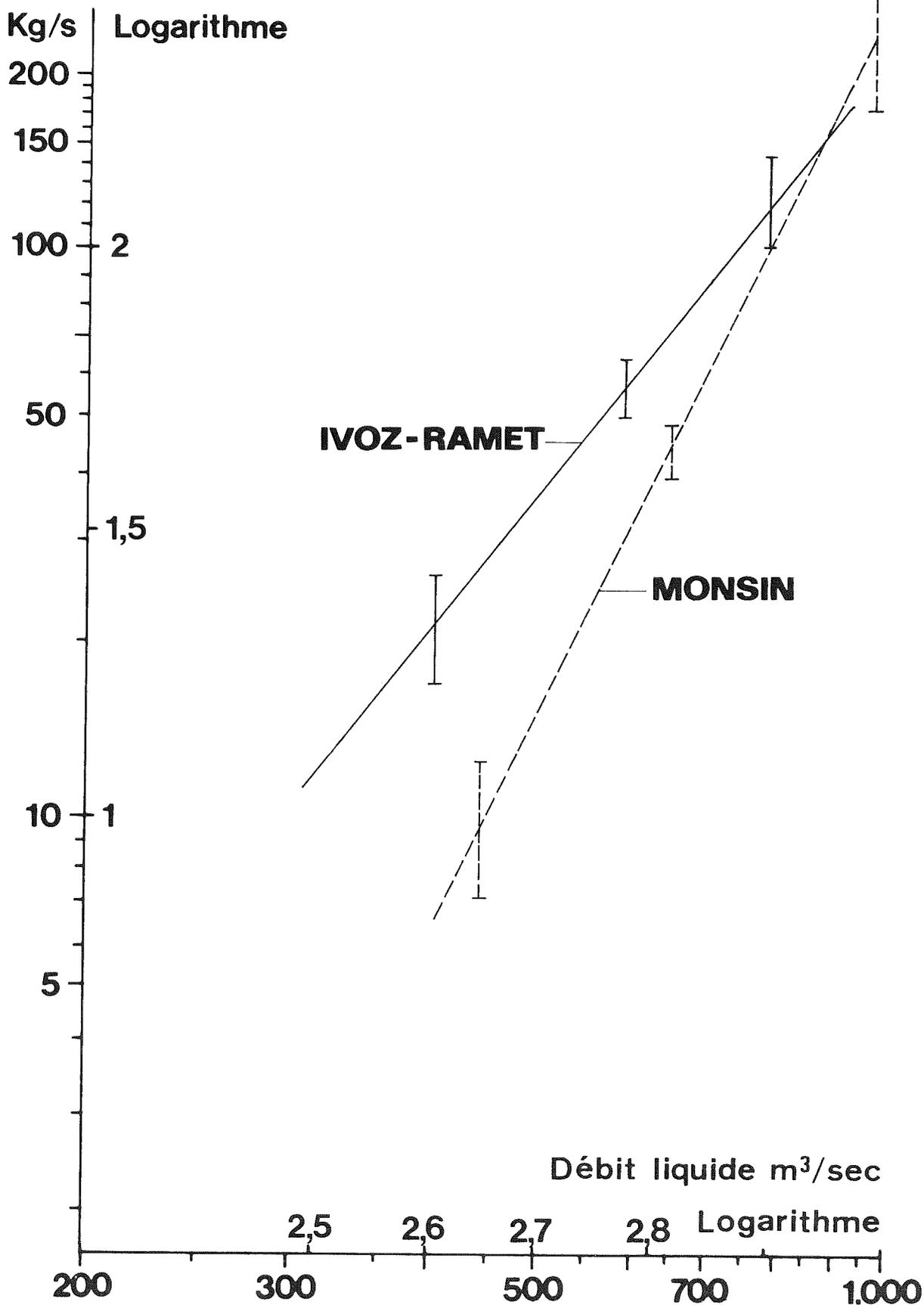


Figure 6 : Relation entre le débit solide (charge en suspension) et le débit liquide à Ivoz-Ramet et Monsin. Les équations de ces droites de régression sont mentionnées dans le tableau 1. Les traits verticaux montrent les intervalles de confiance à 95 % des différentes régressions.

Débit solide

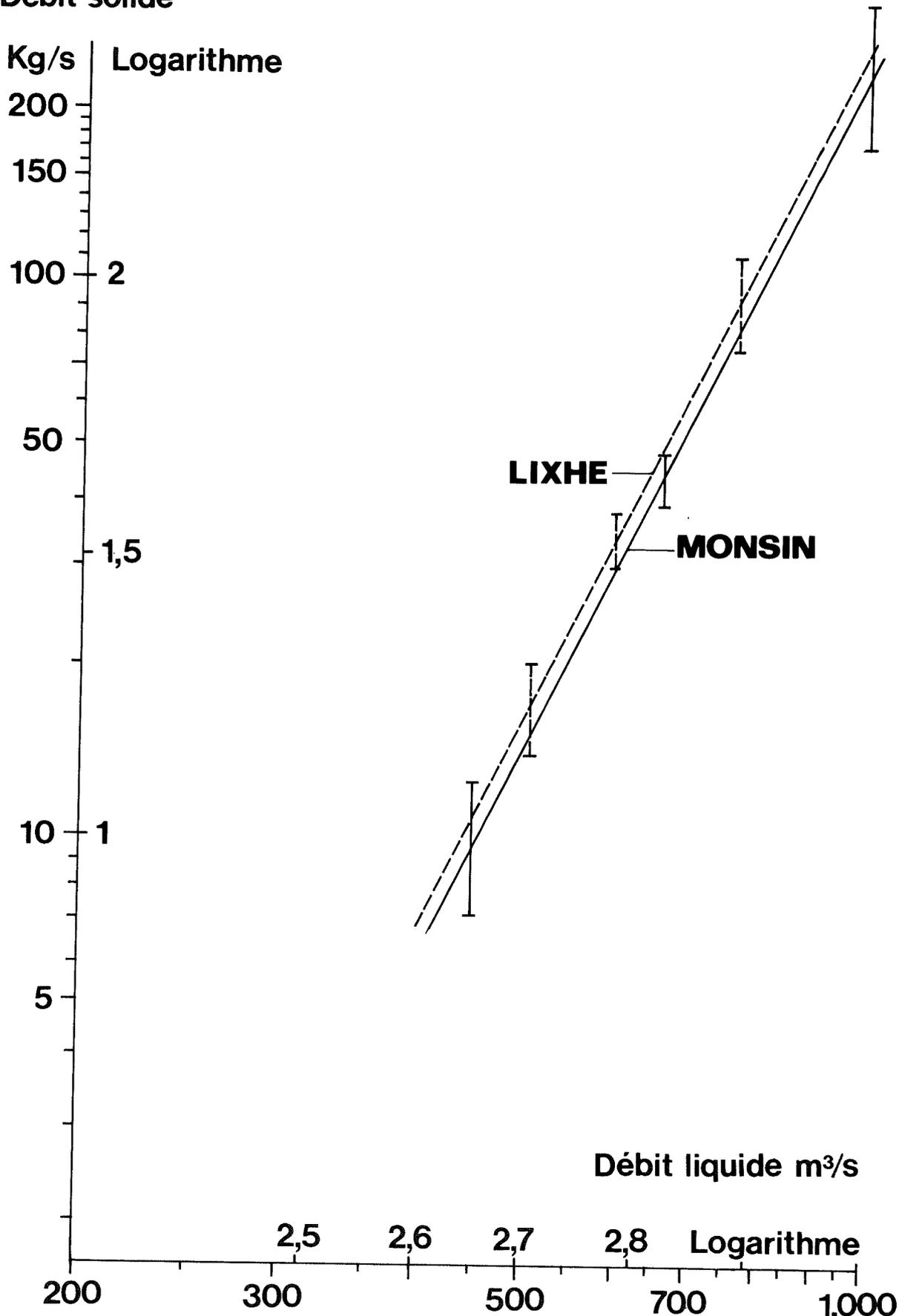


Figure 7 : Relation entre le débit solide (charge en suspension) et le débit liquide à Monsin et Lixhe. Les équations de ces droites de régression sont mentionnées dans le tableau 1. Les traits verticaux montrent les intervalles de confiance à 95 % des différentes régressions.

6. Monsin - Lixhe (fig. 7)

Les droites de régression présentent la même inclinaison et sont très proches l'une de l'autre. Il est vraisemblable que l'écart séparant les deux droites n'ait aucune signification car nous ne connaissons pas de source de sédiment appréciable entre les deux stations.

III. CONCLUSIONS

Bien que le nombre d'observations soit relativement réduit, et malgré les risques d'erreur non négligeables liés à la méthode de prélèvement et aux incertitudes des mesures des débits, l'étude des charges en suspension de la Meuse aux différents barrages donne des résultats généralement concordants. Nous avons été conduits à écarter seulement les observations de Dinant dont les coefficients de corrélation des droites de régression étaient particulièrement faibles. Nos observations ont mis en évidence la très importante sédimentation qui se produit entre le barrage d'Ivoz et celui de Monsin. Elles permettent aussi de supposer (car l'intervalle de confiance à 95 % n'est pas atteint) un accroissement de la charge entre les Grands Malades et Andenne.

Toutefois, les comparaisons que nous avons tentées avec d'autres observations se sont révélées moins satisfaisantes, comme on peut le voir si l'on compare les droites de régression obtenues à Liège par LEMIN (1984), à Tailfer par CLOSE-LECOQ (1981) et à Eysden par VROLIX (1988). Ces droites s'écartent quelque peu de celles que nous avons obtenues, non seulement parce que les méthodes d'observation sont différentes, mais encore parce que les débits considérés n'ont pas été les mêmes. Rappelons à cet égard que les observations prises en compte dans le présent travail sont en chaque endroit limitées en nombre et que des mesures en période de crue ou de décrue sont susceptibles de faire basculer les droites.

Il n'empêche que le présent essai montre bien qu'à condition de poursuivre les mesures pendant une période plus longue et simultanément en différents endroits du fleuve, il est possible de suivre les variations de la charge en suspension et de connaître à la fois la source des sédiments et leur devenir.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Monsieur HACOURT, ingénieur principal à l'Office de la Navigation, pour le vif intérêt qu'il manifeste pour cette étude ainsi que pour les nombreux et précieux renseignements qu'il nous a communiqués.

BIBLIOGRAPHIE

- CLOSE-LECOQ, J.F., 1981. *Les transports en suspension de la Meuse à Liège et à Tailfer*. Mémoire de licence en Sc. géographiques, Liège, 180 p. Inédit, conservé à l'Univ. de Liège.
- CLOSE-LECOQ, J.F., PISSART, A. et KOCH, G., 1982. Les transports en suspension et en solution de la Meuse à Liège et Tailfer. *Bull. Soc. géogr. Liège*, 18 : 5-18.
- CLOSE-LECOQ, J.F., 1985. Quantité de matières transportées en solution et en suspension par l'affluent majeur des karsts belges : la Meuse. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 108 : 275-280.
- LAMALLE, C., 1987. *Les transports en suspension et en solution dans la Burdinale*. Mémoire de licence en Sc. géographiques, Liège, 193 p. Inédit, conservé à l'Univ. de Liège.
- 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 Sc. géographiques, Liège, 183 p. Inédit, conservé à l'Univ. de Liège.
- LEMIN, G., HURTTGEN, C. et PISSART, A., 1987. Les transports en suspension de la Meuse, l'Ourthe et la Hoëgne. *Bull. Soc. géogr. Liège*, 23 : 39-61.
- SPRING, W. et PROST, E., 1883. Etude sur les eaux de la Meuse. *Ann. Soc. géol. Belg.*, 11 : 121-220.
- VAN RIJN, L.C., 1986. *Manual Sediment transport measurements*. Delft Hydraulics laboratory, 343 p.
- VROLIX, M., 1988. *Etude de la charge en suspension de la Meuse entre Hastière et Eysden (NL)*. Mémoire de licence en Sc. géographiques, Liège, 184 p. Inédit, conservé à l'Univ. de Liège.