

FO5931



Environnement
Canada

Environment
Canada

Environment Canada - Environnement Canada

Série scientifique (Canada. Direction Générale des Eaux

No : 75

GB 707 C3354

OOFF

0026272J

LB
107
i-35

Dispersion transversale dans les méandres

B.G. Krishnappan et Y.L. Lau

GB
707
C3354
n. 75

SÉRIE SCIENTIFIQUE n° 75

(English Abstract)

DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES
CENTRE CANADIEN DES EAUX INTÉRIEURES
BURLINGTON, ONTARIO, 1977



Environnement
Canada

Environment
Canada

Dispersion transversale dans les méandres

B.G. Krishnappan et Y.L. Lau



SÉRIE SCIENTIFIQUE n° 75
(English Abstract)

DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES
CENTRE CANADIEN DES EAUX INTÉRIEURES
BURLINGTON, ONTARIO, 1977

Édition française de
Transverse Dispersion in Meandering Channels
préparée par le Module d'édition française
du ministère de l'Environnement

Numéro de catalogue : EN 36-502/75 F
ISBN 0-662-90824-4

©
Ministre des Approvisionnements et Services
1980

Résumé

Le laboratoire d'hydraulique du Centre canadien des eaux intérieures a étudié le processus de dispersion transversale dans les méandres, et le présent rapport donne une description détaillée de cette étude. À l'aide de la théorie des dimensions, il a été établi que, dans la direction transversale des méandres, le coefficient de dispersion sans dimension est fonction du facteur de frottement, du rapport de l'amplitude des méandres à leur largeur et du rapport de la largeur au rayon hydraulique. On cherche à établir une relation fonctionnelle en mesurant les coefficients de dispersion pour différentes valeurs des paramètres susmentionnés. Les méandres qui ont servi à l'étude possédaient des configurations de fond conformes à la réalité, celles-ci étant le résultat de l'affouillement et des dépôts de sable; ces méandres contrastaient avec les méandres à fond rigide utilisés dans des études précédentes. Pour évaluer les coefficients de dispersion, on s'est servi de la «méthode généralisée de changement de moment» proposée par Holley; on a utilisé les valeurs mesurées de la profondeur de l'écoulement, de la vitesse et de la concentration de la solution saline, celle-ci ayant servi de traceur dans la présente étude. On a aussi élaboré une méthode numérique afin de prévoir la distribution de la concentration des matières polluantes continuellement injectées dans les méandres.

Abstract

The transverse dispersion process in meandering channels has been studied in the Hydraulics Laboratory of the Canada Centre for Inland Waters and a detailed description of the study is presented in this report. Using the theory of dimensions, it has been established that the dimensionless dispersion coefficient in the transverse direction in meandering channels is a function of the friction factor, ratio of meander amplitude to width and the ratio of width to hydraulic radius. An attempt is made to establish the functional relationship by measuring the dispersion coefficients for various values of the abovementioned parameters. The meandering channels used for this study had realistic bottom configurations which resulted from the scouring and deposition of the sand forming the bottom of the channels in contrast to the rigid bottom channels used in the previous studies. The dispersion coefficients were evaluated using the Generalized Change of Moment Method, proposed by Holley, with the measured values of the flow depth, velocity and concentration of salt solution, which is used as a tracer solution in the present study. A numerical method has been developed in this study to predict the concentration distribution of a pollutant that is injected continuously into a meandering channel.

Table des matières

RÉSUMÉ/ABSTRACT	III
LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES TABLEAUX	VIII
LISTE DES SYMBOLES	IX
Chapitre 1 INTRODUCTION	1
Chapitre 2 FONDEMENTS THÉORIQUES	2
A. Généralités	2
B. Evaluation des coefficients de dispersion ϵ_i	7
C. Prévion de la distribution de la concentration à partir des coefficients de dispersion	13
Chapitre 3 INSTALLATION EXPÉRIMENTALE ET MÉTHODE	17
Chapitre 4 EXAMEN DES RÉSULTATS	36
A. Profils en travers de l'écoulement	36
B. Distribution de la vitesse	36
C. Distributions de la concentration	37
D. Détermination des coefficients de dispersion	37
E. Détermination de la fonction ψ_{ϵ_z}	37
F. Conclusion	40
G. Suggestions pour les travaux de recherche à venir	40
RÉFÉRENCES	41
ANNEXE A	43
ANNEXE B	51
ANNEXE C	89
ANNEXE D	97

Liste des figures

1	Configuration d'un chenal sinueux et coordonnées des méandres	4
2	Relation entre la largeur (B) et la longueur d'onde (λ) du méandre pour des cours d'eau naturels	7
3	Diverses formes de méandres	18
4	Vue d'ensemble de l'installation expérimentale	19
5	Appareil d'injection	21
6	Distributions des valeurs mesurées de la profondeur (A), de la vitesse (B) et de la concentration (C) pour l'expérience n° 1	23
7	Distributions des valeurs mesurées de la profondeur (A), de la vitesse (B) et de la concentration (C) pour l'expérience n° 2	24
8	Distributions des valeurs mesurées de la profondeur (A), de la vitesse (B) et de la concentration (C) pour l'expérience n° 3	25
9	Distributions des valeurs mesurées de la profondeur (A), de la vitesse (B) et de la concentration (C) pour l'expérience n° 4	26
10	Distributions des valeurs mesurées de la profondeur (A), de la vitesse (B) et de la concentration (C) pour l'expérience n° 5	27
11	Distributions des valeurs mesurées de la profondeur (A), de la vitesse (B) et de la concentration (C) pour l'expérience n° 6	28
12	Distributions des valeurs mesurées de la profondeur (A), de la vitesse (B) et de la concentration (C) pour l'expérience n° 7	29

13	$[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ pour l'expérience n° 1	32
14	$[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ pour l'expérience n° 2	33
15	$[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ pour l'expérience n° 3	33
16	$[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ pour l'expérience n° 4	34
17	$[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ pour l'expérience n° 5	34
18	$[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ pour l'expérience n° 6	35
19	$[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ pour l'expérience n° 7	35
20	Variation du coefficient de dispersion sans dimension α_1 en fonction du rapport H/B de l'amplitude à la largeur	39
21	Variation de α_2 en fonction de H/B	39
22	Variation de α_3 en fonction de H/B	39
23	Variation de α_4 en fonction de H/B	39

Liste des tableaux

1	Résumé des données hydrauliques	22
2	Résumé des valeurs mesurées des coefficients de dispersion sans dimension	31

Liste des symboles

- x : coordonnée le long de l'axe du méandre
- y : coordonnée verticale
- z : coordonnée dans le sens transversal, perpendiculaire à la fois à x et à y
- h_1 : coefficient métrique
- h : profondeur de l'écoulement
- R : rayon hydraulique moyen du cycle de méandre complet
- λ : longueur d'onde du méandre
- H : amplitude du méandre
- B : largeur du chenal
- r_c : rayon de courbure de l'arc de cercle
- ρ : masse volumique du fluide
- μ : viscosité absolue du fluide
- u, v, w : composantes de la vitesse dans les directions respectives x, y et z
- v_* : vitesse moyenne de frottement sur un cycle de méandre complet
- C : concentration volumétrique du traceur
- ϵ_i : coefficient de diffusion dans une i^{e} direction
- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ et α_4
: coefficients de dispersion sans dimension dans la direction z

Introduction

Lorsqu'une matière polluante est déversée dans un cours d'eau naturel, elle est transportée au rythme de l'écoulement; au cours de son déplacement, elle se disperse simultanément dans des directions verticales, latérales et longitudinales, en raison de la turbulence qui existe dans ces cours d'eau. Les taux de dispersion dans ces directions perpendiculaires entre elles dépendent de la nature et de la géométrie de l'écoulement. La connaissance quantitative de ces taux de dispersion d'une matière polluante dans un cours d'eau naturel constitue un instrument de gestion essentiel lorsque vient le temps de décider de la quantité de matière polluante que l'on peut déverser dans le cours d'eau, sans enfreindre certaines normes établies de la qualité des eaux. Pour le moment, cette connaissance est limitée à des géométries d'écoulement très simples, et son application à des problèmes pratiques comporte souvent une bonne part d'incertitude. Le but des travaux de recherche qui font l'objet du présent rapport est d'en arriver à mieux connaître le taux de dispersion dans la direction transversale pour des géométries d'écoulement se rapprochant de celles que l'on trouve dans les cours d'eau naturels.

Les cours d'eau naturels forment habituellement des méandres, donnant ainsi naissance à des courants transversaux qui se déplacent vers la berge convexe au fond et vers la berge concave à la partie supérieure. Il s'ensuit que l'érosion des sédiments se produit à l'extérieur du méandre, tandis que les dépôts s'effectuent à l'intérieur. C'est pourquoi les profils en travers de l'écoulement varient tout au long du cours d'eau, de sorte que les taux de dispersion dans de tels écoulements seront certainement différents des cas plus simples, où la géométrie de l'écoulement est la même sur toute la longueur du cours d'eau.

Jusqu'ici, on n'a trouvé aucun document publié portant sur l'étude en laboratoire d'une telle géométrie d'écoulement¹. Par conséquent, les présents travaux visent à étudier systématiquement les processus de dispersion latérale dans des méandres dont le lit a une configuration conforme à la réalité. Dans le chapitre qui suit, on procède à un rappel des fondements théoriques et on donne un aperçu du programme des expériences. Dans le troisième chapitre, on décrit l'installation expérimentale et la méthode numérique destinée à prédire la distribution de la concentration d'une matière polluante dans un chenal sinueux.

1. Y. Chang (1971)⁽¹⁾, H.B. Fisher (1969)⁽²⁾ et Engman (1974)⁽³⁾ ont étudié en laboratoire les processus d'étalement latéral dans les méandres; cependant, le fond du méandre observé étant plat, les courants transversaux ne sont pas plus forts et ne sont guère représentatifs de la réalité.

Fondements théoriques

A. GÉNÉRALITÉS

On peut décrire le transport d'une matière polluante qui flotte d'une manière neutre au moyen de l'équation générale de diffusion (dans un système de coordonnées cartésiennes) :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \sum_{i=1}^3 U_i \frac{\partial C}{\partial x_i} = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\epsilon_i \frac{\partial C}{\partial x_i} \right] \quad (1)$$

où C , la concentration volumétrique sans dimension, est une fonction de l'espace ($x_i, i = 1, 2, 3$) et du temps t . On obtient cette équation en utilisant le principe de conservation de la masse pour la matière polluante (voir W.W. Sayre⁽⁴⁾). Les termes dont on fait la sommation dans le membre gauche de l'équation (1) représentent le transport par convection de la matière polluante, dû aux composantes moyennes U_i de la vitesse dans le temps, tandis que les termes situés entre crochets dans le membre de droite donnent le transport de la matière polluante, dû aux champs de vitesse et de concentration en fluctuation. On suppose que le transport dû aux champs de vitesse et de concentration en fluctuation est proportionnel au gradient de la concentration ($\partial C / \partial x_i$), et la constante de proportionnalité ϵ_i est le coefficient de diffusion en régime turbulent dans la i^{e} direction. En d'autres mots, la constante ϵ_i est ainsi définie :

$$\epsilon_i = \overline{-U_i' C'} / (\partial C / \partial x_i) \quad (2)$$

où U_i' est la composante variable de la vitesse dans la i^{e} direction, et C' est la partie variable de la concentration C .

L'hypothèse exprimée par l'équation (2) résulte d'une analogie avec le concept de coefficient des frottements intérieurs de Boussinesq, qui exprime le transfert de la quantité de mouvement en régime turbulent sous forme d'un coefficient. A_{τ_i} (dans la i^{e} direction).

$$A_{\tau_i} = \overline{-U_i' U_j'} / (\partial U / \partial x_i) \quad (3)$$

Les composantes U_i de la vitesse et les coefficients de diffusion en régime turbulent ϵ_i qui apparaissent à l'équation (1) sont généralement fonction tant des coordonnées cartésiennes que du temps t , et dépendent probablement du régime d'écoulement turbulent, de la rugosité du fond

et de la géométrie des limites d'écoulement. La connaissance des fonctions qui expriment la dépendance de U_i et de ϵ_i par rapport aux paramètres caractéristiques de l'écoulement susmentionnés est une condition préalable à la solution de l'équation (1) et au calcul de la distribution de la concentration C dans le cas d'un ensemble donné de conditions initiales et de conditions aux limites.

Pour évaluer ces fonctions, on ne peut recourir aux méthodes analytiques que dans le cas de configurations très simples de l'écoulement, et, même là, ces méthodes restent encore incomplètes. Ces fonctions peuvent donc être déterminées uniquement de manière empirique, à l'aide d'expériences effectuées soit en laboratoire, soit sur le terrain.

Afin d'exprimer U_i et ϵ_i sous forme de paramètres sans dimension, ce qui simplifie grandement le travail expérimental et en facilite la planification, on a donné un caractère «sans dimension» à l'équation (1) en se servant d'une longueur et d'une vitesse types pour caractériser le champ d'écoulement, comme on l'explique ci-dessous.

Puisque la dimension absolue d'un écoulement peut être spécifiée par une profondeur d'écoulement h , pour un profil en travers typique, et puisque les vitesses U_i et U_i' sont proportionnelles à la vitesse de frottement ν_* , on se sert de h et de ν_* , respectivement, comme longueur et vitesse types. Si l'on exprime les coordonnées sans dimension de la façon suivante :

$$\text{et } \left. \begin{aligned} \xi_i &= x_i/h \\ \theta &= t\nu_*/h \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

l'équation (1) devient, sous sa forme sans dimension :

$$\frac{\partial C}{\partial \theta} + \sum_{i=1}^3 \left[\frac{U_i}{\nu_*} \frac{\partial C}{\partial \xi_i} \right] = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial \xi_i} \left[\frac{\epsilon_i}{h\nu_*} \frac{\partial C}{\partial \xi_i} \right]. \quad (5)$$

L'équation (5) indique que pour une géométrie donnée de l'écoulement, la distribution de la concentration C dans l'espace et dans le temps varie en fonction des quantités sans dimension suivantes :

$$U_i/\nu_* \quad \text{et} \quad \epsilon_i/h\nu_* \quad (6)$$

qui sont elles-mêmes fonction de la combinaison sans dimension déterminant le phénomène d'écoulement.

Lorsque la géométrie des limites d'écoulement est spécifiée, la structure de turbulence de l'écoulement peut être définie au moyen des paramètres caractéristiques suivants :

$$\nu_*; h; \rho; \mu; k_s \quad (7)$$

où ρ et μ représentent respectivement la masse volumique et la viscosité absolue du fluide, et où k_s est la hauteur de la rugosité des limites équivalente au sable. Les combinaisons sans dimension qui peuvent être formées à partir de ces paramètres sont :

$$\rho v_* h / \mu \text{ (nombre de Reynolds) et } k_s / h \text{ (rugosité relative)} \quad (8)$$

de sorte que les vitesses sans dimension (U_i / v_*) et les coefficients de diffusion sans dimension ($\epsilon_i / h v_*$) (qui peuvent varier dans l'espace et le temps) doivent être fonction des combinaisons sans dimension [équation (8)] ainsi que de ξ_i et θ . On a donc :

$$\left. \begin{aligned} \frac{U_i}{v_*} &= \phi_{U_i} \left(\frac{\rho v_* h}{\mu}; \frac{k_s}{h}; \xi_1; \xi_2; \xi_3; \theta \right) \\ \frac{\epsilon_i}{h v_*} &= \phi_{\epsilon_i} \left(\frac{\rho v_* h}{\mu}; \frac{k_s}{h}; \xi_1; \xi_2; \xi_3; \theta \right) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Dans le cas d'un chenal sinueux qui possède une longueur d'onde de méandre λ , une amplitude de méandre H et un profil en travers rectangulaire d'une largeur B (voir la figure 1),

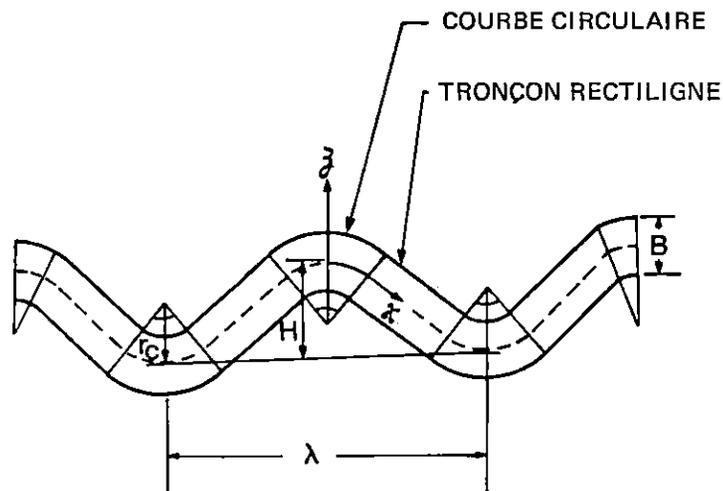


Figure 1
Configuration d'un chenal sinueux et coordonnées des méandres

les autres paramètres géométriques sans dimension deviennent :

$$\lambda/h, H/h \text{ et } B/h \quad (10)$$

et les vitesses sans dimension ainsi que les coefficients de diffusion sans dimension des chenaux sinueux peuvent être exprimés par :

$$\left. \begin{aligned} \frac{U_i}{v_*} &= \psi_{U_i} \left(\frac{\rho v_* h}{\mu}; \frac{k_s}{h}; \frac{\lambda}{h}; \frac{H}{h}; \frac{B}{h}; \xi_1; \xi_2; \xi_3; \theta \right) \\ \frac{\epsilon_i}{h v_*} &= \psi_{\epsilon_i} \left(\frac{\rho v_* h}{\mu}; \frac{k_s}{h}; \frac{\lambda}{h}; \frac{H}{h}; \frac{B}{h}; \xi_1; \xi_2; \xi_3; \theta \right) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Les expressions ci-dessus donnent l'ensemble complet des paramètres sans dimension qui influent sur les processus de diffusion dans des chenaux sinueux. Dans les cours d'eau naturels, dont la largeur est souvent bien supérieure à la profondeur, la distribution de la concentration s'effectue beaucoup plus rapidement à la verticale que dans le sens de la largeur. Par conséquent, il est d'usage de ne considérer que les valeurs moyennes selon la profondeur des vitesses et des coefficients de diffusion, qui deviennent :

$$\left. \begin{aligned} \frac{\bar{U}_i}{v_*} &= \bar{\psi}_{U_i} \left(\frac{\rho v_* h}{\mu}; \frac{k_s}{h}; \frac{\lambda}{h}; \frac{H}{h}; \frac{B}{h}; \xi_1; \xi_3; \theta \right) \\ \frac{\bar{\epsilon}_i}{h v_*} &= \bar{\psi}_{\epsilon_i} \left(\frac{\rho v_* h}{\mu}; \frac{k_s}{h}; \frac{\lambda}{h}; \frac{H}{h}; \frac{B}{h}; \xi_1; \xi_3; \theta \right) \end{aligned} \right\} \quad (i = 1, 3) \quad (12)$$

Les ϵ_i sont appelés «coefficients de dispersion» afin de faire la distinction entre les méthodes d'établissement des moyennes dans le temps et dans l'espace. Si l'écoulement est stable et que la matière polluante est injectée d'une façon continue, les vitesses et la distribution de la concentration sont indépendantes de θ , de sorte que les coefficients de dispersion sont également indépendants de θ , qui peut conséquemment être retranché de l'équation (12).

Dans les présents travaux de recherche, non seulement on ne considérera que les écoulements permanents en association avec une injection continue de matières polluantes, mais on s'en tiendra aux écoulements turbulents sur fond rugueux (puisque l'écoulement de presque toute rivière est de ce type) et aux valeurs du rapport λ/B qui sont prédominantes dans la nature.

Dans le cas des écoulements turbulents sur fond rugueux, le nombre de Reynolds $\rho v_* h / \mu$ n'est plus un paramètre déterminant et dans le cas des rivières naturelles, la longueur d'onde λ du méandre et la largeur B du chenal ne sont pas exactement indépendantes. Comme on peut le voir à la figure 2², les points qui correspondent à la fois aux données recueillies sur le terrain et à celles obtenues en laboratoire peuvent être considérés comme éparpillés entre les droites déterminées par :

$$\lambda/B = 20 \text{ et } \lambda/B = 2\pi \quad (13)$$

Cet éparpillement résulte des différences de la valeur du nombre de Reynolds, $\rho v_* h / \mu$, et la droite $\lambda/B = 2\pi$ correspond aux conditions d'écoulement turbulent sur fond rugueux. Par conséquent, dans de telles conditions :

$$\lambda/h = 2\pi(B/h) \quad (14)$$

C'est pourquoi, dans le cas d'écoulements turbulents sur fond rugueux et à caractère permanent dont les méandres ont des configurations qui satisfont à l'équation (14) et lorsque de plus l'injection des matières polluantes est continue, l'équation (12) prend la forme :

$$\left. \begin{aligned} \frac{\overline{U}_i}{v_*} &= \overline{\phi}_{U_i} \left(\frac{k_s}{h} ; \frac{H}{h} ; \frac{B}{h} ; \xi_1 ; \xi_3 \right) \\ \frac{\overline{\epsilon}_i}{h v_*} &= \overline{\phi}_{\epsilon_i} \left(\frac{k_s}{h} ; \frac{H}{h} ; \frac{B}{h} ; \xi_1 ; \xi_3 \right) \end{aligned} \right\} (i = 1, 3) \quad (15)$$

Dans le cas de l'écoulement turbulent sur fond rugueux, le facteur de frottement f (Darcy-Weisbach) est une fonction unique de k_s/h et par conséquent, il peut être substitué dans l'équation (15) de la façon suivante :

$$\left. \begin{aligned} \frac{\overline{U}_i}{v_*} &= \overline{\psi}_{U_i} \left(f ; \frac{H}{h} ; \frac{B}{h} ; \xi_1 ; \xi_3 \right) \\ \frac{\overline{\epsilon}_i}{h v_*} &= \overline{\psi}_{\epsilon_i} \left(f ; \frac{H}{h} ; \frac{B}{h} ; \xi_1 ; \xi_3 \right) \end{aligned} \right\} (i = 1, 3) \quad (16)$$

2. La figure 2 est tirée du livre de M.S. Yalin, intitulé *Mechanics of Sediment Transport*, Pergamon Press, 1972, figure 7 : 14.

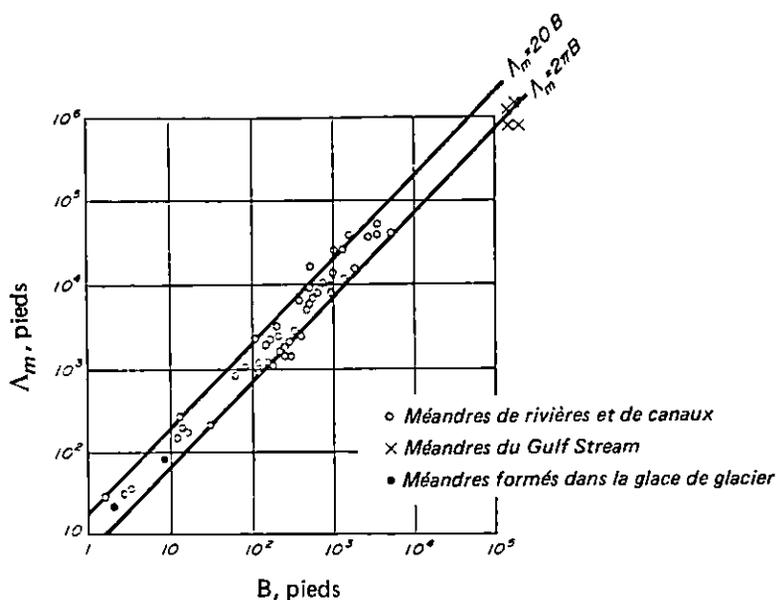


Figure 2

Relation entre la largeur (B) et la longueur d'onde (λ) du méandre pour des cours d'eau naturels

L'équation (16) indique qu'en un point donné de l'écoulement (c'est-à-dire pour des valeurs données de ξ_1 et de ξ_3), les vitesses et les coefficients de dispersion sans dimension sont tous deux fonction de trois variables indépendantes sans dimension: le facteur de frottement f , le rapport H/h de l'amplitude à la profondeur et le rapport B/h de la largeur à la profondeur. Les formes des fonctions $\overline{\psi_{U_i}}$ et $\overline{\psi_{\epsilon_i}}$ doivent être déterminées à partir des mesures expérimentales des vitesses $\overline{U_i}$ et des coefficients de dispersion ϵ_i pour diverses valeurs de ces paramètres. Il n'est pas nécessaire de décrire les méthodes de mesures des vitesses d'écoulement; par contre, la mesure du coefficient de dispersion exige une description détaillée, puisqu'il n'existe aucune méthode type et que la mesure dépend de la définition même du coefficient de dispersion. Les détails de la détermination expérimentale des coefficients de dispersion $\overline{\epsilon_i}$ font l'objet de la section qui suit.

B. ÉVALUATION DES COEFFICIENTS DE DISPERSION ϵ_i

Voyons maintenant quelle sera la définition d'un système de coordonnées approprié pour la description des écoulements dans des chenaux sinueux. D'après la figure 1, x est mesuré le long de l'axe du chenal sinueux, et on suppose que celui-ci consiste en des courbes circulaires de rayon de courbure r_c , reliées entre elles par des tronçons rectilignes, ces derniers alternant avec les courbes circulaires. La valeur de y est mesurée sur la verticale, et z est une mesure perpendiculaire à la fois à x et à y , à partir de l'axe du chenal. Ce système de coordonnées est le même que celui qui a servi à Y. Chang (1971)⁽¹⁾. Dans un tel système, l'équation (1) devient :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{h_1} \frac{\partial}{\partial x} (C u) + \frac{\partial}{\partial y} (C v) + \frac{1}{h_1} \frac{\partial}{\partial z} (h_1 C w) =$$

$$\frac{1}{h_1^2} \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{1}{h_1} \frac{\partial}{\partial z} \left(h_1 \epsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} \right)$$

où h_1 est le coefficient métrique donné par :

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= 1 + z/r_c && \text{pour la courbe à droite} \\ &= 1 && \text{pour tout tronçon rectiligne} \\ &= 1 - z/r_c && \text{pour la courbe à gauche} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

et où u , v et w sont les composantes de la vitesse dans les directions respectives x , y et z ; ϵ_x , ϵ_y et ϵ_z représentent les coefficients de diffusion le long de ces mêmes directions. Lorsque l'équation (17) est intégrée le long de l'axe y , depuis le bas de l'écoulement jusqu'à la surface libre, on obtient de cette équation une version où la moyenne a été établie suivant la verticale :

$$h_1 \frac{\partial \bar{h} \bar{C}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{h} \bar{u} \bar{C}) + \frac{\partial}{\partial z} (h_1 \bar{h} \bar{C} \bar{w}) = \frac{1}{h_1} \frac{\partial}{\partial x} (h \bar{\epsilon}_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (h_1 h \bar{\epsilon}_z \frac{\partial \bar{C}}{\partial z}) \quad (19)^3$$

où \bar{u} , \bar{w} , \bar{C} , $\bar{\epsilon}_x$ et $\bar{\epsilon}_z$ sont les valeurs moyennes de profondeur. Les coefficients de dispersion $\bar{\epsilon}_x$ et $\bar{\epsilon}_z$ représentent maintenant :

$$\text{et } \left. \begin{aligned} \bar{\epsilon}_x &= (\overline{u'' C'}) - \overline{u' C'} / (\partial \bar{C} / \partial x) \\ \bar{\epsilon}_z &= (\overline{w'' C'}) - \overline{w' C'} / (\partial \bar{C} / \partial z) \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

3. On trouvera les détails de la dérivation de l'équation (19) à partir de l'équation (17) chez E.R. Holley (1971)⁽⁵⁾.

où u'' , v'' et w'' sont donnés par :

$$\left. \begin{aligned} u &= \bar{u} + u'' \\ w &= \bar{w} + w'' \\ \text{et } c &= \bar{c} + c'' \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Il est à remarquer que les termes $\overline{u''C''}$ et $\overline{w''C''}$ sont considérés proportionnels aux gradients de concentration $\partial\bar{C}/\partial x$ et $\partial\bar{C}/\partial z$ respectivement, comme dans le cas des termes $\overline{u'C'}$ et $\overline{w'C'}$ [voir l'équation (2)].

Dans le cas d'une injection continue de matière polluante, $\partial\bar{C}/\partial t$ s'annule, et le flux de diffusion ($\bar{\epsilon}_x \partial\bar{C}/\partial x$) devient négligeable en comparaison du flux de convection ($u\bar{C}$); l'équation (19) peut donc être simplifiée de la façon suivante :

$$\frac{\partial}{\partial x} (h \bar{u} \bar{c}) + \frac{\partial}{\partial z} (h_1 h \bar{w} \bar{c}) = \frac{\partial}{\partial z} (h_1 h \bar{\epsilon}_z \frac{\partial \bar{c}}{\partial z}) \quad (22)$$

L'équation (22) sert à évaluer le coefficient de dispersion $\bar{\epsilon}_z$ au moyen de la méthode généralisée du « changement de moment », proposée par E.R. Holley (1971)⁽⁵⁾. Selon cette méthode, l'équation (22) doit être multipliée par z^2 avant d'être intégrée sur la largeur du chenal, c'est-à-dire :

$$\begin{aligned} & \int_{-B/2}^{+B/2} \frac{\partial}{\partial x} (h \bar{u} \bar{c}) z^2 dz + \int_{-B/2}^{+B/2} \frac{\partial}{\partial z} (h_1 h \bar{w} \bar{c}) z^2 dz \\ &= \int_{-B/2}^{+B/2} \frac{\partial}{\partial z} (h_1 h \bar{\epsilon}_z \frac{\partial \bar{c}}{\partial z}) z^2 dz \end{aligned} \quad (23)$$

où B représente la largeur du chenal. Les termes de l'équation (23) doivent être évalués un à un. Si l'on interchange l'ordre d'intégration et de différentiation par la règle de Leibniz, le premier terme devient :

$$\int_{-B/2}^{+B/2} \frac{\partial}{\partial x} (h \bar{u} \bar{C}) z^2 dz = \frac{d}{dx} \int_{-B/2}^{+B/2} h \bar{u} \bar{C} z^2 dz - \left(\left[h \bar{u} \bar{C} z^2 \right]_{z=B/2} \frac{1}{2} \frac{dB}{dx} + \left[h \bar{u} \bar{C} z^2 \right]_{z=-B/2} \frac{1}{2} \frac{dB}{dx} \right) \quad (24)$$

Les termes entre crochets sont nuls puisque les flux (par unité de largeur) $h \bar{u} \bar{C}$, aux bords du chenal, sont également nuls. Le deuxième terme est intégré par parties, et l'on obtient :

$$\int_{-B/2}^{+B/2} \frac{\partial}{\partial z} (h_1 h \bar{w} \bar{C}) z^2 dz = \left(\left[h_1 h \bar{w} \bar{C} z^2 \right]_{z=B/2} - \left[h_1 h \bar{w} \bar{C} z^2 \right]_{z=-B/2} \right) - 2 \int_{-B/2}^{+B/2} h_1 h \bar{w} \bar{C} z dz \quad (25)$$

Les termes entre crochets sont de nouveau nuls puisque les flux latéraux aux limites doivent être nuls. En intégrant par parties, on obtient pour le membre droit de l'équation (23) :

$$\int_{-B/2}^{+B/2} \frac{\partial}{\partial z} \left(h_1 h \bar{\epsilon}_z \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} \right) z^2 dz = \left[h_1 h \bar{\epsilon}_z \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} z^2 \right]_{z=B/2} - \left\{ \left[h_1 h \bar{\epsilon}_z \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} z^2 \right]_{z=-B/2} + 2 \left(\int_{-B/2}^{+B/2} h_1 h \bar{\epsilon}_z \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} z dz \right) \right\} \quad (26)$$

Puisque les flux de diffusion $h \bar{\epsilon}_z \frac{\partial \bar{C}}{\partial z}$ en travers des côtés du chenal sont nuls, les termes entre crochets prennent également une valeur nulle. En substituant les équations (24), (25) et (26) dans l'équation (23) et en divisant le tout par le flux total du traceur $\int_{-B/2}^{+B/2} h \bar{u} \bar{C} dz$, on obtient :

$$\frac{d}{dx} \left[\frac{\int_{-B/2}^{+B/2} h \bar{u} \bar{c} z^2 dz}{\int_{-B/2}^{+B/2} h \bar{u} \bar{c} dz} - 2 \frac{\int_{-B/2}^{+B/2} h_1 h \bar{w} \bar{c} z dz}{\int_{-B/2}^{+B/2} h \bar{u} \bar{c} dz} \right] =$$

$$\left[\frac{\int_{-B/2}^{+B/2} h_1 h \bar{\epsilon}_z \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} z dz}{\int_{-B/2}^{+B/2} h \bar{u} \bar{c} dz} \right]$$

(27)

Afin d'évaluer $\bar{\epsilon}_z$ à partir de l'équation (27), il faut connaître comment il varie avec z . Par exemple, si $\bar{\epsilon}_z$ est indépendant de z , on peut le sortir du signe intégral de l'équation (27) et, h , \bar{u} , \bar{c} et \bar{w} étant connus, le calculer à l'aide de cette équation. Puisque le coefficient de dispersion peut être normalisé (c'est-à-dire transformé en nombre sans dimension) à l'aide d'une vitesse et d'une échelle de longueur [voir l'équation (5)], les relations suivantes sont possibles pour le coefficient de dispersion $\bar{\epsilon}_z$:

$$\bar{\epsilon}_z = \left. \begin{array}{l} \alpha_1 h \nu_* \\ \alpha_2 h \bar{u} \\ \alpha_3 H \nu_* \\ \alpha_4 H \bar{u} \end{array} \right\}$$

(28)

Par exemple, si l'on choisit la première relation donnée en (28), (c'est-à-dire $\bar{\epsilon}_z = \alpha_1 h \nu_*$), l'équation (27) peut être exprimée de la façon suivante :

$$\frac{d}{dx} \sigma^2(x) - g(x) = 2 \alpha_1 f_1(x)$$

(29)

$$\text{où } \sigma^2 = \left[\frac{\int_{-B/2}^{+B/2} h \bar{u} \bar{c} z^2 dz}{\int_{-B/2}^{+B/2} h \bar{u} \bar{c} dz} \right] \quad (30a)$$

$$g(x) = 2 \left[\frac{\int_{-B/2}^{+B/2} h_1 h \bar{w} \bar{c} z dz}{\int_{-B/2}^{+B/2} h \bar{u} \bar{c} dz} \right] \quad (30b)$$

$$\text{et } f_1(x) = - \left[\frac{\int_{-B/2}^{+B/2} h_1 h^2 v_* \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} z dz}{\int_{-B/2}^{+B/2} h \bar{u} \bar{c} dz} \right] \quad (30c)$$

Par conséquent, connaissant $\sigma^2(x)$, $g(x)$ et $f_1(x)$, on peut évaluer le coefficient de dispersion sans dimension α_1 à partir de l'équation (29). Le terme σ^2 est la variance de la distribution du flux de matière polluante, et il représente la dispersion totale qui résulte à la fois de la diffusion et de la vitesse transversale. Le terme $g(x)$ rend compte de la dispersion due à la vitesse transversale, de sorte que la différence $[d\sigma^2/dx - g(x)]$ représente les effets de la dispersion uniquement.

Pour évaluer $\sigma^2(x)$, $g(x)$ et $f_1(x)$ à l'aide des équations (30a), (30b) et (30c), il faut connaître les valeurs de h , \bar{u} , \bar{w} , et \bar{c} . Celles de h , \bar{u} et \bar{c} peuvent être mesurées, tandis qu'on peut calculer \bar{w} à partir des valeurs mesurées de h et de \bar{u} , en faisant appel à l'équation de continuité de débit. Dans le cas d'un écoulement permanent incompressible, l'équation de continuité prend la forme:

$$(\partial u / \partial x) + h_1 (\partial v / \partial y) + (\partial / \partial z) (h_1 w) = 0 \quad (31)$$

En établissant la moyenne de l'équation (31) suivant la profondeur, on en arrive à :

$$(\partial/\partial x) (h \bar{u}) + (\partial/\partial z) (h_1 h \bar{w}) = 0 \quad (32)$$

Lorsque les valeurs de h et de \bar{u} sont connues, la seule valeur qui demeure inconnue dans l'équation (32) est celle de \bar{w} , et la solution de l'équation permet de l'évaluer.

L'emploi de l'équation (29) pour déterminer α_1 nécessite l'évaluation de la dérivée de σ^2 par rapport à x , et si σ^2 ne varie pas linéairement avec x , ce qui est tout à fait possible en raison de la présence de la vitesse transversale w , il est difficile d'obtenir une évaluation précise de $(d\sigma^2/dx)$. Mais cette difficulté peut être surmontée si l'on considère la version intégrale de l'équation (29), soit :

$$\sigma^2(x) - G(x) + A_1 = 2 \alpha_1 F_1(x) \quad (33)$$

$$\text{où } G(x) = \int_{x_0}^x g(x) dx \quad (34a)$$

$$F_1(x) = \int_{x_0}^x f_1(x) dx \quad (34b)$$

et A_1 est la constante d'intégration. Dans l'équation (34), x_0 représente le lieu du point d'injection. Par conséquent, en traçant un graphique de $[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_1(x)$ et en mesurant la pente de la courbe, on peut obtenir la dispersion sans dimension. Il est à remarquer que si la variation du coefficient de dispersion n'est pas correctement représentée, la courbe de $[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_1(x)$ ne sera pas une droite. Mais il n'est pas certain que l'inverse soit vrai.

C. PRÉVISION DE LA DISTRIBUTION DE LA CONCENTRATION À PARTIR DES COEFFICIENTS DE DISPERSION

Si l'on mesure les coefficients de dispersion $\bar{\epsilon}_z$ et les vitesses \bar{u} et \bar{w} dans le cas de chenaux sinueux pour diverses valeurs du facteur de frottement, du rapport de l'amplitude à la profondeur et du rapport de la largeur à la profondeur, il est au moins théoriquement possible de construire les formes des fonctions $\bar{\psi}_{U_i}$ et $\bar{\psi}_{\epsilon_i}$ de l'équation (16). Les formes de ces fonctions étant connues, il est possible de prédire la distribution de la concentration d'une matière polluante dans un chenal sinueux possédant une amplitude, une largeur, une profondeur d'écoulement et un facteur de frottement particuliers, en résolvant l'équation (22) à l'aide des valeurs appropriées de $\bar{\epsilon}_z$, h , \bar{u} et \bar{w} . Puisqu'il n'est pas possible de résoudre l'équation (22) d'une manière analytique,

une méthode numérique visant à obtenir la solution est décrite ici. En faisant appel à l'équation (32) de continuité du débit, on peut exprimer l'équation (22) de la façon suivante :

$$h \left[\bar{u} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} + h_1 \bar{w} \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} \right] = \frac{\partial}{\partial z} \left[h_1 h \bar{\epsilon}_z \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} \right] \quad (35)$$

En réarrangeant les termes et en donnant plus d'importance au côté droit de l'expression, on peut réécrire l'équation (35) comme suit :

$$(\partial \bar{C} / \partial x) + V(\partial \bar{C} / \partial z) = D(\partial^2 \bar{C} / \partial z^2) \quad (36)$$

où V et D sont donnés par :

$$V = h_1 \frac{\bar{w}}{\bar{u}} - \frac{1}{\bar{u}h} \frac{\partial}{\partial z} (h_1 h \bar{\epsilon}_z) \quad (37)$$

$$D = \frac{h_1}{\bar{u}} \bar{\epsilon}_z$$

En suivant la méthode de Stone et Brian⁽⁶⁾ pour rendre une fonction discontinue, l'équation (35) peut s'exprimer sous la forme d'une différence finie :

$$\frac{1}{\Delta x} \left[g \left(\bar{C}_{i+1,j} - \bar{C}_{i,j} \right) + \frac{\theta}{2} \left(\bar{C}_{i+1,j-1} - \bar{C}_{i,j-1} \right) + m \left(\bar{C}_{i+1,j+1} - \bar{C}_{i,j+1} \right) \right]$$

$$+ \frac{V_{i,j}}{\Delta z} \left[a \left(\bar{C}_{i,j+1} - \bar{C}_{i,j} \right) + \frac{e}{2} \left(\bar{C}_{i,j} - \bar{C}_{i,j-1} \right) + c \left(\bar{C}_{i+1,j+1} - \bar{C}_{i+1,j} \right) \right] \quad (38)$$

$$+ d \left(\bar{C}_{i+1,j} - \bar{C}_{i+1,j-1} \right)$$

$$= \frac{D_{i,j}}{2(\Delta z)^2} \left[\bar{C}_{i+1,j+1} - 2 \bar{C}_{i+1,j} + \bar{C}_{i+1,j-1} + \bar{C}_{i,j+1} - 2 \bar{C}_{i,j} + \bar{C}_{i,j-1} \right]$$

où les coefficients de pondération g, θ, m, a, e, c et d satisfont à :

$$\left. \begin{aligned} g + \frac{\theta}{2} + m &= 1 \\ a + \frac{e}{2} + c + d &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (39)$$

Pour l'obtention d'une solution numérique optimale sans dispersion ni oscillations numériques, Stone et Brian recommandent les valeurs suivantes pour θ et e , avec $c = e/2, a = d$ et $m = \theta/2$.

$$\left. \begin{aligned} \theta &= \frac{1}{3} \\ e &= \frac{1}{2} \end{aligned} \right\} \quad (40)$$

Les valeurs numériques des coefficients de pondération deviennent donc :

$$\left. \begin{aligned} g &= \frac{2}{3}; & \frac{\theta}{2} &= m = \frac{1}{6} \\ a = c = d &= \frac{1}{4}; & e &= \frac{1}{2} \end{aligned} \right\} \quad (41)$$

Connaissant la distribution de la concentration à une station quelconque i , et à l'aide des conditions aux limites sans flux en travers des parois latérales, la version développée de l'équation (38) peut être résolue afin d'obtenir les distributions de la concentration aux stations subséquentes $i + 1, i + 2$, etc., en inversant la matrice [équation (42) à la page suivante].

Les coefficients V_{ij} et D_{ij} [donnés par l'équation (37)] peuvent être évalués à l'aide des valeurs mesurées de \bar{u}, h et $\bar{\varepsilon}_z$ et des valeurs calculées de \bar{w} [voir l'équation (32)]. L'annexe A donne le listage d'un programme informatique, destiné à prévoir les distributions de la concentration d'un traceur injecté de façon continue dans des chenaux sinueux en faisant appel aux valeurs mesurées de \bar{u}, h et $\bar{\varepsilon}_z$.

Installation expérimentale et méthode

Comme on l'a vu au chapitre précédent, l'objet du programme expérimental dont font partie les présents travaux de recherche consiste à déterminer la forme de la fonction $\bar{\psi}_{\epsilon_i}$ dans le cas de chenaux sinueux dont le lit a une configuration conforme à la réalité. La figure 3 illustre les configurations sinueuses retenues pour les besoins des essais. La largeur du chenal conserve une valeur constante de 30 cm. Les axes des chenaux sont des sinusoides qui peuvent être représentées approximativement par des arcs de cercle et des tronçons rectilignes comme on peut le voir à la figure 3. L'amplitude du méandre H variait entre 30 cm et 150 cm, tandis que la longueur d'onde du méandre λ était maintenue constante à 1.88 m, afin de satisfaire à la relation exprimée par l'équation (14) entre λ et B . Ces chenaux ont été construits un par un sur une table inclinée de 15.25 m sur 2.44 m. Dans le sens de la longueur, l'inclinaison de la surface supérieure de la table est de 1 p. 100, tandis qu'elle est nulle dans le sens de la largeur. La figure 4 donne une vue d'ensemble schématique du montage dans le cas du chenal sinueux dont l'amplitude est de 30 cm.

L'eau du réservoir supérieur à débit constant du laboratoire parvient, après avoir passé par une conduite d'entrée et un diffuseur, jusque dans un réservoir supérieur contenant des chicaneuses verticales, puis elle s'engage doucement dans le chenal sinueux. À l'extrémité aval du chenal, l'eau passe par une porte d'aval et descend dans un bassin collecteur, à l'extrémité duquel se trouve un déversoir triangulaire qui sert à mesurer le débit. L'eau s'écoule par le déversoir de mesure jusque dans le puisard d'où elle est ramenée dans le réservoir supérieur par pompage. Une vanne, située dans la conduite d'entrée, permet de régler le débit et, grâce à un débitmètre Anubar installé également dans la conduite d'entrée, il est possible d'estimer ce débit de manière approximative. Les parois verticales des chenaux sinueux sont en tôle galvanisée, tandis que le fond est recouvert de sable bouillant dit d'«Ottawa». Le sable est d'abord moulu uniformément en travers du chenal de manière à donner la pente désirée, et le profil d'équilibre du lit qui correspond à un débit particulier est obtenu en laissant l'écoulement affouiller son propre lit. Un dispositif d'alimentation vibratoire sert à déverser du sable en extrémité amont afin de compenser la quantité de sédiments transportés par l'écoulement vers le bassin collecteur aval. En maintenant le débit constant, on obtient habituellement le lit d'équilibre en six ou sept heures. On appelle lit d'équilibre la forme obtenue lorsque les configurations des profils en travers de l'écoulement sont presque identiques pour des sections correspondantes des divers cycles sinueux. Une fois le lit d'équilibre formé, on draine l'eau en prenant garde d'altérer les formes du lit, puis on solidifie ce dernier par la méthode que suggère M.B. Khalil (1972)⁽⁷⁾. Selon cette méthode, on laisse

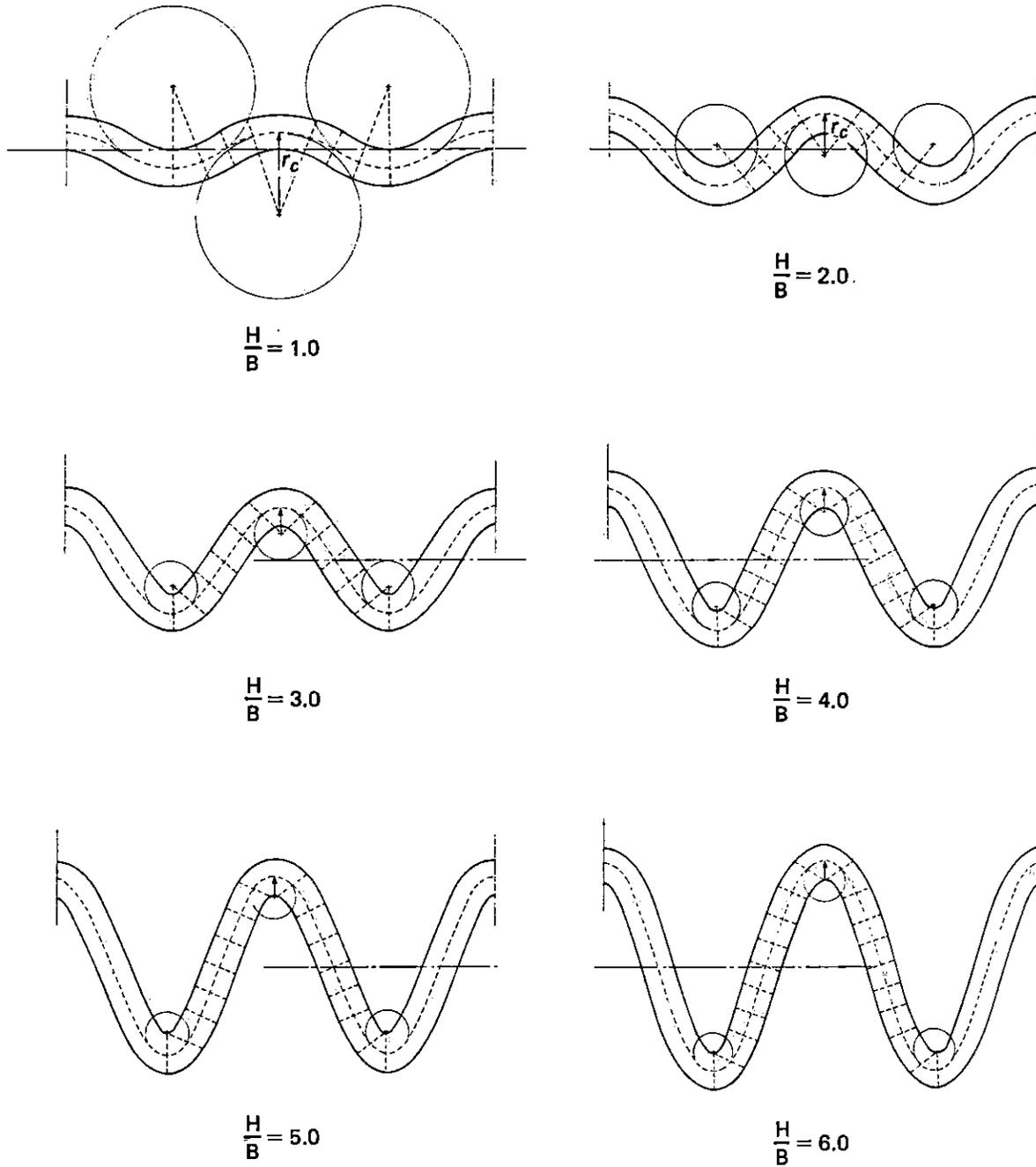


Figure 3
Diverses formes de méandres

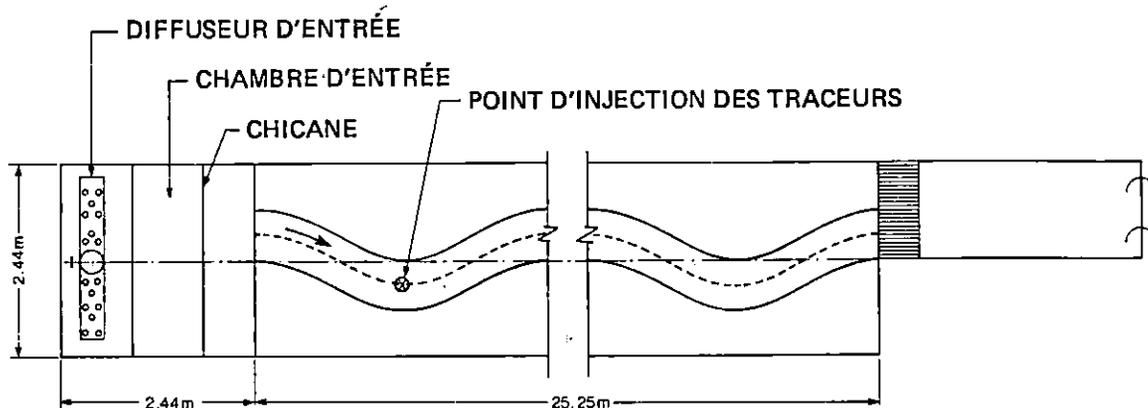


Figure 4
 Vue d'ensemble de l'installation expérimentale
 (échelle non conforme)

d'abord sécher le lit de sable jusqu'à ce que sa teneur en eau s'établisse à environ 10 p. 100 du volume total, puis on vaporise d'une façon uniforme une résine appelée «Aerolite» mélangée à un poids égal d'eau; on passe ensuite une couche d'acide formique en solution diluée, connue sous le nom de «Gardener G.P.X.». La résine et l'acide formique réagissent chimiquement, et une croûte dure se forme à la surface supérieure du lit de sable sans altérer les caractéristiques de rugosité du lit. Pour de plus amples détails au sujet de cette méthode de solidification, se reporter au texte original de Khalil (1972)⁽⁷⁾.

La présence de courants secondaires dus aux courbes du chenal donne lieu à l'érosion du sable dans la partie concave de la courbe et à des dépôts dans la partie convexe; par conséquent, les profils en travers de l'écoulement présentent une grande variation de la profondeur d'écoulement en travers du chenal. La variation des profondeurs d'écoulement en certains endroits (près des courbes) peut atteindre 700 p. 100, et ce phénomène entraîne à son tour un courant secondaire plus fort. Dans les travaux existants sur les études de dispersion dans les chenaux sinueux, on fait peu de cas de cette variation des profondeurs d'écoulement dans un profil en travers.

Comme on l'a vu dans l'introduction, les canaux expérimentaux de Y. Chang (1971)⁽¹⁾, H.B. Fisher (1969)⁽²⁾ et de P. Engman (1974)⁽³⁾ possédaient des fonds (radiers) plats rigides, de sorte qu'ils ne devaient qu'à la surélévation la variation de leur profondeur d'écoulement en travers d'une section; d'ailleurs, cette surélévation n'était que de quelques degrés, au point que Chang en faisait complètement abstraction. Ainsi, les courants secondaires de ces chenaux n'étant pas conformes à la réalité, les processus de dispersion qu'ils commandent ne correspondent pas

à ceux que l'on trouve dans la nature. Selon les auteurs, la présente installation expérimentale est la seule qui ait pu, jusqu'ici, reproduire convenablement la variation de la profondeur dans un canal de laboratoire conçu pour des études de dispersion.

Le profil du fond et les élévations du niveau de l'eau en divers endroits sur une section donnée du canal ont été mesurés à l'aide d'une pointe limnimétrique droite qui a permis de déterminer plus facilement l'aire A de la section transversale d'écoulement, le périmètre mouillé P , le rayon hydraulique R et la profondeur d'écoulement comme fonction de z pour cette section. La composante longitudinale de la vitesse a été mesurée en alignant un bec de tube de Pitot parallèlement à l'axe des x à une section donnée et à divers points le long des axes y et z respectivement; on a ainsi pu déterminer la composante longitudinale moyenne \bar{u} suivant la profondeur. Connaissant h et \bar{u} , il est possible de calculer la composante transversale moyenne \bar{v} suivant la profondeur, à l'aide de la forme de l'équation aux différences finies (32).

Pour effectuer les mesures de concentration, on a utilisé une solution de sel comme traceur. Cette solution a été mélangée à du méthanol afin d'en rendre la densité égale à celle de l'eau. La concentration du traceur était de 62,5 g/l. Il a été injecté de façon continue en un point donné de l'écoulement et à la même vitesse que l'écoulement, à partir d'un appareil d'injection à charge constante, dont la figure 5 donne un schéma. Le débit constant issu de l'orifice tombe librement dans un cylindre, qui est à son tour raccordé par un tube Tygon à l'orifice de décharge situé dans l'écoulement. À sa sortie de l'orifice, la vitesse du traceur est réglée afin de correspondre à la vitesse du fluide au voisinage de l'orifice; on y parvient en réglant le débit du traceur qui provient du réservoir, en faisant varier soit la position du tube d'aération creux, soit l'ouverture de l'orifice. Il ne reste qu'à vérifier la constance du débit du traceur en vérifiant celle du niveau établi dans le cylindre pour le traceur.

La concentration du mélange de sel et de méthanol a été mesurée à l'aide d'une sonde de conductivité à électrode simple du type de celle utilisée par R.S. McQuivey et T.N. Keefer (1972)⁽⁸⁾. Cette sonde fonctionne selon le principe suivant: lorsqu'une grande et une petite électrodes sont immergées dans une solution d'électrolyte, la résistance entre les deux dépend des éléments volumétriques adjacents à la petite électrode. Cette théorie a été proposée par C.H. Gibson et W.H. Schwarz (1963)⁽⁹⁾. Les détails de la construction, le circuit ponté qui doit être utilisé en conjugaison avec cette sonde, l'étalonnage et les détails de fonctionnement sont expliqués dans un rapport de laboratoire préparé par F. Dunnett (1975)⁽¹⁰⁾.

À l'aide des sondes de conductivité, on a mesuré la concentration du mélange de sel et de méthanol aux endroits mêmes où la composante longitudinale de la vitesse a été mesurée, puis on a calculé une valeur moyenne suivant la profondeur \bar{C} . Connaissant h , \bar{u} , \bar{w} , et \bar{C} , on a pu déterminer le coefficient de dispersion $\bar{\epsilon}_z$, comme on l'a vu plus tôt dans la partie B du deuxième chapitre. Il est à remarquer qu'il faut non seulement, pour déterminer $\bar{\epsilon}_z$, connaître les valeurs h , \bar{u} , \bar{w} et \bar{C} , mais aussi déterminer la variation de $\bar{\epsilon}_z$ en fonction de z . Or, dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de prévoir théoriquement la variation de $\bar{\epsilon}_z$ en fonction de z , de sorte qu'on a pris l'habitude de formuler certaines hypothèses à l'égard de cette dépendance. L'équation (28) exprime quatre de ces relations possibles dans le cas $\bar{\epsilon}_z$. La première relation

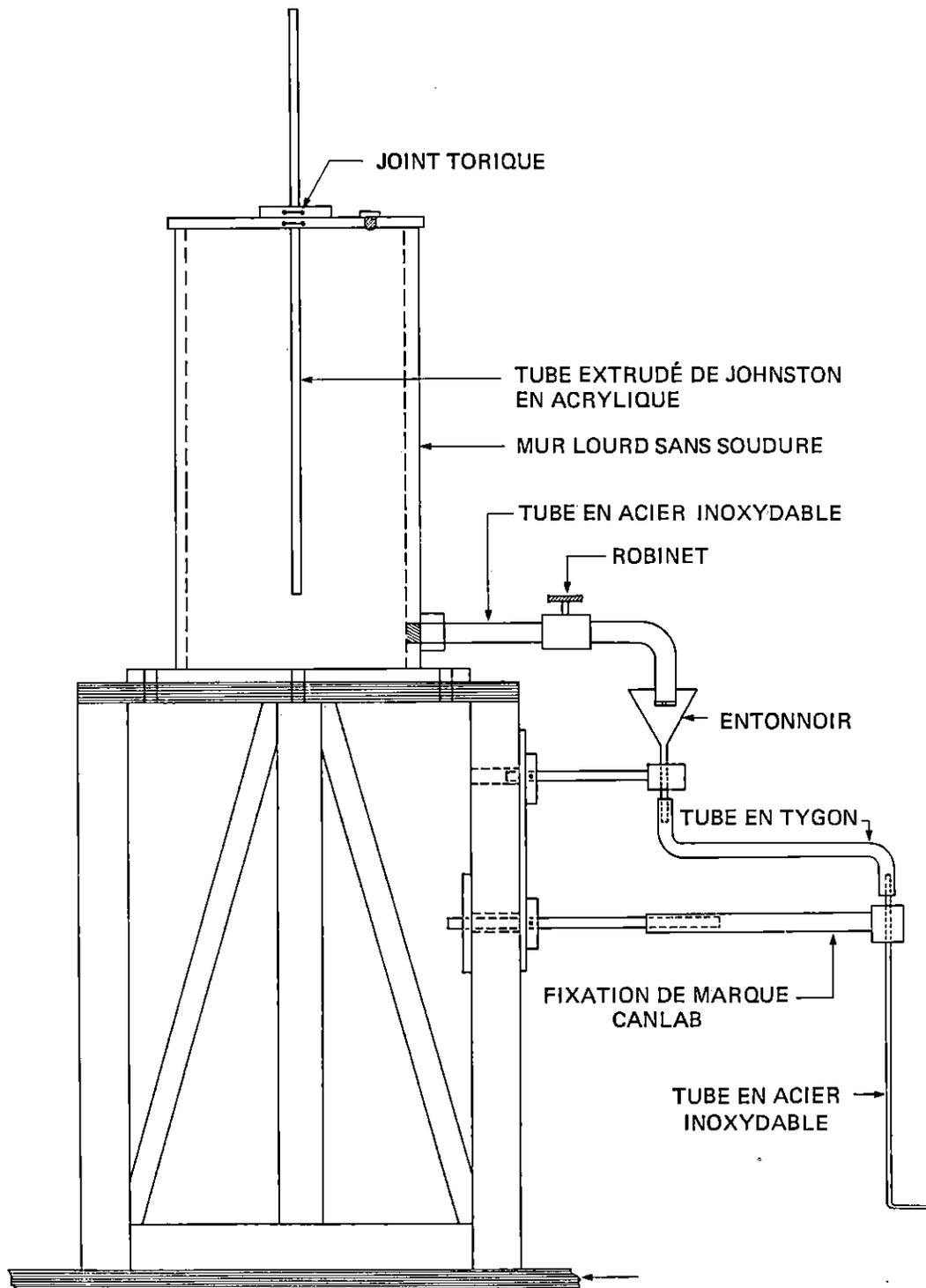


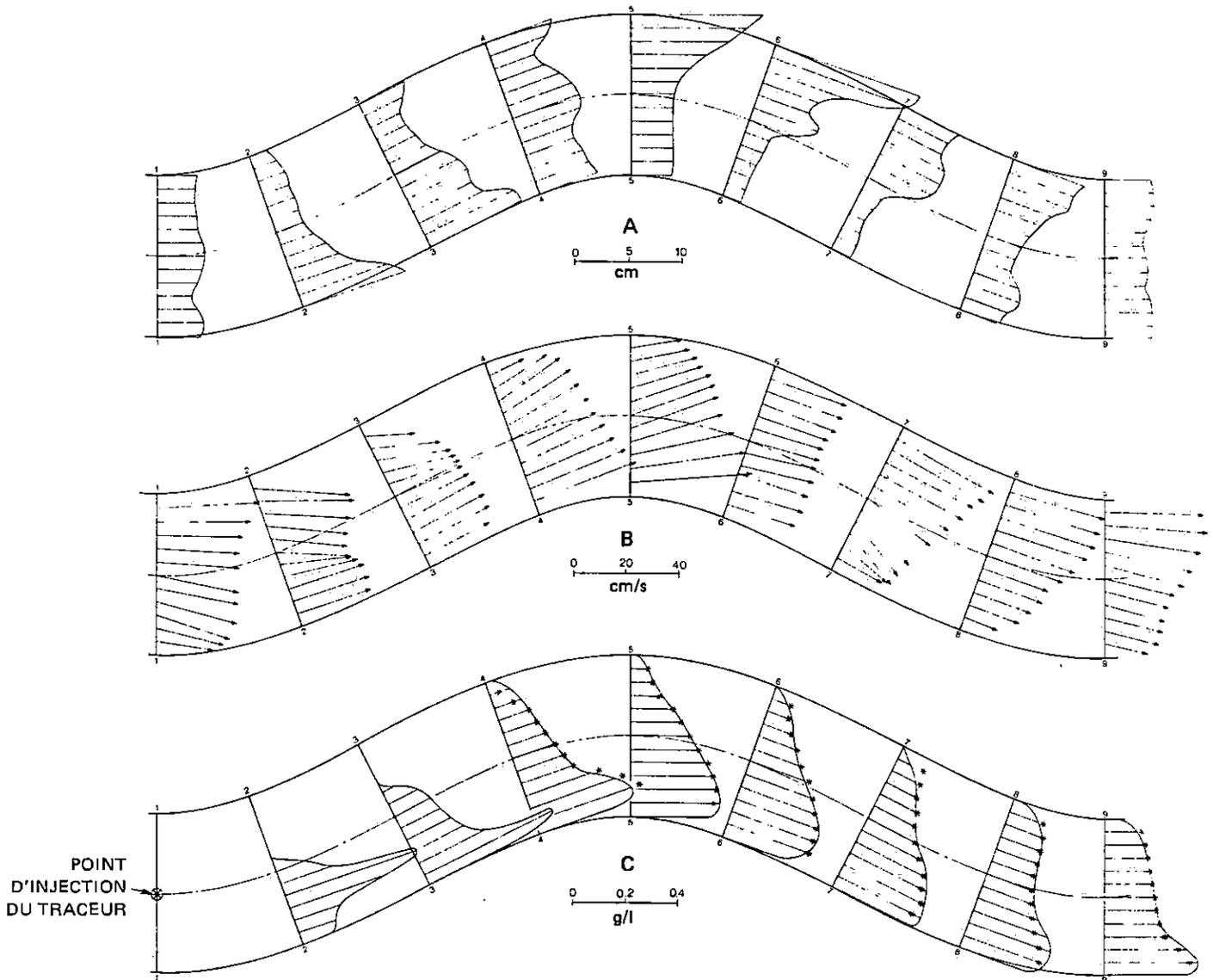
Figure 5
Appareil d'injection

suppose que la variation de $\bar{\epsilon}_z$ le long de l'axe z est identique à celle de h , tandis que la quatrième indique que la variation de $\bar{\epsilon}_z$ est identique à celle de \bar{u} . Pour ce qui est de la deuxième relation, la variation de $\bar{\epsilon}_z$ est supposée être la même que celle du produit de h et de \bar{u} . Finalement, dans le cas de la troisième relation, $\bar{\epsilon}_z$ est supposé constant sur toute la largeur du chenal. Selon l'hypothèse utilisée pour la variation de $\bar{\epsilon}_z$, on obtiendra un coefficient de dispersion sans dimension différent pour les mêmes conditions d'écoulement, étant donné que l'expression de $f_i(x)$ dans l'équation (29) sera différente pour différentes expressions de $\bar{\epsilon}_z$. On peut s'assurer de la supériorité d'une hypothèse par rapport à une autre, en vérifiant la linéarité des tracés entre $[\sigma^2(x) - G(x)]$ et $F_i(x)$.

Nous avons exposé au tableau 1 les conditions hydrauliques des écoulements observés dans le cadre de notre programme expérimental. Nous avons illustré aux figures 6 à 12 les profils en travers de l'écoulement et les distributions de la vitesse et de la concentration qui correspondent à chacune des conditions d'écoulement. Les données à partir desquelles ces figures ont été tracées sont présentées à l'annexe B. Comme on le verra ci-après, c'est à l'aide de ces données mesurées qu'il est possible d'évaluer le coefficient de dispersion $\bar{\epsilon}_z$.

Tableau 1
Résumé des données hydrauliques

Expé- rience n°	H/B	Rayon hydraulique moyen R, en cm	Vitesse moyenne d'écoulement U, en cm/s	Vitesse moyenne de frottement ν_* , en cm/s	B/R	$f = \frac{8\nu_*^2}{U^2}$
1	1.0	2.85	26.3	3.75	10.5	0.162
2	2.0	1.89	26.8	3.07	15.9	0.105
3	2.0	3.95	31.1	4.44	7.6	0.163
4	2.0	2.94	30.1	4.85	10.2	0.208
5	3.0	3.34	27.8	5.12	9.0	0.271
6	3.0	2.59	22.5	3.14	11.6	0.156
7	5.0	3.01	32.1	3.61	10.0	0.101



* Concentrations calculées

Figure 6
Distributions des valeurs mesurées de la profondeur (A), de la vitesse (B) et de la concentration (C)
pour l'expérience n° 1 ($H/B = 1.0$ et $B/h_R = 10.5$)

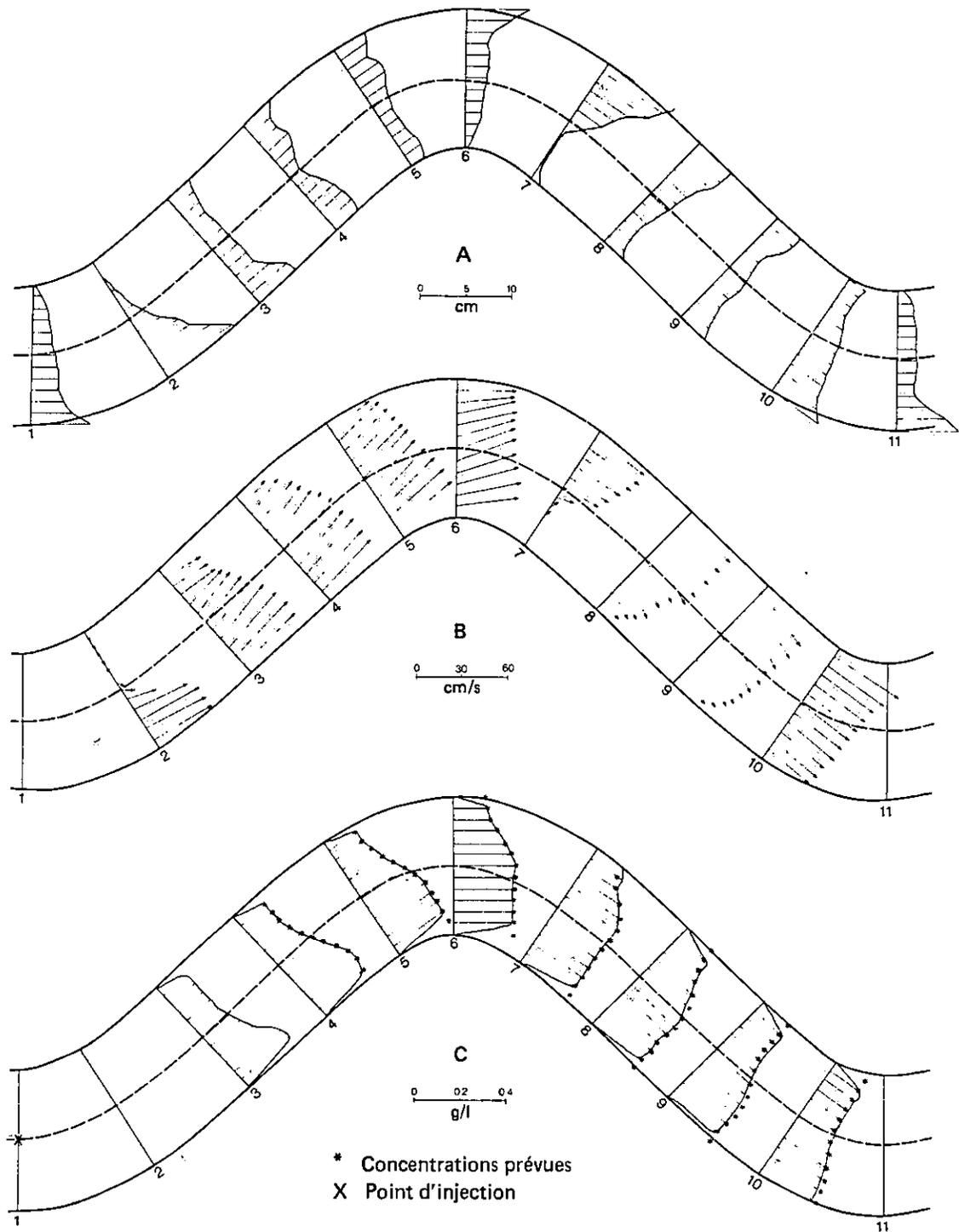


Figure 7
Distributions des valeurs mesurées de la profondeur (A), de la vitesse (B) et de la concentration (C) pour l'expérience n° 2

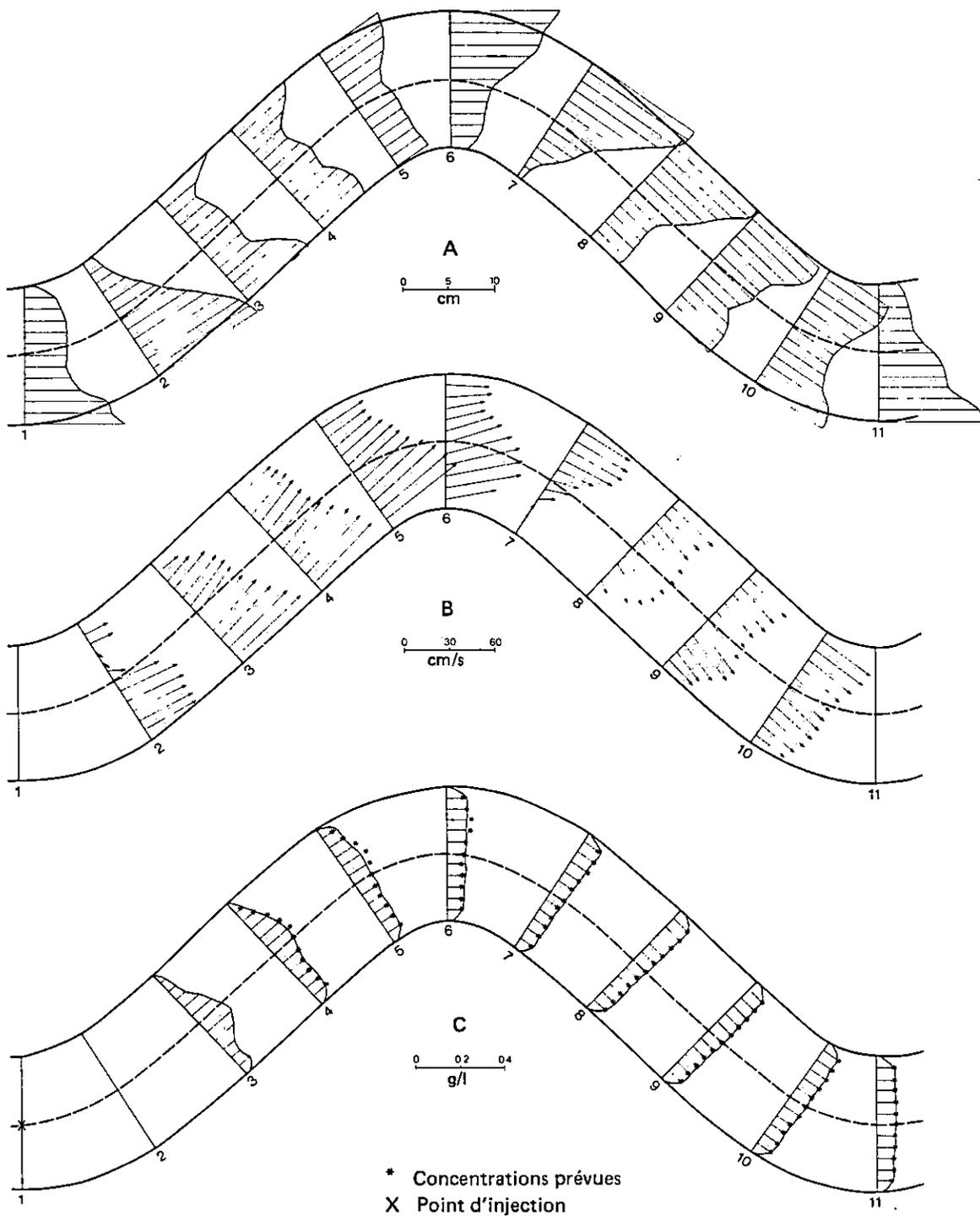


Figure 8
Distributions des valeurs mesurées de la profondeur (A), de la vitesse (B) et de la concentration (C) pour l'expérience n° 3

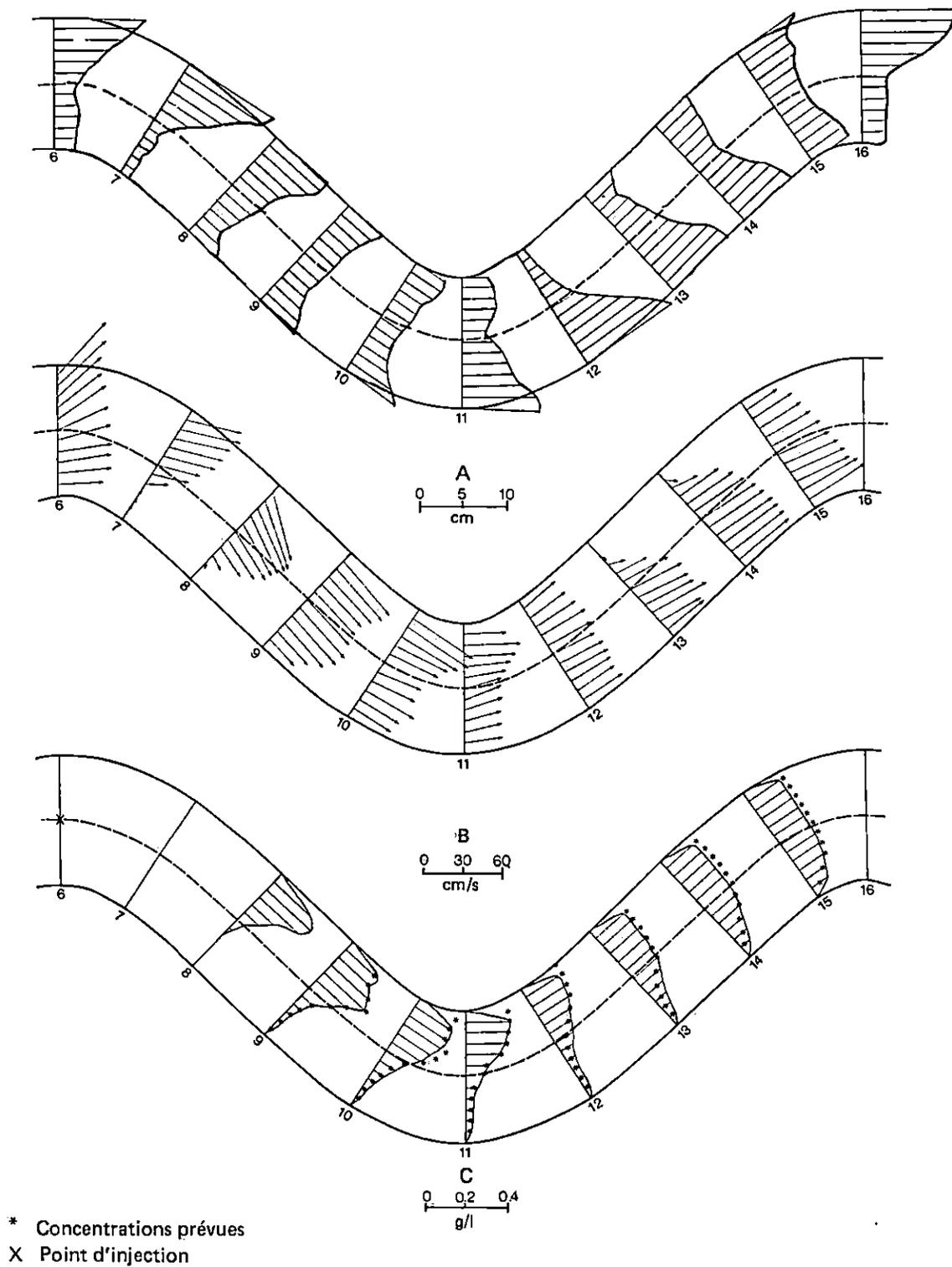


Figure 9
Distributions des valeurs mesurées de la profondeur (A), de la vitesse (B) et de la concentration (C)
pour l'expérience n° 4

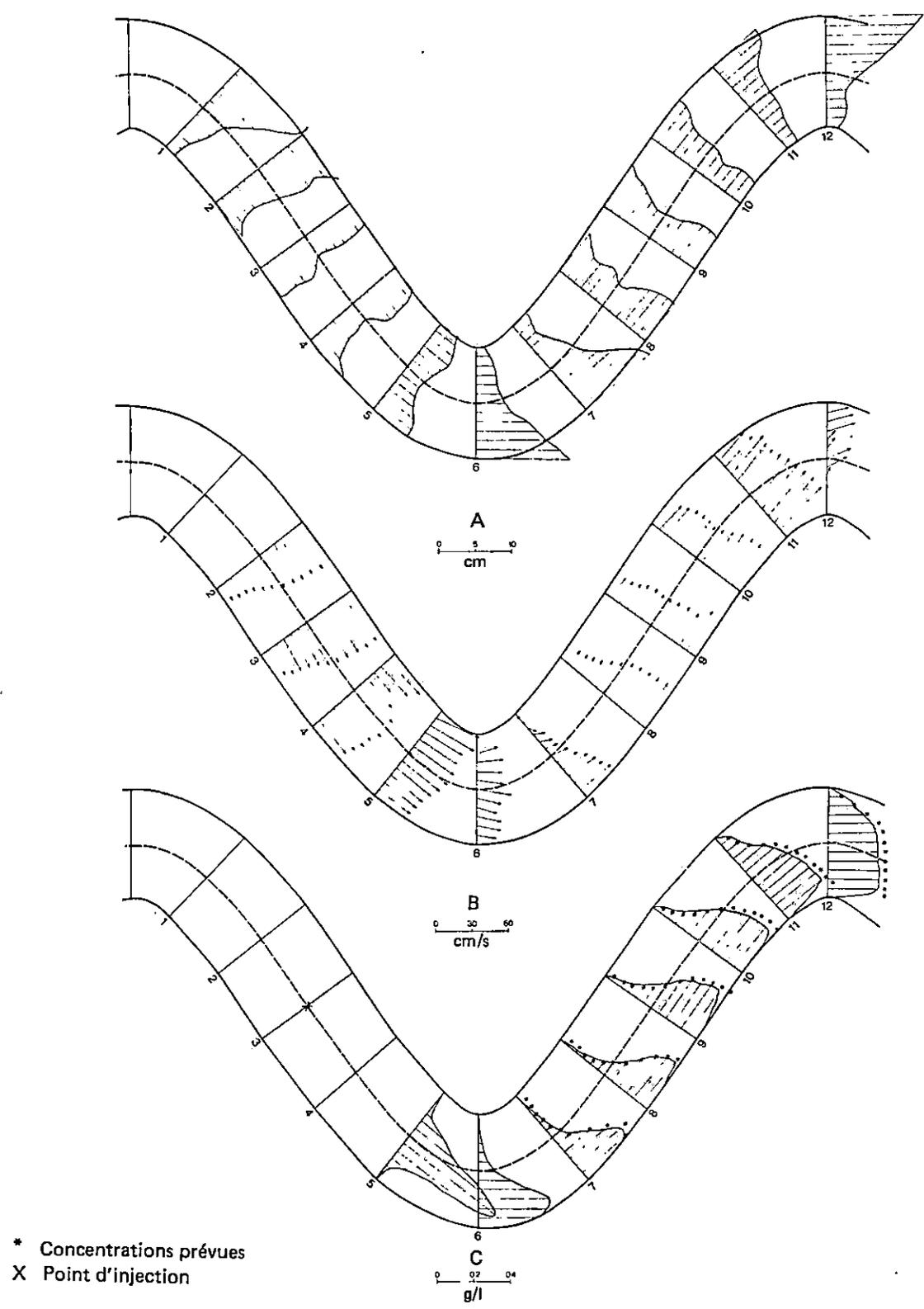
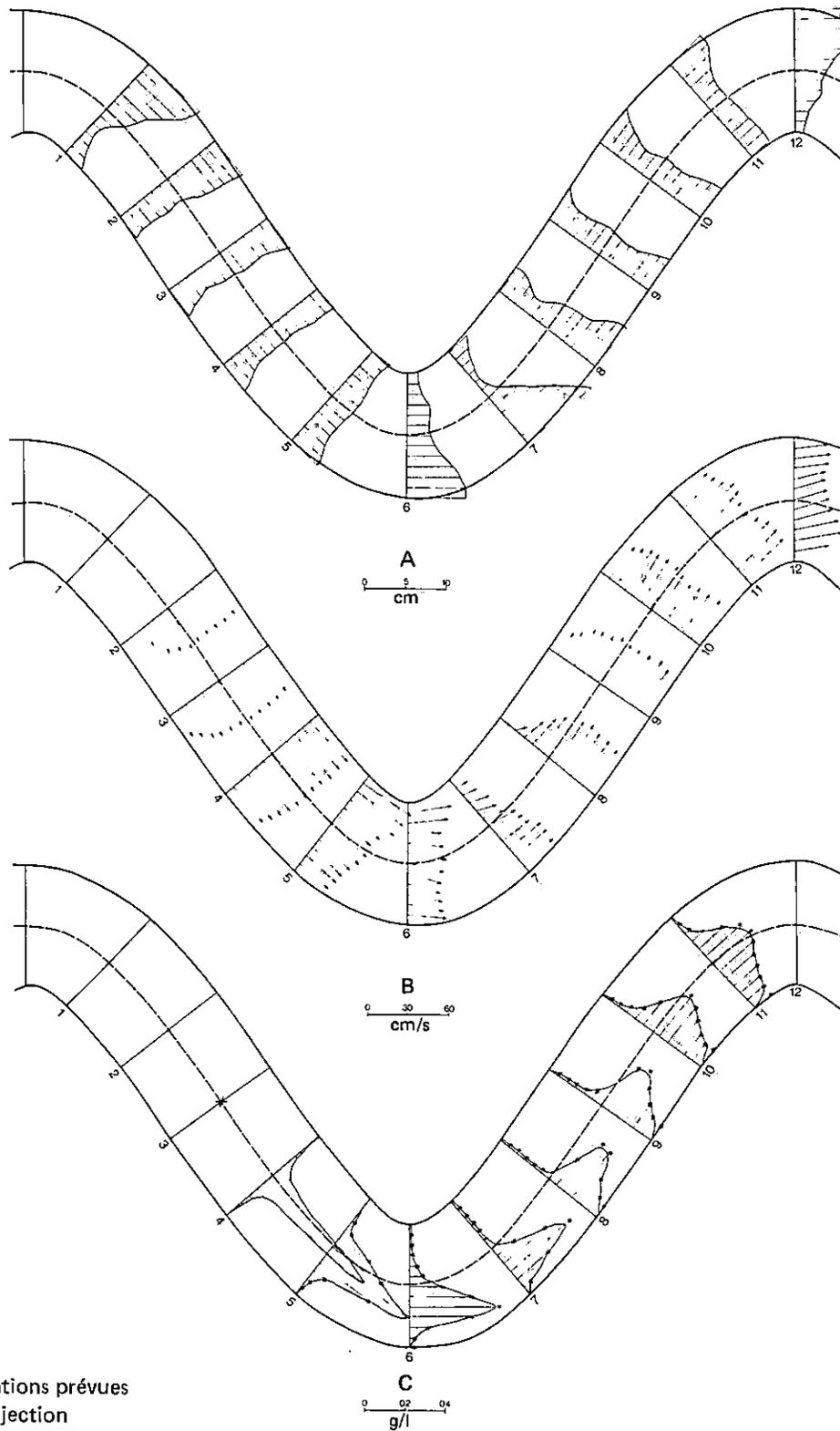


Figure 10
Distributions des valeurs mesurées de la profondeur (A), de la vitesse (B) et de la concentration (C) pour l'expérience n° 5



* Concentrations prévues
 X Point d'injection

Figure 11
 Distributions des valeurs mesurées de la profondeur (A), de la vitesse (B) et de la concentration (C)
 pour l'expérience n° 6

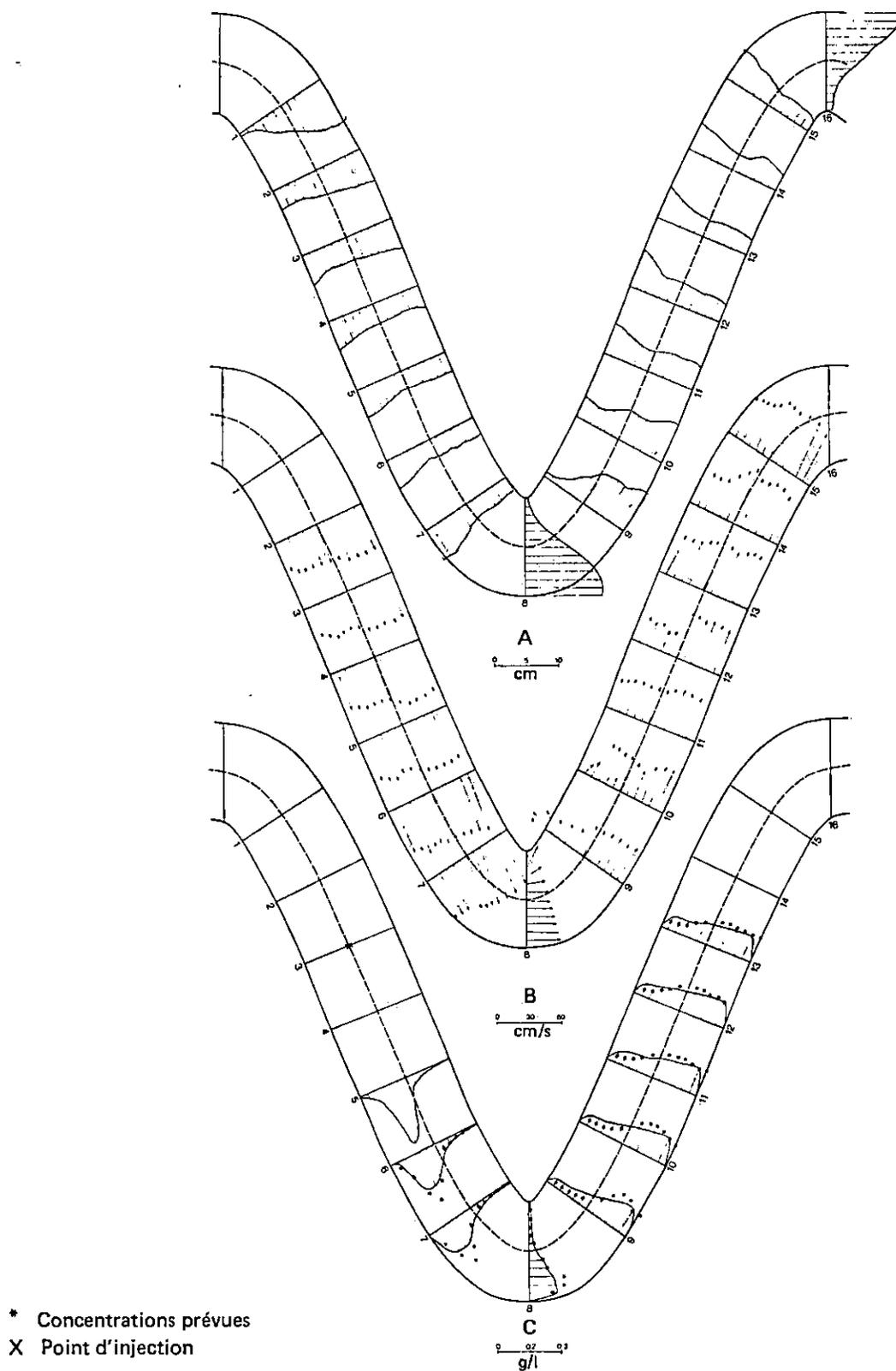


Figure 12
Distributions des valeurs mesurées de la profondeur (A), de la vitesse (B) et de la concentration (C)
pour l'expérience n° 7

Les valeurs de $\sigma^2(x)$ et de $G(x)$, données dans les équations (30a) et (34a) respectivement, restent les mêmes pour toutes les hypothèses sur la variation de $\bar{\epsilon}_z$ en fonction de z . Par contre, les valeurs de $F_i(x)$ dépendent de l'hypothèse utilisée pour décrire $\bar{\epsilon}_z$. L'équation (30c) donne la valeur de $f_i(x)$ lorsque $\bar{\epsilon}_z$ est exprimé par la première des quatre possibilités données dans l'équation (28), et l'équation (33) fournit ensuite le coefficient de dispersion sans dimension α_1 . Les valeurs de $f_i(x)$ pour les autres expressions de $\bar{\epsilon}_z$ deviennent :

$$f_2(x) = - \left[\frac{\int_{-B/2}^{+B/2} h_1 h^2 \bar{u} \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} z dz}{\int_{-B/2}^{+B/2} h \bar{u} \bar{C} dz} \right] \quad (44)$$

$$f_3(x) = - \left[\frac{\int_{-B/2}^{+B/2} h_1 h H v_* \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} z dz}{\int_{-B/2}^{+B/2} h \bar{u} \bar{C} dz} \right] \quad (45)$$

$$f_4(x) = \left[\frac{\int_{-B/2}^{+B/2} h_1 h H \bar{u} \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} z dz}{\int_{-B/2}^{+B/2} h \bar{u} \bar{C} dz} \right] \quad (46)$$

On peut alors évaluer les coefficients de dispersion sans dimension correspondants ($\alpha_i, i=2,3,4$) à l'aide de l'équation (33) avec des valeurs appropriées de $F_i(x)$. Un programme informatique a été rédigé afin d'évaluer $\sigma^2(x)$, $G(x)$ et $F_i(x)$ à l'aide de la règle des trapèzes pour effectuer les intégrations. L'annexe C donne un listage du programme tandis que l'annexe D indique les valeurs de $\sigma^2(x)$, $G(x)$ et $F_i(x)$ qui correspondent à chacune des expériences.

Les figures 13 à 19 présentent les droites qui représentent $[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ pour diverses valeurs hypothétiques de $\bar{\epsilon}_z$ et pour diverses expériences; les coefficients de dispersion sans dimension α_i qui en résultent ont été groupés au tableau 2. Dans le chapitre suivant, on entreprendra un examen approfondi des résultats obtenus au cours des présentes expériences.

Tableau 2
Résumé des valeurs mesurées des coefficients de dispersion sans dimension

Expé- rience n°	H/B	B/R	f	$\alpha_1 = \frac{\bar{\epsilon}_z}{h\nu_*}$	$\alpha_2 = \frac{\bar{\epsilon}_z}{h\bar{u}}$	$\alpha_3 = \frac{\bar{\epsilon}_z}{H\nu_*}$	$\alpha_4 = \frac{\bar{\epsilon}_z}{H\bar{u}}$
1	1.0	10.5	0.162	0.075	0.020	0.0211	0.0035
2	2.0	15.9	0.105	0.075	0.028	0.0131	0.0018
3	2.0	7.6	0.163	0.100	0.025	0.0140	0.0035
4	2.0	10.2	0.208	0.163	0.055	0.0186	0.0060
5	3.0	9.0	0.271	0.225	0.056	0.0125	0.0032
6	3.0	11.6	0.156	0.200	0.045	0.0093	0.0010
7	5.0	10.0	0.101	0.131	0.028	0.0062	0.0008

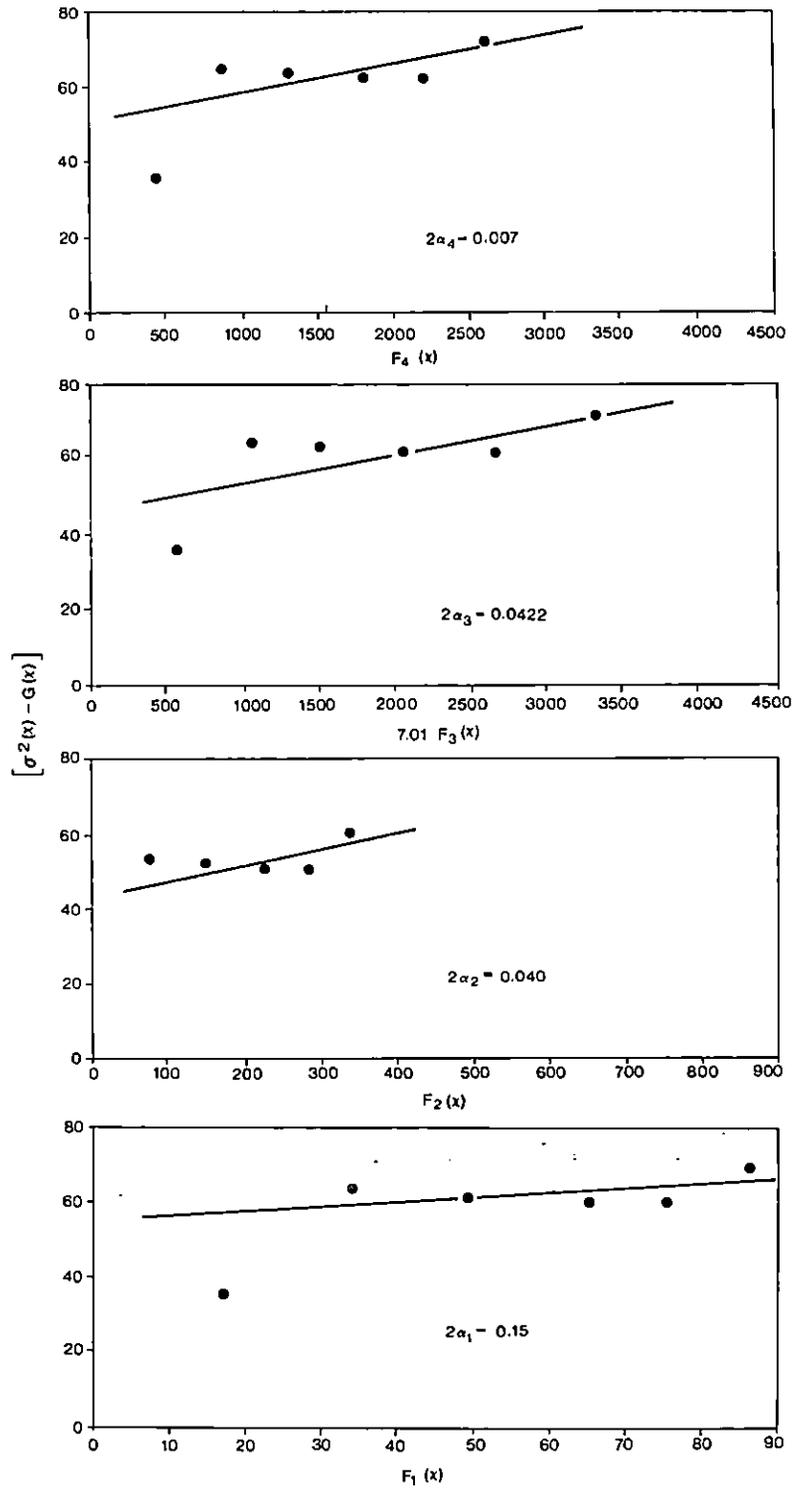


Figure 13
 $[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ pour l'expérience n° 1

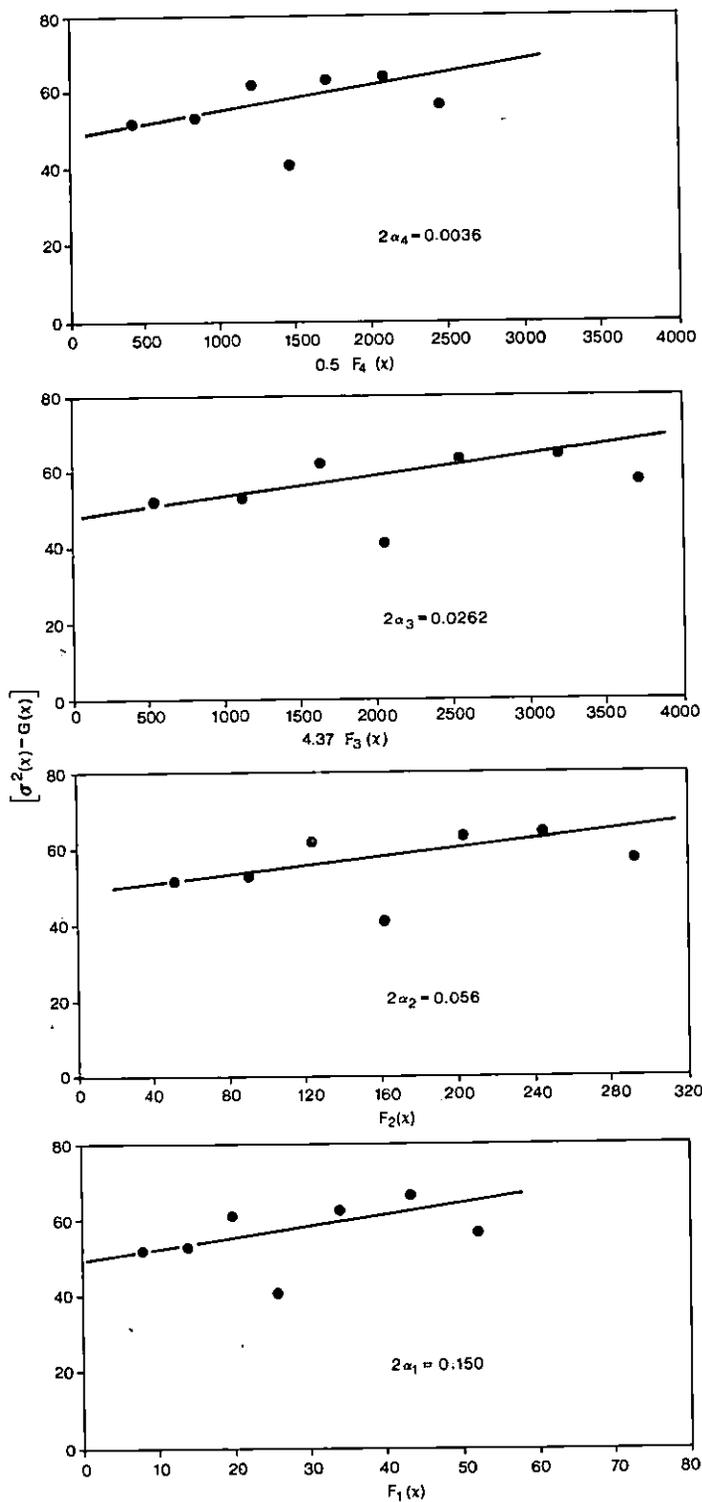


Figure 14
 $[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_j(x)$ pour l'expérience n° 2

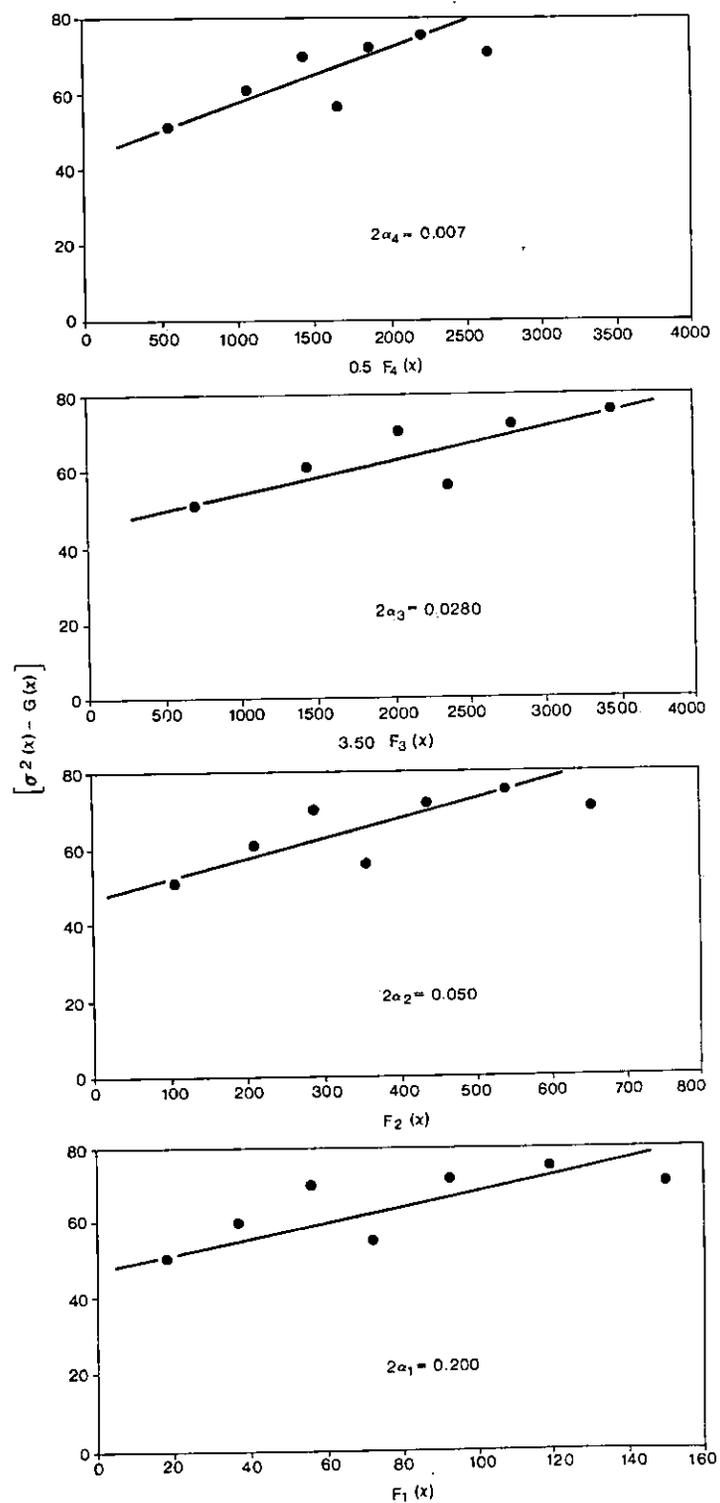


Figure 15
 $[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_j(x)$ pour l'expérience n° 3

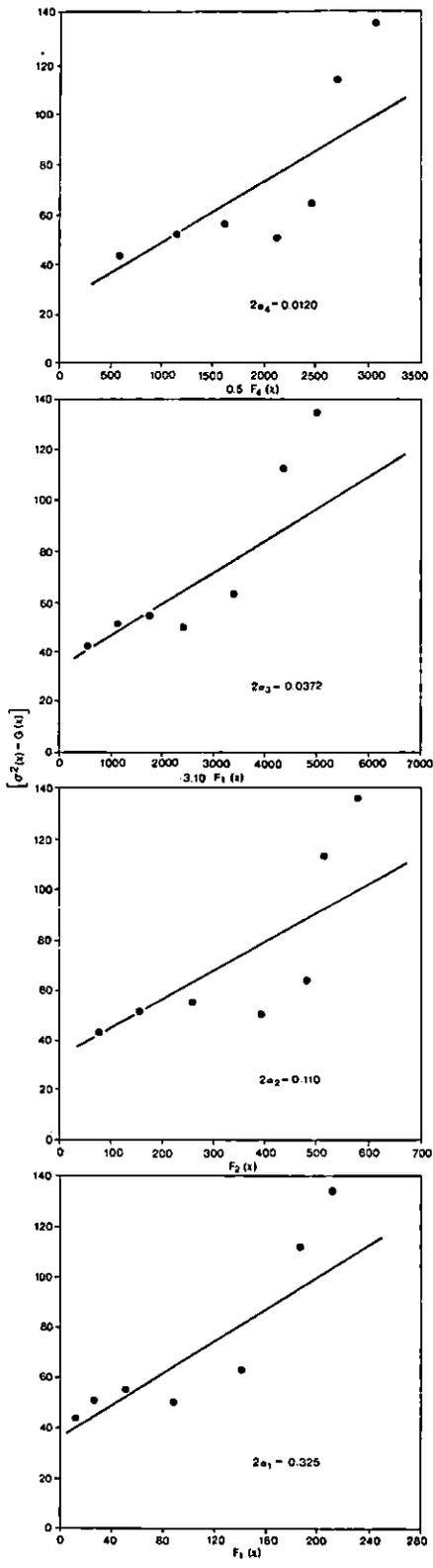


Figure 16

$[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ pour l'expérience n° 4

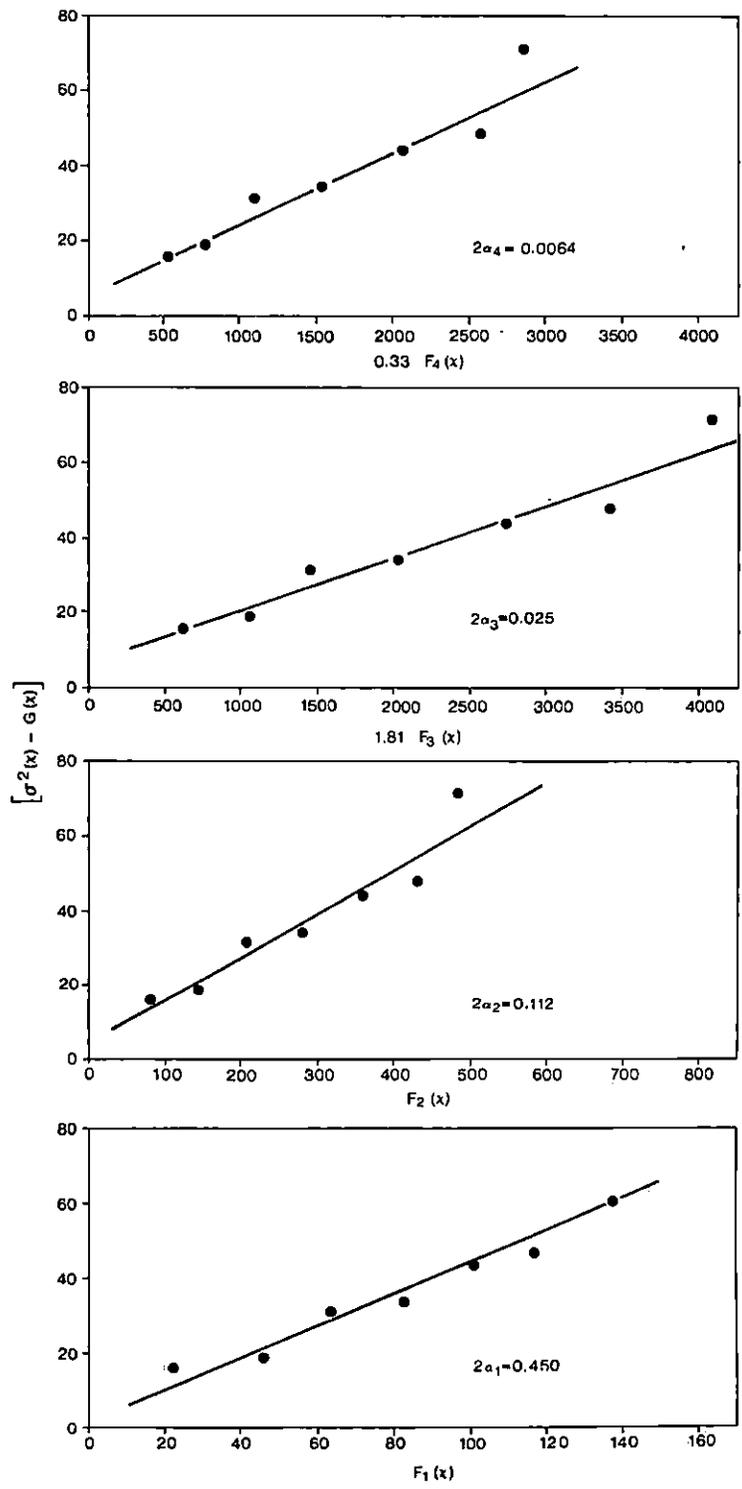


Figure 17

$[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ pour l'expérience n° 5

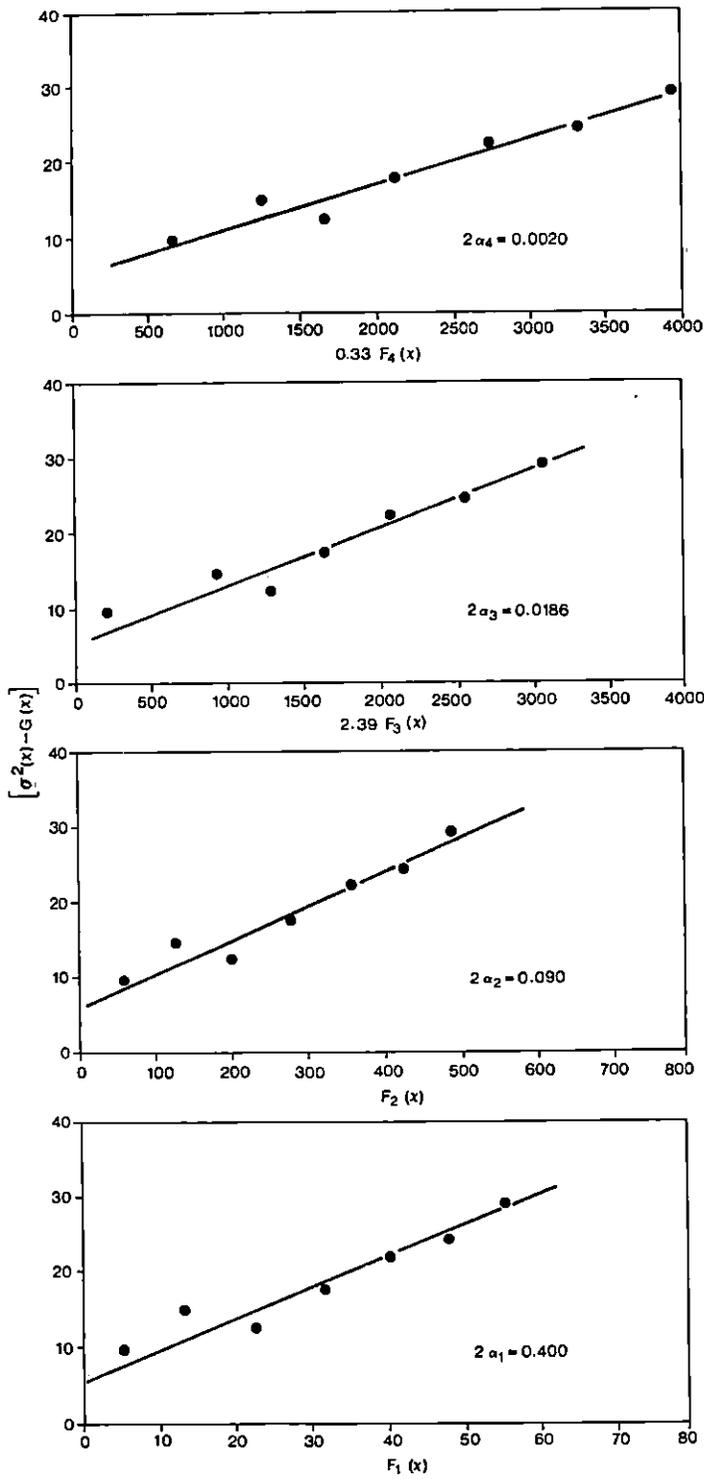


Figure 18

$[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ pour l'expérience n° 6

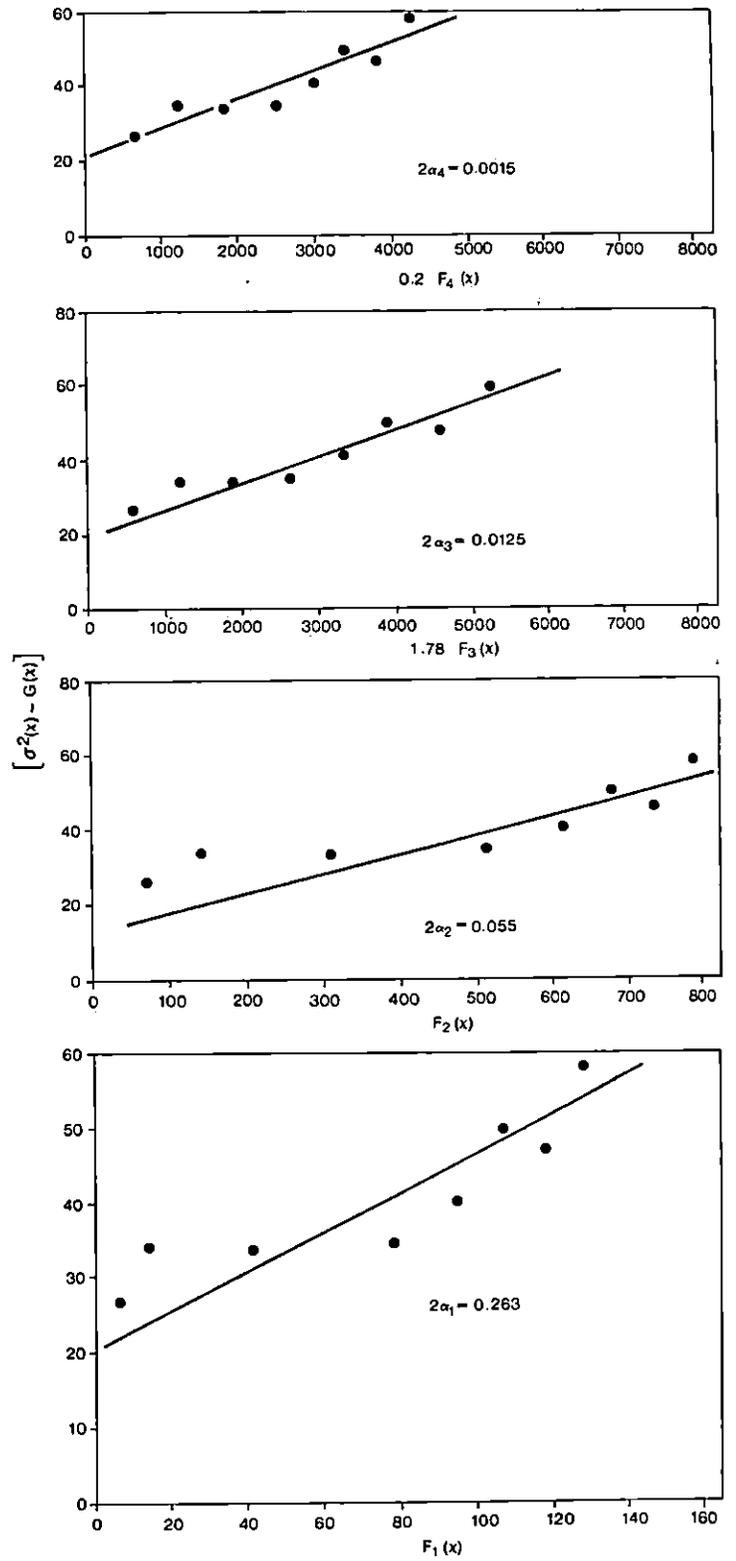


Figure 19

$[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ pour l'expérience n° 7

Examen des résultats

A. PROFILS EN TRAVERS DE L'ÉCOULEMENT

Les figures 6A à 12A présentent les profils en travers de l'écoulement observés en divers endroits du chenal pour toutes les expériences. D'après ces figures, on est en mesure de constater que ces profils varient d'une manière cyclique tout au long du chenal. Comme on l'a indiqué plus tôt, le chenal est plus profond du côté concave des courbes et moins profond du côté convexe, de sorte que les parties plus profondes et moins profondes alternent graduellement. Cette alternance fait qu'il se trouve des sections du chenal dont le fond est presque plat. (Voir les sections 1 et 9 de la figure 6A.) On peut aussi remarquer, à partir des profils en travers pour diverses valeurs de H/B (rapport de l'amplitude du méandre à la largeur du chenal), qu'à mesure que ce rapport s'accroît, les parties plus profondes sont confinées aux seules sections qui sont situées près des parties incurvées du chenal et que la longueur de chenal où le fond est plus ou moins plat devient beaucoup plus grande, comparativement aux chenaux dont les rapports H/B sont inférieurs.

B. DISTRIBUTION DE LA VITESSE

Les figures 6B à 12B présentent les vecteurs vitesse moyens suivant la profondeur en divers endroits le long du chenal pour toutes les expériences. Comme on l'a dit plus haut, les composantes transversales moyennes suivant la profondeur ont été déterminées à partir de l'équation de continuité moyenne suivant la profondeur, à l'aide des valeurs mesurées des profondeurs et des composantes longitudinales de la vitesse. Lorsqu'on examine ces chiffres, on constate que les composantes transversales de la vitesse sont plus grandes dans les sections situées près des courbes, de sorte que, dans les chenaux qui possèdent des valeurs de H/B supérieures, les transports par convection dus aux composantes transversales de la vitesse sont beaucoup plus importants dans les courbes que dans les tronçons rectilignes.

Il convient ici de noter que les mesures ont été effectuées à des stations situées à quatre ou cinq cycles de méandre en aval, ce qui donnait à l'écoulement suffisamment de distance pour se stabiliser. On a remarqué que les distributions de la vitesse et des profils en travers se ressemblaient dans des sections séparées par une seule longueur d'onde de méandre, lorsque l'écoulement était très stabilisé.

C. DISTRIBUTIONS DE LA CONCENTRATION

Les figures 6C à 12C présentent les valeurs mesurées des distributions de la concentration pour toutes les expériences. Dans chacune de ces figures, on a indiqué par un X l'endroit où le traceur a été injecté. Le bec de l'appareil d'injection a été orienté, au point d'injection, dans le sens de l'écoulement afin de minimiser les possibilités de mélange initial. Ces chiffres permettent de constater que les distributions de la concentration deviennent presque uniformes en moins d'un cycle de méandre.

C'est en raison de l'abondance des transports par convection, dus aux composantes transversales de la vitesse dans les courbes, que le mélange se fait si rapidement dans des chenaux sinueux, de sorte que la variation des profils en travers le long du cours d'eau, qui donne naissance aux composantes transversales de la vitesse, ainsi que l'incurvation du cours sont parmi les facteurs les plus déterminants du mélange des matières polluantes dans les cours d'eau naturels.

D. DÉTERMINATION DES COEFFICIENTS DE DISPERSION

Comme on l'a vu plus tôt dans la partie B du chapitre 3, les effets des composantes transversales de la vitesse $[G(x)]$ ont été retranchés de la dispersion totale du flux du traceur $[\sigma^2(x)]$, et un coefficient de dispersion a été défini afin de rendre compte de la turbulence et de la variation de la vitesse transversale suivant la profondeur de l'écoulement; le coefficient a été déterminé à partir de mesures expérimentales des profils en travers de l'écoulement, des distributions de la vitesse et de la concentration, après avoir posé certaines hypothèses sur la variation du coefficient de dispersion sur la largeur du chenal. Les figures 13 à 19 donnent les représentations graphiques de $[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ pour toutes les expériences, ce qui facilite la détermination des coefficients de dispersion. Sur ces figures, des droites ont été tracées à travers les points expérimentaux; leurs pentes équivalent à deux fois les coefficients de dispersion sans dimension α_i . Pour chaque expérience, quatre droites ont été tracées, et chacune d'elles résulte d'une hypothèse particulière à l'égard de la variation du coefficient de dispersion en fonction de z . On a indiqué plus tôt que si la variation de $\bar{\epsilon}_z$ en fonction de z est correctement représentée, le tracé de $[\sigma^2(x) - G(x)]$ en fonction de $F_i(x)$ doit être une droite; ce fait peut donc servir d'indication pour l'établissement de la supériorité d'une hypothèse par rapport à une autre. À l'examen des figures 13 à 19, on est à même de conclure que l'éparpillement des points expérimentaux de part et d'autre des droites tracées est du même ordre de grandeur pour tous les graphiques, de sorte qu'il n'est pas possible de dire, à partir de ces figures, quelle est l'expression de $\bar{\epsilon}_z$ qui représente sa variation véritable en fonction de z .

E. DÉTERMINATION DE LA FONCTION $\bar{\psi}_{\bar{\epsilon}_z}$

L'objet des présents travaux de recherche est d'établir la forme de la fonction $\bar{\psi}_{\bar{\epsilon}_z}$ qui indiquera comment varie le coefficient de dispersion $\bar{\epsilon}_z$ en fonction des caractéristiques hydrauliques de l'écoulement et de sa géométrie. Si l'on se reporte à l'équation (16), pour une hypothèse particulière sur la variation de $\bar{\epsilon}_z$ de fonction de z , le coefficient de dispersion sans dimension ($\bar{\epsilon}_z/h\nu_*$) est exprimé comme une fonction ($\bar{\psi}_{\bar{\epsilon}_z}$) du facteur de frottement f , ainsi que des rapports de l'amplitude à la profondeur et de la largeur à la profondeur. Tout ceci peut s'écrire d'une façon différente, mais équivalente:

$$\alpha_i = \Psi_i \left(f; \frac{H}{B}; \frac{B}{R} \right) \quad (47)$$

Aux figures 20 à 23, les valeurs de α_i ont été tracées en fonction de H/B ; la valeur de α_1 semble s'accroître légèrement avec H/B , tandis que α_3 et α_4 diminuent au fur et à mesure que le rapport H/B s'accroît. Les valeurs de α_2 présentent un éparpillement assez considérable, si bien qu'il est difficile d'en déduire le mode de variation en fonction de H/B . Dans tous les cas, les valeurs absolues de $\bar{\epsilon}_z$ s'accroissent à mesure qu'augmentent les valeurs de H , même si le taux d'accroissement diminue à mesure que H s'élève. On n'a pas essayé de déterminer l'effet de f et de B/R sur les α_i car le nombre des points expérimentaux est insuffisant. Les valeurs de B/R pour les données expérimentales varient entre 7.6 et 15.9, pendant que les valeurs de f oscillent entre 0.101 et 0.271. Même si les valeurs de f et de B/R influent toutes deux sur les processus de mélange, on a estimé que les effets de H/B sont bien plus grands. En effet, la variation de H/B affecte les distributions des composantes transversales de la vitesse suivant la verticale, modifiant ainsi la convection différentielle et, du même coup, le coefficient de dispersion.

Si l'on se reporte aux figures 20 à 23, on constate que le taux le plus faible d'éparpillement des points expérimentaux se présente pour α_3 . Il faut rappeler que α_3 tient à l'hypothèse selon laquelle le coefficient de dispersion transversale $\bar{\epsilon}_z$ reste constant sur toute la largeur du chenal. Puisqu'il est difficile de déterminer les variations de $\bar{\epsilon}_z$ en fonction de z à partir des figures 13 à 19, et puisque α_3 donne une meilleure corrélation avec H/B que les autres coefficients de dispersion sans dimension, on peut en conclure qu'à toutes fins utiles, le coefficient de dispersion transversale $\bar{\epsilon}_z$ peut être présumé constant sur toute la largeur du chenal sinueux. Il serait intéressant à ce stade de se reporter aux travaux de F.M. Holly Jr et de D.B. Simons (1975)⁽¹¹⁾ qui ont effectué des mesures de la dispersion dans des chenaux trapézoïdaux et qui ont obtenu des valeurs de $\bar{\epsilon}_z$ par un procédé de simulation. Ils ont, eux aussi, constaté que la meilleure correspondance entre la concentration simulée et la concentration mesurée était obtenue avec $\bar{\epsilon}_z$ constant sur toute la largeur du chenal. Un autre avantage de considérer $\bar{\epsilon}_z$ indépendant de z tient à ce qu'il est relativement plus simple de calculer le coefficient de dispersion par la méthode généralisée du changement de moment.

Connaissant la variation de α_3 comme fonction de H/B (voir la figure 22) et connaissant les conditions initiales et les conditions aux limites, il est possible de prévoir la distribution de la concentration d'une matière polluante dans des chenaux sinueux à l'aide de la méthode numérique décrite en C dans le chapitre 3. Afin de prévoir la distribution de la concentration aux autres sections pour toutes les expériences (figures 6C à 12C), on s'est servi de la distribution de la concentration mesurée à la première section, qu'on a considérée comme la condition initiale, et on s'est aussi servi de la valeur mesurée de α_3 . Les chiffres obtenus permettent de constater qu'il existe un niveau acceptable de correspondance entre les valeurs mesurées et les prévisions.

Dans la plupart des études antérieures sur les mesures du coefficient de dispersion transversale $\bar{\epsilon}_z$, on associait habituellement le transport par convection dû à la vitesse transversale moyenne dans le temps \bar{w} aux transports par dispersion, puis on calculait un coefficient général de dispersion. À l'examen des valeurs de $G(x)$, qui apparaissent aux tableaux de l'annexe D,

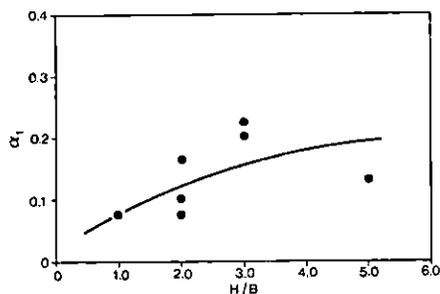


Figure 20

Variation du coefficient de dispersion sans dimension α_1 en fonction du rapport H/B de l'amplitude à la largeur

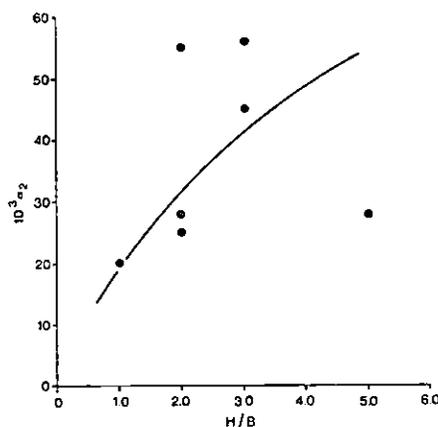


Figure 21

Variation de α_2 en fonction de H/B

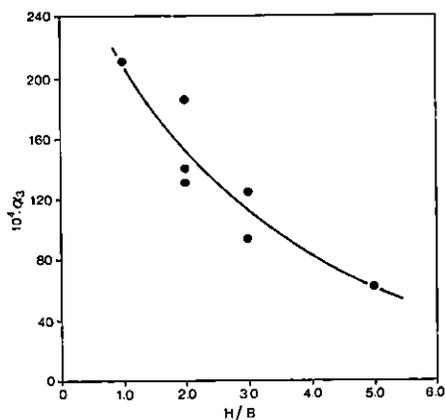


Figure 22

Variation de α_3 en fonction de H/B

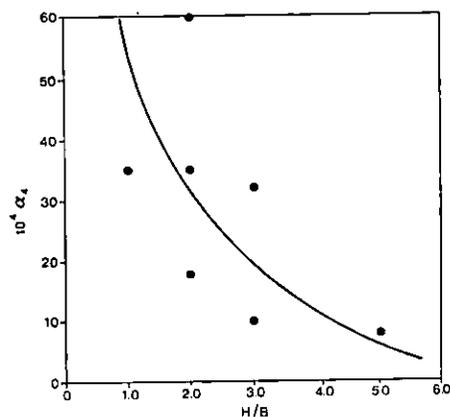


Figure 23

Variation de α_4 en fonction de H/B

représentant l'effet cumulatif de la vitesse transversale \bar{w} dans le sens de la longueur du chenal, on s'aperçoit que $\sigma^2(x)$ et $G(x)$ sont du même ordre de grandeur. Cela signifie que l'importance des transports par convection se compare à celle des transports par dispersion, et c'est là une raison pour laquelle les mesures sur le terrain ont toutes donné, pour la dispersion transversale, des valeurs plus grandes que celles obtenues dans les études de canaux. Le fait d'associer les transports par convection et les transports par dispersion comporte certains inconvénients. En premier lieu, une telle association, suivie du calcul du coefficient de dispersion, repose sur l'hypothèse implicite qu'il est possible d'obtenir la valeur du transport par convection au moyen d'une expression de type «gradient» semblable à l'équation (20). Pour le moment, il n'est toutefois pas possible de dire si c'est le cas. En deuxième lieu, les transports par convection modifient leur direction tout au long du chenal, et agissent tantôt dans la direction du transport par dispersion,

tantôt dans la direction opposée. L'association des transports par convection et des transports par dispersion aboutirait donc à un éparpillement important aux figures 13 à 19 et compliquerait donc l'obtention d'une valeur sûre pour le coefficient de dispersion. C'est pourquoi, dans les présents travaux, l'effet de la vitesse transversale a été retranché de la dispersion totale et, ainsi, le coefficient de dispersion obtenu ne rend compte que de la diffusion turbulente et de la convection différentielle, lesquelles, dans l'état actuel des connaissances, sont impossibles à prévoir.

F. CONCLUSION

Le présent programme expérimental sur la dispersion transversale dans les méandres permet de tirer certaines conclusions.

a) Il existe une grande variation de la profondeur d'écoulement sur la largeur d'un chenal sinueux à lit mobile; cette variation joue un rôle important dans la formation des courants transversaux, influant ainsi sur les processus de dispersion.

b) Dans la direction transversale, les transports par convection sont du même ordre de grandeur que les transports dus à la dispersion.

c) Le coefficient de dispersion transversale $\bar{\epsilon}_z$ peut être considéré comme indépendant de z .

d) La variation du coefficient de dispersion sans dimension α_3 peut être représentée par la courbe illustrée à la figure 28.

e) Il est possible de prévoir la distribution de la concentration d'une matière polluante dans des chenaux sinueux à l'aide de la méthode numérique décrite dans le rapport.

G. SUGGESTIONS POUR LES TRAVAUX DE RECHERCHE À VENIR

a) D'une expérience à l'autre, on n'a pas maintenu constants le facteur de frottement f et le rapport d'aspect B/R . Bien que ces deux paramètres ne soient pas nécessairement aussi significatifs que H/B , leurs effets méritent d'être étudiés.

b) Il conviendrait d'effectuer des mesures plus détaillées de la circulation secondaire, afin d'étudier l'importance de l'effet des courbes.

c) Il serait indiqué d'examiner des méthodes pour le calcul de l'étalement transversal dans des cours d'eau naturels où l'on trouve des combinaisons de méandres irréguliers et de tronçons rectilignes.

Références

1. Y. Chang, *Lateral mixing in meandering channels*, thèse de doctorat, Dept. of Mechanics and Hydraulics, University of Iowa, mai 1971.
2. H. B. Fisher, «The effect of bands on dispersion in Streams», *Water Resources Research*, avril 1969, vol. 5, n° 2.
3. E. O. Engmann, *Transverse mixing characteristics of open and ice-covered channel flows*, thèse de doctorat, Dept. de génie civil, Université de l'Alberta à Edmonton (Alberta), 1974.
4. W. W. Sayre, «Natural mixing processes in rivers», *Environmental impact on rivers*, publié par H. W. Shen, (Colorado) 1973, chapitre 6.
5. E. R. Holley, *Transverse mixing in rivers*, partie 1, Delft Hydraulics Laboratory Report No. S132, 1971.
6. H. L. Stone et P. L. T. Brian, «Numerical solution of convective transport problems», *A. I. Ch. E. Journal*, 1963, vol. 9, pp. 681-688.
7. M. B. Khalil, «On preserving the sand patterns in river models», *Journal of Hydraulic Research*, 1972, vol. 10, n° 3.
8. R. S. McQuivey et T. N. Keefer, «Measurement of velocity – concentration co-variance», *Journal of the Hydraulics Division*, A.S.C.E., 1972, vol. 98, n° HY9.
9. C. H. Gibson et W. H. Schwarz, «Detection of conductivity fluctuations in a turbulent flow field», *Journal of Fluid Mechanics*, 1963, vol. 16, pp. 357-364.
10. F. Dunnett, «Concentration measurement system for diffusion experiments in laboratory flumes», rapport non publié, Division de la recherche hydraulique, C.C.E.I., 1975.
11. F. M. Holly, J^r et D. B. Simons, *Transverse mixing of neutrally buoyant tracers in non rectangular channels*, compte rendu du XVI^e Congrès de l'A.I.R.H., Sao Paulo, Brésil, 1975.

Annexe A

Listage d'un programme informatique qui résout l'équation de l'équilibre de masse moyenne suivant la profondeur, équation (22), afin de prévoir les distributions de la concentration dans les chenaux sinueux

```

LN 0001 C THIS PROGRAM SOLVES THE DEPTH AVERAGED VERSION OF THE DIFFUSIONAL
LN 0002 C EQUATION WHEN THE LONGITUDINAL DISPERSION IS NEGLECTED.
LN 0003
LN 0004 DIMENSION U(18,13),HT(15,13),W(18,13),WHT(18,13),CONC(18,13),
LN 0005 1A(13),B(13),C(13),D(13),X(15),E(18,13),ETA(18,13)
LN 0006 DIMENSION HR(25),AU(25)
LN 0007 DIMENSION H1(25,13)
LN 0008 N=17
LN 0009 M=13
LN 0010 N1=N-1
LN 0011 M1=M-1
LN 0012 M2=M-2
LN 0013 M3=M-3
LN 0014 N2=11
LN 0015 NIN=3
LN 0016 NR=1
LN 0017 NIN1=NIN+1
LN 0018 AHR=2.85
LN 0019 AVSTAR=3.75
LN 0020 BK=2.5
LN 0021 AK=2.5/AHR
LN 0022 H=22.5/AHR
LN 0023 Q=2832.0
LN 0024 H2=30.0
LN 0025 V=30.00
LN 0026 ALMOA=130.00
LN 0027 H1V=H2/V
LN 0028 SL=0.00516
LN 0029 R=H/AK**2
LN 0030 P=2.5/22.5
LN 0031 C TO GENERATE H1 VALUES
LN 0032 RC=67.50
LN 0033 DO 1 I=1,2
LN 0034 DO 1 J=1,M
LN 0035 1 H1(I,J)=(RC-((V/2.0)-(J-1)*BK))/RC
LN 0036 I=3
LN 0037 DO 2 J=1,M
LN 0038 2 H1(I,J)=1.00
LN 0039 DO 3 I=4,6
LN 0040 DO 3 J=1,M
LN 0041 3 H1(I,J)=(RC+((V/2.0)-(J-1)*BK))/RC
LN 0042 I=7
LN 0043 DO 4 J=1,M
LN 0044 4 H1(I,J)=1.00
LN 0045 DO 5 I=8,10
LN 0046 DO 5 J=1,M
LN 0047 5 H1(I,J)=(RC-((V/2.0)-(J-1)*BK))/RC
LN 0048 I=11
LN 0049 DO 6 J=1,M
LN 0050 6 H1(I,J)=1.00
LN 0051 DO 7 I=12,14
LN 0052 DO 7 J=1,M

```

```

LN 0053      70 H1(I,J)=(RC+((V/2.0)-(J-1)*BK))/RC
LN 0054      I=15
LN 0055      DO 80 J=1,M
LN 0056      80 H1(I,J)=1.00
LN 0057      DO 90 I=16,18
LN 0058      DO 90 J=1,M
LN 0059      90 H1(I,J)=(RC-((V/2.0)-(J-1)*BK))/RC
LN 0060      CONC(NIN,1)=0.540
LN 0061      CONC(NIN,M)=0.000
LN 0062      READ(60,201) (CONC(NIN,J),J=2,M1)
LN 0063      DO 10 I=1,N
LN 0064      E(I,1)=0.00
LN 0065      E(I,M)=0.00
LN 0066      W(I,1)=0.00
LN 0067      W(I,M)=0.00
LN 0068      WHT(I,1)=0.00
LN 0069      WHT(I,M)=0.00
LN 0070      U(I,1)=0.00
LN 0071      10 U(I,M)=0.00
LN 0072      201 FORMAT(11F7.3)
LN 0073      300 FORMAT(1H0,I10,13F9.3)
LN 0074      G=2./3.
LN 0075      TH=1./3.
LN 0076      EM=1./6.
LN 0077      AF=0.25
LN 0078      EP=0.50
LN 0079      CE=0.25
LN 0080      DE=0.25
LN 0081      DO 9 I=1,N
LN 0082      READ(60,202) (U(I,J),J=2,M1)
LN 0083      9 CONTINUE
LN 0084      202 FORMAT(11F7.2)
LN 0085      DO 8 I=1,N
LN 0086      READ(60,203) (HT(I,J),J=1,M)
LN 0087      8 CONTINUE
LN 0088      203 FORMAT(13F6.2)
LN 0089      DO 7 I=1,N
LN 0090      READ(60,204) HR(I),AU(I)
LN 0091      7 CONTINUE
LN 0092      204 FORMAT(2F10.3)
LN 0093      WRITE(61,400)
LN 0094      400 FORMAT(141)
LN 0095      WRITE(61,404) NR
LN 0096      404 FORMAT(51X,#MEANDERING FLUME DISPERSION      RUN NUMBER=#,I3)
LN 0097      WRITE(61,405)
LN 0098      405 FORMAT(1H ,25X,#MEANDERING CHARACTERISTICS#,7X,#H/B=#,13X,#B=#,
LN 0099      113X,#L=#)
LN 0100      WRITE(61,406) H1V,V,ALMJA
LN 0101      406 FORMAT(1H+,62X,F5.2,10X,F6.2,10X,F7.2)
LN 0102      WRITE(61,407)
LN 0103      407 FORMAT(1H ,25X,#FLOW CHARACTERISTICS#,15X,#Q=#,13X,#S=#)
LN 0104      WRITE(61,408) Q,SL

```

```

LN 0105      408 FORMAT(1H+,52X,F7.2,10X,F7.5)
LN 0106      WRITE(61,409)
LN 0107      409 FORMAT(1H ,25X, #BED CHARACTERISTICS#,12X, #SCOURD BY FLOW AND
LN 0108      1STABILIZED#)
LN 0109      WRITE(61,400)
LN 0110      WRITE(61,401)
LN 0111      401 FORMAT(1X, #THE DEPTH AVEPAGE LONGITUDINAL VELOCITY COMPONENTS#)
LN 0112      402 FORMAT(1X, #THE DEPTHS#)
LN 0113      403 FORMAT(1X, #THE DEPTH AVEPAGE TRANSVERSE VELOCITY COMPONENTS#)
LN 0114      WRITE(61,410)
LN 0115      410 FORMAT(16X, #0#,8X, #1#,8X, #2#,8X, #3#,8X, #4#,8X, #5#,8X, #6#,8X,
LN 0116      1#7#,8X, #8#,8X, #9#,8X, #10#,8X, #11#,8X, #12#)
LN 0117      415 FORMAT(1X, #THE METRIC COEFFICIENTS#)
LN 0118      DO 12 I=1,N
LN 0119      WRITE(61,300) I, (U(I,J), J=1, M)
LN 0120      12 CONTINUE
LN 0121      WRITE(61,400)
LN 0122      WRITE(61,418)
LN 0123      WRITE(61,410)
LN 0124      DO 38 I=1,N
LN 0125      WRITE(61,300) I, (H1(I,J), J=1, M)
LN 0126      38 CONTINUE
LN 0127      WRITE(61,400)
LN 0128      WRITE(61,402)
LN 0129      WRITE(61,410)
LN 0130      DO 13 I=1,N
LN 0131      WRITE(61,300) I, (HT(I,J), J=1, M)
LN 0132      13 CONTINUE
LN 0133      DO 14 I=2,N1
LN 0134      DO 14 J=2,M1
LN 0135      14 WHT(I,J)=WHT(I,J-1)-P*(U(I+1,J)*HT(I+1,J)-U(I-1,J)*HT(I-1,J))/2.0
LN 0136      DO 15 I=2,N1
LN 0137      DO 15 J=2,M1
LN 0138      15 W(I,J)=+.0*WHT(I,J)/(HT(I,J)*H1(I,J)+HT(I,J-1)*H1(I,J-1)+HT(I-1,J)
LN 0139      1*H1(I-1,J)+HT(I+1,J)*H1(I+1,J))
LN 0140      WRITE(61,400)
LN 0141      WRITE(61,403)
LN 0142      WRITE(61,410)
LN 0143      DO 16 I=2,N1
LN 0144      WRITE(61,300) I, (W(I,J), J=1, M)
LN 0145      16 CONTINUE
LN 0146      DO 17 I=2,N1
LN 0147      DO 17 J=1, M
LN 0148      U(I,J)=U(I,J)/AVSTAR
LN 0149      W(I,J)=W(I,J)/AVSTAR
LN 0150      ETA(I,J)=HT(I,J)/AHR
LN 0151      17 CONTINUE
LN 0152      WRITE(61,400)
LN 0153      WRITE(61,401)
LN 0154      WRITE(61,410)
LN 0155      DO 18 I=2,N1
LN 0156      WRITE(61,300) I, (U(I,J), J=1, M)

```

```

LN 0157      19 CONTINUE
LN 0158      WRITE(61,400)
LN 0159      WRITE(61,403)
LN 0160      WRITE(61,410)
LN 0161      DO 19 I=2,N1
LN 0162      WRITE(61,300) I,(W(I,J),J=1,M)
LN 0163      19 CONTINUE
LN 0164      WRITE(61,400)
LN 0165      WRITE(61,402)
LN 0166      WRITE(61,410)
LN 0167      DO 20 I=2,N1
LN 0168      WRITE(61,300) I,(ETA(I,J),J=1,M)
LN 0169      20 CONTINUE
LN 0170      DO 21 I=2,N1
LN 0171      DO 21 J=2,M1
LN 0172      21 E(I,J)=0.030*HR(I)*AU(I)/(AHR*AVSTAR)
LN 0173      C   THE ELEMENTS OF THE TRI-DIAGONAL MATRIX -A,B,-C.
LN 0174      C   B-VALUES ARE THE DIAGONAL-ELEMENTS.
LN 0175      C   C-VALUES ARE THE UPPER DIAGONAL
LN 0176      C   A-VALUES ARE THE LOWER DIAGONAL
LN 0177      WRITE(61,400)
LN 0178      WRITE(61,411)
LN 0179      411 FORMAT(1X, #DEPTH AVERAGE CONCENTRATION OF THE TRACER#)
LN 0180      WRITE(61,410)
LN 0181      WRITE(61,500) (CONC(NIN,J),J=1,M)
LN 0182      500 FORMAT(10X,13F9.3)
LN 0183      DO 22 K=NIN1,N2
LN 0184      C   THE B VALUES.
LN 0185      DO 26 I=2,M1
LN 0186      COM1=((H1(K,I)+H1(K-1,I))* (W(K,I)+W(K-1,I)))/(2.0*(U(K,I)+U(K-1,I))
LN 0187      1))-((E(K-1,I+1)-E(K-1,I-1)+E(K,I+1)-E(K,I-1))*(H1(K,I)+H1(K-1,I))/
LN 0188      2*((U(K,I)+U(K-1,I))*4.*AK))-((ETA(K-1,I+1)-ETA(K-1,I-1)+ETA(K,I+1)
LN 0189      3-ETA(K,I-1))*(H1(K,I)+H1(K-1,I))*(E(K,I)+E(K-1,I))/((U(K,I)+U(K-1,
LN 0190      4I))*(ETA(K,I)+ETA(K-1,I))*4.*AK))-((H1(K-1,I+1)-H1(K-1,I-1)+
LN 0191      5H1(K,I+1)-H1(K,I-1))*(E(K,I)+E(K-1,I))/((U(K,I)+U(K-1,I))*4.*AK))
LN 0192      COM2=((H1(K,I)+H1(K-1,I))* (E(K,I)+E(K-1,I)))/((U(K,I)+U(K-1,I))*2.
LN 0193      2C))
LN 0194      B(I)=(G/H)+(COM2/AK**2)+(COM1*(DE-CE)/AK)
LN 0195      C(I)=(-EM/H)+(COM2/(2.0*AK**2))-(COM1*CE/AK)
LN 0196      A(I)=(-TH/(2.0*H))+ (COM2/(2.0*AK**2))+(COM1*DE/AK)
LN 0197      B1=B(I)-2.0*((COM2/AK**2)+(COM1*(DE-CE)/AK))
LN 0198      C1=C(I)+2.0*EM/H
LN 0199      A1=A(I)+TH/H
LN 0200      D(I)=CONC(K-1,I-1)*A1+CONC(K-1,I)*B1+CONC(K-1,I+1)*C1
LN 0201      26 CONTINUE
LN 0202      B(2)=-A(2)+B(2)
LN 0203      B(M1)=9(M1)-C(M1)
LN 0204      C   THE SOLUTION OF THE SIMULTANEOUS EQUATIONS USING ARIS
LN 0205      L=M-1
LN 0206      CALL ARIS(A,B,C,D,L,X)
LN 0207      C   TO GET THE CONC VALUES AT THE NEW SECTION
LN 0208      DO 30 I=2,M1

```

```
LN 0209      30 CONG(K,I)=X(I)
LN 0210      CONG(K,1)=CONG(K,2)
LN 0211      CONG(K,M)=CONG(K,M1)
LN 0212      X(1)=CONG(K,1)
LN 0213      X(M)=CONG(K,M)
LN 0214      WRITE(61,300) K,(CONG(K,I),I=1,M)
LN 0215      22 CONTINUE
LN 0216      STOP
LN 0217      END
```

USASI FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR FTN.MAIN

NO ERRORS

```
LN 0001 C SUBROUTINE ARIS
LN 0002 C THIS SUBROUTINE SOLVES THE SIMULTANEOUS EQUATIONS USING GAUSS#
LN 0003 C ELIMINATION METHOD
LN 0004 SUBROUTINE ARIS(A,B,C,D,N,X)
LN 0005 DIMENSION A(41),B(41),C(41),D(41),X(43),ALPHA(41),S(41)
LN 0006 ALPHA(2)=B(2)
LN 0007 DO 10 I=3,N
LN 0008 10 ALPHA(I)=B(I)-(A(I)*C(I-1)/ALPHA(I-1))
LN 0009 S(2)=D(2)
LN 0010 DO 11 I=3,N
LN 0011 11 S(I)=D(I)+(A(I)*S(I-1)/ALPHA(I-1))
LN 0012 X(N)=S(N)/ALPHA(N)
LN 0013 N1=N-1
LN 0014 DO 12 I=2,N1
LN 0015 II=N1+2-I
LN 0016 12 X(II)=(S(II)+C(II)*X(II+1))/ALPHA(II)
LN 0017 RETURN
LN 0018 END
```

USASI FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR ARIS

NO ERRORS

K, LGD

Annexe B

Distributions mesurées de la profondeur, de la vitesse et de la concentration dans des chenaux sinueux

Expérience n° 1
Coefficients métriques h_1

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	0.778	0.815	0.852	0.889	0.926	0.963	1.000	1.037	1.074	1.111	1.148	1.185	1.222
2	0.778	0.815	0.852	0.889	0.926	0.963	1.000	1.037	1.074	1.111	1.148	1.185	1.222
3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	1.222	1.185	1.148	1.111	1.074	1.037	1.000	0.963	0.926	0.889	0.852	0.815	0.778
5	1.222	1.185	1.148	1.111	1.074	1.037	1.000	0.963	0.926	0.889	0.852	0.815	0.778
6	1.222	1.185	1.148	1.111	1.074	1.037	1.000	0.963	0.926	0.889	0.852	0.815	0.778
7	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
8	0.778	0.815	0.852	0.889	0.926	0.963	1.000	1.037	1.074	1.111	1.148	1.185	1.222
9	0.778	0.815	0.852	0.889	0.926	0.963	1.000	1.037	1.074	1.111	1.148	1.185	1.222
10	0.778	0.815	0.852	0.889	0.926	0.963	1.000	1.037	1.074	1.111	1.148	1.185	1.222
11	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
12	1.222	1.185	1.148	1.111	1.074	1.037	1.000	0.963	0.926	0.889	0.852	0.815	0.778
13	1.222	1.185	1.148	1.111	1.074	1.037	1.000	0.963	0.926	0.889	0.852	0.815	0.778
14	1.222	1.185	1.148	1.111	1.074	1.037	1.000	0.963	0.926	0.889	0.852	0.815	0.778
15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
16	0.778	0.815	0.852	0.889	0.926	0.963	1.000	1.037	1.074	1.111	1.148	1.185	1.222
17	0.778	0.815	0.852	0.889	0.926	0.963	1.000	1.037	1.074	1.111	1.148	1.185	1.222

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 1

Profondeurs d'écoulement h (en cm)

		SECTIONS LE LONG DE z												
		R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
SECTIONS LE LONG DE x	1	3.600	3.750	3.020	2.600	3.000	3.400	3.600	3.420	3.100	2.900	2.900	2.900	2.950
	2	8.200	7.000	5.200	3.950	3.200	2.520	2.180	2.100	2.100	2.100	2.100	1.750	1.300
	3	7.700	7.650	5.400	4.800	5.200	4.750	3.900	3.120	2.700	2.350	2.350	3.200	3.800
	4	4.600	4.400	4.150	3.800	4.000	5.100	5.430	5.100	4.450	3.500	3.150	4.450	5.320
	5	3.150	3.150	3.150	3.150	3.150	3.200	3.300	3.600	4.400	5.700	7.350	8.700	10.000
	6	1.400	1.450	1.500	1.700	1.800	1.950	3.880	5.200	4.000	4.400	6.380	7.200	7.400
	7	1.650	1.600	1.340	1.200	1.400	1.700	3.390	4.900	5.000	4.900	4.050	4.200	4.500
	8	2.950	3.350	3.950	3.600	2.650	2.700	3.000	3.000	3.500	4.000	5.330	5.150	5.750
	9	3.600	3.600	3.600	3.400	3.000	3.300	3.200	2.800	3.050	3.500	3.800	3.700	3.500
	10	7.700	7.050	5.000	3.750	2.840	2.840	2.820	2.900	2.800	2.500	2.000	1.600	1.500
	11	8.900	8.600	7.000	5.200	3.500	1.700	1.400	1.400	1.360	1.360	1.370	1.750	1.800
	12	4.770	4.770	4.200	3.620	3.100	3.100	3.800	4.400	3.100	2.550	3.150	3.950	4.600
	13	4.100	3.500	2.900	2.460	2.400	2.500	2.700	2.980	3.100	3.550	4.500	4.800	5.200
	14	1.800	2.200	2.600	2.450	2.300	2.200	2.200	2.250	2.300	3.800	6.120	7.300	8.200
	15	1.700	1.500	1.350	1.250	1.500	1.700	1.900	2.050	2.800	4.550	6.150	7.400	8.750
	16	4.700	4.100	3.200	2.300	1.950	2.100	2.900	3.520	3.820	4.200	4.500	5.050	5.700
	17	2.600	3.100	3.700	3.620	3.200	2.850	2.850	3.000	3.400	3.400	3.200	3.600	4.250

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 1

Valeur moyenne de \bar{u} (composantes longitudinales de la vitesse) en fonction de la profondeur, en cm/s

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	0.00	21.00	25.50	28.00	30.00	31.00	31.50	31.50	31.50	33.00	36.00	39.00	0.00
2	0.00	28.50	30.00	29.50	28.00	26.50	26.00	26.00	28.00	31.00	34.00	33.00	0.00
3	0.00	27.00	29.50	30.00	29.00	28.50	28.00	28.00	27.50	26.50	24.50	17.00	0.00
4	0.00	41.00	39.00	36.50	34.50	33.00	32.00	31.00	29.00	27.00	22.50	14.00	0.00
5	0.00	45.00	43.00	39.00	35.00	33.00	31.50	30.00	27.00	25.00	22.00	20.00	0.00
6	0.00	26.50	27.50	27.50	28.00	27.00	27.00	27.00	28.00	29.50	30.00	29.50	0.00
7	0.00	17.00	21.00	22.50	23.00	25.00	29.00	32.50	35.00	37.00	39.20	41.00	0.00
8	0.00	13.00	20.00	23.00	25.00	26.00	30.00	33.00	36.00	37.00	37.00	37.00	0.00
9	0.00	16.00	20.00	21.50	22.50	24.00	26.00	30.00	33.50	36.50	39.00	38.00	0.00
10	0.00	27.00	24.00	23.50	26.00	29.00	32.00	35.00	38.00	39.00	37.00	33.00	0.00
11	0.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	32.00	30.50	28.00	24.00	19.00	13.00	0.00
12	0.00	40.00	40.00	38.50	36.00	33.50	30.00	26.00	20.00	15.00	10.00	5.00	0.00
13	0.00	47.00	44.00	40.00	37.00	35.00	34.00	33.00	29.50	25.50	21.00	16.00	0.00
14	0.00	35.00	37.50	37.50	36.00	35.00	33.50	32.00	31.50	31.00	29.00	27.00	0.00
15	0.00	20.00	30.00	33.50	34.00	33.00	32.00	31.00	29.00	30.00	32.00	34.00	0.00
16	0.00	6.00	12.00	18.00	21.00	22.00	24.00	29.00	34.00	37.00	40.00	40.00	0.00
17	0.00	16.00	20.00	23.00	26.00	30.00	35.00	38.00	39.50	41.00	41.50	42.00	0.00

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 1

Valeur moyenne de \bar{w} (composantes transversales de la vitesse) en fonction de la profondeur, en cm/s

		SECTIONS LE LONG DE z												
		R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
SECTIONS LE LONG DE x	2	0.0	-1.3	-2.6	-4.2	-5.3	-6.2	-6.8	-7.0	-6.9	-6.4	-5.2	-3.7	0.0
	3	0.0	0.2	0.1	0.1	-0.7	-2.0	-3.8	-6.0	-8.2	-10.2	-10.9	-9.5	0.0
	4	0.0	0.7	1.0	1.4	1.9	2.3	2.3	2.2	1.7	0.6	-1.0	-2.5	0.0
	5	0.0	2.2	4.2	6.0	7.5	8.9	8.7	8.6	9.6	8.6	5.8	3.5	0.0
	6	0.0	2.9	5.9	8.5	10.2	11.4	8.2	5.3	4.5	4.0	3.6	3.2	0.0
	7	0.0	-0.2	-1.2	-2.3	-3.0	-3.2	-1.8	-0.8	-0.9	-1.1	-1.0	-0.8	0.0
	8	0.0	-0.7	-1.6	-2.5	-3.5	-4.3	-3.2	-1.6	-0.4	-0.3	0.4	0.7	0.0
	9	0.0	-2.3	-3.1	-3.4	-4.2	-4.2	-3.9	-3.9	-3.4	-2.3	-0.3	1.5	0.0
	10	0.0	-2.2	-4.3	-6.8	-9.7	-11.0	-10.3	-9.4	-7.6	-5.4	-3.0	-0.6	0.0
	11	0.0	-0.0	-0.4	-1.1	-2.1	-3.2	-4.2	-4.3	-3.9	-2.6	-1.4	-0.4	0.0
	12	0.0	1.1	2.4	3.9	5.3	6.0	4.9	3.4	2.7	1.9	0.2	0.9	0.0
	13	0.0	1.5	2.7	4.0	5.2	6.0	6.5	6.9	7.4	5.3	2.0	-0.6	0.0
	14	0.0	2.9	4.8	6.4	7.5	8.5	9.3	9.9	9.4	6.4	3.3	1.0	0.0
	15	0.0	1.3	2.9	4.9	6.5	7.0	6.1	4.8	3.0	1.6	1.2	0.9	0.0
	16	0.0	-0.4	-1.1	-2.3	-3.4	-4.2	-4.5	-4.7	-4.7	-3.9	-2.7	-1.3	0.0

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 1

Concentrations \bar{C} moyennes suivant la profondeur (en g/l)

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
3	0.000	0.540	0.280	0.210	0.190	0.160	0.150	0.120	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.390	0.340	0.270	0.210	0.190	0.170	0.150	0.130	0.120	0.110	0.080	0.000
5	0.000	0.340	0.330	0.310	0.280	0.250	0.220	0.190	0.160	0.120	0.090	0.060	0.000
6	0.000	0.320	0.340	0.330	0.300	0.260	0.220	0.180	0.150	0.120	0.100	0.060	0.000
7	0.000	0.350	0.340	0.325	0.300	0.260	0.210	0.170	0.150	0.120	0.100	0.050	0.000
8	0.000	0.330	0.330	0.300	0.240	0.210	0.180	0.180	0.170	0.160	0.150	0.110	0.000
9	0.000	0.360	0.320	0.250	0.210	0.190	0.190	0.180	0.170	0.160	0.150	0.120	0.000
10	0.000	0.260	0.280	0.280	0.230	0.210	0.200	0.190	0.180	0.170	0.150	0.120	0.000
11	0.000	0.240	0.260	0.270	0.260	0.230	0.210	0.190	0.180	0.170	0.160	0.140	0.000

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 2

Coefficients métriques h_1

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	0.605	0.671	0.737	0.803	0.868	0.934	1.000	1.066	1.132	1.197	1.263	1.239	1.395
2	0.605	0.671	0.737	0.803	0.868	0.934	1.000	1.066	1.132	1.197	1.263	1.239	1.395
3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6	1.395	1.329	1.263	1.197	1.132	1.066	1.000	0.934	0.868	0.803	0.737	0.671	0.605
7	1.395	1.329	1.263	1.197	1.132	1.066	1.000	0.934	0.868	0.803	0.737	0.671	0.605
8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
11	0.605	0.671	0.737	0.803	0.868	0.934	1.000	1.066	1.132	1.197	1.263	1.329	1.395

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 2

Profondeurs d'écoulement h (en cm)

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	6.700	4.510	3.250	2.900	2.950	2.750	2.400	2.150	2.020	1.830	1.470	0.900	0.400
2	8.950	7.400	5.090	4.500	2.950	1.850	1.070	0.600	0.300	0.150	0.100	0.030	0.020
3	5.010	4.900	3.580	2.510	2.500	2.510	2.500	2.450	2.200	2.100	2.300	2.800	3.000
4	2.950	3.350	3.320	2.900	2.450	2.000	1.300	1.750	2.500	2.950	2.250	2.530	3.810
5	1.900	2.100	2.050	1.700	1.650	1.700	1.950	2.500	2.700	2.720	2.500	3.310	3.950
6	0.230	0.850	1.450	1.670	1.850	2.000	2.150	2.400	2.550	2.300	3.100	4.900	6.620
7	1.300	0.750	0.250	0.250	0.450	0.850	1.800	3.100	4.000	4.800	7.000	8.050	8.750
8	3.300	2.200	1.850	1.850	2.040	2.310	2.600	2.800	3.070	3.300	4.200	4.550	4.800
9	3.650	3.000	2.550	2.200	2.200	2.450	2.420	2.150	2.040	2.070	3.000	3.350	3.420
10	6.200	5.050	4.500	4.250	3.910	3.650	3.350	2.950	2.450	2.000	1.920	2.000	2.250
11	7.000	5.400	3.600	2.100	1.850	2.150	2.250	2.000	2.000	2.000	2.000	1.650	0.800

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 2

Valeur moyenne de \bar{u} (composantes longitudinales de la vitesse) en fonction de la profondeur, en cm/s

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	0.00	39.40	37.60	36.80	36.10	35.60	35.30	35.00	34.80	36.20	37.60	36.40	0.00
2	0.00	46.00	44.40	42.40	37.40	18.40	5.40	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	47.20	48.60	46.70	44.00	40.70	36.60	32.90	29.30	26.80	24.80	23.60	0.00
4	0.00	44.10	45.20	45.60	45.00	43.80	42.00	37.60	36.10	32.70	26.40	19.90	0.00
5	0.00	45.60	46.40	45.00	42.70	41.20	40.20	40.00	39.60	38.40	35.60	30.60	0.00
6	0.00	40.00	42.50	40.40	39.80	38.40	38.00	38.20	38.10	37.90	37.60	35.60	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.40	1.00	11.20	24.80	30.20	33.80	36.80	39.00	40.40	0.00
8	0.00	13.20	18.40	22.40	26.80	31.20	35.20	38.00	39.20	40.00	40.40	40.00	0.00
9	0.00	24.30	30.30	35.30	39.20	41.20	41.60	41.60	42.00	42.20	42.40	41.50	0.00
10	0.00	33.80	36.40	38.00	38.80	38.80	39.00	39.40	40.40	42.80	46.00	49.60	0.00
11	0.00	36.00	35.80	35.00	34.80	34.00	34.00	34.60	35.70	37.20	38.40	33.30	0.00

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 2

Valeur moyenne de \bar{w} (composantes transversales de la vitesse) en fonction de la profondeur, en cm/s

		SECTIONS LE LONG DE z												
		R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
SECTIONS LE LONG DE x	2	0.0	-0.7	-1.6	-2.1	-2.4	-2.9	-3.8	-4.7	-5.3	-5.5	-6.1	-8.3	0.0
	3	0.0	2.4	3.8	5.8	7.3	7.0	6.8	4.9	2.1	-0.8	-2.8	-4.0	0.0
	4	0.0	2.3	3.9	5.4	6.9	8.4	9.8	8.9	6.8	5.0	4.4	3.3	0.0
	5	0.0	3.0	4.8	6.9	8.6	9.3	9.0	6.9	5.7	5.7	4.7	1.6	0.0
	6	0.0	4.7	8.0	10.2	12.0	12.9	11.9	9.9	8.6	7.0	2.9	-1.1	0.0
	7	0.0	0.2	1.5	2.9	3.5	3.1	2.2	1.3	0.7	-0.2	-0.9	-0.9	0.0
	8	0.0	-1.7	-4.8	-8.2	-10.6	-11.7	-11.2	-9.7	-8.0	-5.8	-2.4	0.2	0.0
	9	0.0	-2.3	-5.1	-8.0	-10.5	-11.7	-12.3	-13.1	-13.4	-12.7	-9.1	-6.5	0.0
	0	0.0	-1.5	-2.6	-3.0	-2.7	-2.2	-1.8	-1.6	-1.4	-1.2	0.1	2.0	0.0

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 2

Concentrations \bar{C} moyennes suivant la profondeur (en g/l)

		SECTIONS LE LONG DE z											R.G.* 13	
		R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12
SECTIONS LE LONG DE x	3	0.000	0.280	0.270	0.230	0.190	0.165	0.150	0.140	0.135	0.135	0.135	0.135	0.000
	4	0.000	0.250	0.265	0.260	0.235	0.205	0.185	0.165	0.150	0.140	0.135	0.135	0.000
	5	0.000	0.260	0.255	0.260	0.260	0.250	0.230	0.200	0.175	0.160	0.145	0.140	0.000
	6	0.000	0.255	0.255	0.255	0.260	0.260	0.260	0.245	0.220	0.190	0.160	0.145	0.000
	7	0.000	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.260	0.260	0.240	0.210	0.170	0.155	0.000
	8	0.000	0.255	0.255	0.255	0.255	0.255	0.250	0.230	0.210	0.185	0.170	0.165	0.000
	9	0.000	0.255	0.250	0.245	0.235	0.220	0.205	0.185	0.170	0.165	0.165	0.165	0.000
	10	0.000	0.250	0.240	0.230	0.210	0.195	0.180	0.170	0.165	0.165	0.165	0.165	0.000

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 3

Coefficients métriques h_1

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	0.605	0.671	0.737	0.803	0.868	0.934	1.000	1.066	1.132	1.197	1.263	1.329	1.395
2	0.605	0.671	0.737	0.803	0.868	0.934	1.000	1.066	1.132	1.197	1.263	1.329	1.395
3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6	1.395	1.329	1.263	1.197	1.132	1.066	1.000	0.934	0.868	0.803	0.737	0.671	0.605
7	1.395	1.329	1.263	1.197	1.132	1.066	1.000	0.934	0.868	0.803	0.737	0.671	0.605
8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
11	0.605	0.671	0.737	0.803	0.868	0.934	1.000	1.066	1.132	1.197	1.263	1.329	1.395

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 3

Profondeurs d'écoulement h (en cm)

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	11.10	9.50	7.90	6.10	4.90	4.42	4.50	4.50	4.50	4.40	4.00	3.40	2.30
2	12.70	12.50	11.70	10.50	9.10	7.70	6.30	5.10	3.90	2.80	1.99	1.50	1.10
3	8.60	8.30	7.20	5.80	4.30	4.30	4.40	4.40	4.20	3.70	3.20	4.40	7.00
4	5.90	6.20	6.20	5.40	4.40	4.60	4.80	4.40	3.90	4.00	5.50	7.10	7.80
5	3.90	3.90	3.80	3.90	4.00	4.10	4.30	4.00	4.60	6.00	6.80	7.40	7.80
6	1.60	2.80	3.40	3.60	3.90	4.30	5.30	7.10	8.80	9.80	10.20	11.20	12.00
7	0.40	0.60	1.40	2.80	3.80	4.60	6.00	7.80	9.40	11.10	12.90	13.40	13.40
8	4.00	4.00	4.10	4.10	4.00	4.30	5.50	6.80	7.80	8.70	10.10	10.80	10.80
9	6.40	6.60	6.40	5.90	4.80	5.30	6.00	6.00	6.40	7.60	8.80	9.20	8.80
10	8.60	8.70	7.80	6.30	5.70	5.40	5.30	5.50	6.99	6.80	7.40	7.50	7.40
11	11.60	10.90	9.30	7.60	7.30	6.90	6.00	4.90	3.90	3.50	3.30	2.90	2.20

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 3

Valeur moyenne de \bar{u} (composantes longitudinales de la vitesse) en fonction de la profondeur, en cm/s

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	0.00	18.00	23.00	28.00	41.20	48.00	48.90	47.00	50.00	52.10	44.20	28.00	0.00
2	0.00	37.00	38.00	37.50	38.90	38.40	30.00	9.40	0.50	0.50	15.50	16.00	0.00
3	0.00	56.60	53.00	46.50	41.90	38.40	36.90	36.40	35.00	30.50	20.50	15.80	0.00
4	0.00	54.40	51.50	49.40	43.50	39.00	36.00	35.30	36.20	35.90	33.50	31.60	0.00
5	0.00	58.20	56.80	54.50	48.50	43.00	40.70	39.20	35.40	31.70	31.80	32.80	0.00
6	0.00	34.00	48.90	50.00	49.00	44.00	37.50	31.70	25.50	25.50	30.10	28.60	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.50	9.50	14.90	17.50	25.50	35.70	40.00	40.00	36.90	0.00
8	0.00	0.00	8.00	21.90	29.00	34.00	36.00	36.20	34.50	31.50	32.00	38.50	0.00
9	0.00	21.80	23.00	29.00	35.40	35.90	32.10	27.50	28.50	32.30	30.80	30.50	0.00
10	0.00	23.50	27.50	30.00	32.00	31.20	29.80	29.30	31.40	36.20	38.70	39.90	0.00
11	0.00	30.00	28.00	27.40	27.90	30.10	32.80	33.30	36.00	43.00	46.00	47.00	0.00

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 3

Valeur moyenne de \bar{w} (composantes transversales de la vitesse) en fonction de la profondeur, en cm/s

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
2	0.0	-2.2	-3.7	-4.8	-5.1	-5.0	-4.7	-4.5	-4.0	-3.0	-1.8	-1.5	0.0
3	0.0	0.9	1.8	3.1	5.5	7.3	7.7	6.9	5.7	4.3	2.1	-0.8	0.0
4	0.0	2.2	3.9	4.9	5.6	5.6	5.3	5.5	5.4	4.3	2.1	0.1	0.0
5	0.0	3.0	4.8	6.2	6.4	6.1	5.4	4.3	3.2	1.9	0.6	-0.2	0.0
6	0.0	4.7	7.2	9.2	10.6	11.4	10.9	9.1	6.4	3.8	1.6	-0.2	0.0
7	0.0	2.3	4.6	5.2	5.5	5.4	4.5	3.5	2.7	2.3	2.1	1.4	0.0
8	0.0	-2.1	-4.0	-5.9	-7.7	-8.6	-8.2	-6.7	-4.7	-2.8	-1.0	-0.0	0.0
9	0.0	-1.8	-3.5	-4.8	-6.0	-6.4	-5.4	-4.1	-3.1	-2.6	-2.0	-1.1	0.0
10	0.0	-1.3	-2.2	-2.8	-3.5	-3.7	-3.8	-3.9	-3.4	-2.3	-1.1	0.5	0.0

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 3

Concentrations \bar{C} moyennes suivant la profondeur (en g/l)

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
3	0.000	0.060	0.045	0.060	0.100	0.140	0.135	0.110	0.085	0.050	0.035	0.025	0.000
4	0.000	0.060	0.070	0.070	0.070	0.080	0.100	0.110	0.100	0.085	0.060	0.035	0.000
5	0.000	0.065	0.065	0.070	0.070	0.080	0.080	0.085	0.090	0.080	0.070	0.070	0.000
6	0.000	0.065	0.065	0.065	0.070	0.070	0.075	0.080	0.075	0.080	0.080	0.080	0.000
7	0.000	0.065	0.075	0.065	0.065	0.070	0.070	0.070	0.075	0.075	0.080	0.080	0.000
8	0.000	0.065	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.075	0.075	0.075	0.075	0.80	0.000
9	0.000	0.070	0.070	0.070	0.070	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.000
10	0.000	0.070	0.075	0.070	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.000
11	0.000	0.070	0.070	0.070	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.000

INJECTION À LA SECTION : 1

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 4

Coefficients métriques h_1

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	0.605	0.671	0.737	0.803	0.868	0.934	1.000	1.066	1.132	1.197	1.263	1.329	1.395
2	0.605	0.671	0.737	0.803	0.868	0.934	1.000	1.066	1.132	1.197	1.263	1.329	1.395
3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6	1.395	1.329	1.263	1.197	1.132	1.066	1.000	0.934	0.868	0.803	0.737	0.671	0.605
7	1.395	1.329	1.263	1.197	1.132	1.066	1.000	0.934	0.868	0.803	0.737	0.671	0.605
8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
11	0.605	0.671	0.737	0.803	0.868	0.934	1.000	1.066	1.132	1.197	1.263	1.329	1.395
12	0.605	0.671	0.737	0.803	0.868	0.934	1.000	1.066	1.132	1.197	1.263	1.329	1.395
13	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
14	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
16	1.395	1.329	1.263	1.197	1.132	1.066	1.000	0.934	0.868	0.803	0.737	0.671	0.605

INJECTION À LA SECTION : 6

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 4

Profondeurs d'écoulement h (en cm)

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	1.25	2.30	2.60	2.60	2.90	2.90	3.00	3.20	4.00	5.65	7.60	9.50	9.70
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.70	2.70	3.85	5.00	6.45	7.85	9.75	11.35	11.75
3	3.40	2.70	2.60	3.00	3.20	3.20	3.90	4.00	4.30	5.40	6.90	7.60	7.60
4	6.40	4.70	4.00	4.00	4.10	4.40	3.40	2.40	2.10	2.90	4.00	4.20	4.20
5	7.00	5.20	4.00	3.40	3.20	3.00	3.20	3.50	3.50	2.50	2.50	2.80	2.40
6	10.90	9.40	7.60	5.40	4.40	3.30	2.30	2.40	3.30	3.20	2.70	2.40	2.60
7	12.20	11.00	9.00	7.40	5.80	4.20	2.60	1.50	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00
8	7.70	7.80	7.60	6.40	5.00	4.70	4.70	4.20	3.50	3.10	2.80	3.20	4.20
9	5.90	5.50	4.70	4.00	3.70	3.70	3.70	3.20	3.00	3.00	3.40	4.30	5.00
10	4.50	4.50	3.80	3.10	3.40	3.40	3.10	3.10	3.40	4.00	4.30	5.40	7.20
11	3.00	3.30	3.80	3.80	2.60	2.60	4.99	5.20	5.80	6.20	8.00	9.20	9.10
12	0.90	0.90	1.00	1.40	1.80	2.20	3.40	4.90	6.20	7.70	9.60	11.30	12.30
13	4.50	2.80	2.50	3.60	3.60	3.60	4.20	4.80	5.60	6.80	8.00	8.40	8.70
14	4.80	4.40	4.20	4.00	3.60	3.40	3.70	4.20	5.00	5.90	6.80	7.00	7.30
15	7.60	5.80	5.00	5.30	4.40	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	4.50	5.00	5.00
16	10.60	10.50	9.90	8.20	6.20	4.10	2.90	2.40	2.20	2.50	2.60	2.40	2.50

INJECTION À LA SECTION : 6

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 4

Valeur moyenne de \bar{u} (composantes longitudinales de la vitesse) en fonction de la profondeur, en cm/s

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	0.00	30.50	30.00	28.50	33.50	38.50	40.00	38.50	38.00	40.50	40.50	40.50	0.00
2	0.00	35.00	32.00	27.50	28.00	27.50	25.00	16.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	41.50	39.00	40.00	40.00	40.50	40.50	40.00	35.00	26.00	23.00	14.00	0.00
4	0.00	51.00	51.00	52.00	50.00	43.00	38.50	40.00	41.00	39.00	34.00	32.50	0.00
5	0.00	51.50	52.00	48.00	38.00	36.00	39.00	44.00	46.00	44.00	39.00	33.50	0.00
6	0.00	30.00	36.50	36.50	37.00	36.50	35.00	33.50	31.00	31.00	34.50	34.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	22.50	28.00	34.00	36.00	36.00	39.00	37.00	0.00
8	0.00	0.00	1.50	9.50	23.50	32.00	37.00	38.00	40.50	42.50	44.00	42.00	0.00
9	0.00	23.00	30.50	40.00	44.00	45.00	43.00	40.00	40.00	43.00	47.50	49.00	0.00
10	0.00	31.00	31.50	38.00	32.00	31.50	35.00	36.00	40.00	45.50	50.00	50.00	0.00
11	0.00	26.00	26.00	25.00	25.00	25.00	26.00	29.00	32.50	36.00	39.00	29.00	0.00
12	0.00	32.00	31.00	30.50	33.00	32.50	30.00	32.50	34.00	31.00	28.50	27.50	0.00
13	0.00	31.00	31.50	41.00	35.00	35.50	38.00	34.00	23.00	10.00	1.00	0.00	0.00
14	0.00	43.50	45.50	46.00	45.00	44.50	43.00	41.00	37.50	33.00	18.00	5.50	0.00
15	0.00	44.50	43.00	38.50	39.00	39.00	38.00	37.00	35.00	33.00	31.50	25.00	0.00
16	0.00	41.00	43.00	37.50	28.00	21.00	20.00	22.50	25.50	25.50	25.50	26.00	0.00

INJECTION À LA SECTION : 6

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 4

Valeur moyenne de \bar{w} (composantes transversales de la vitesse) en fonction de la profondeur, en cm/s

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
2	0.0	-1.7	-2.5	-3.7	-4.0	-3.6	-3.3	-3,2	-2.4	-1.2	-0.0	1.3	0.0
3	0.0	-4.0	-8.3	-11.9	-13.5	-13.7	-13.3	-12.5	-11.6	-10.5	-9.1	-8.6	0.0
4	0.0	-1.8	-3.8	-4.7	-4.5	-4.2	-3.7	-4.0	-4.5	-3.8	-2.1	-1.7	0.0
5	0.0	-0.3	-1.1	-1.3	-0.9	0.1	0.1	1.4	1.23	1.5	2.5	3.5	0.0
6	0.0	1.3	2.8	5.0	7.2	9.8	14.4	20.2	22.8	26.4	31.2	36.1	0.0
7	0.0	1.2	2.8	4.6	6.4	8.1	9.6	11.2	12.3	12.6	14.1	13.0	0.0
8	0.0	-0.8	-1.9	-3.6	-5.3	-7.4	-9.6	-12.4	-15.6	-19.0	-22.9	-24.5	0.0
9	0.0	-1.3	-2.6	-3.7	-4.1	-3.6	-2.7	-2.2	-2.3	-3.1	-4.5	-5.6	0.0
10	0.0	0.5	1.2	2.4	4.4	6.0	6.3	5.7	4.3	2.7	0.7	0.1	0.0
11	0.0	2.7	4.6	6.1	7.0	7.9	6.3	4.0	2.4	1.52	0.8	0.5	0.0
12	0.0	-0.0	0.6	-0.9	-2.5	-3.6	-3.5	-2.6	-1.50	-0.1	1.6	2.6	0.0
13	0.0	-2.9	-7.0	-9.2	-10.2	-11.4	-10.5	-8.6	-6.9	-5.2	-3.3	-1.30	0.0
14	0.0	-2.1	-4.5	-4.7	-5.8	-6.6	-6.0	-5.2	-4.6	-4.5	-5.0	-5.7	0.0
15	0.0	-1.7	-3.8	-5.5	-6.7	-7.6	-7.0	-5.2	-3.0	-0.9	-0,1	-0.4	0.0

INJECTION À LA SECTION : 6

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 5
Coefficients métriques h_1

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	1.682	1.568	1.455	1.341	1.227	1.114	1.000	0.886	0.773	0.650	0.545	0.432	0.318
2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6	0.318	0.432	0.545	0.659	0.773	0.886	1.000	1.114	1.227	1.341	1.455	1.568	1.682
7	0.318	0.432	0.545	0.659	0.773	0.886	1.000	1.114	1.227	1.341	1.455	1.568	1.682
8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
11	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
12	1.682	1.568	1.455	1.341	1.227	1.114	1.000	0.886	0.773	0.659	0.545	0.432	0.318
13	1.682	1.568	1.455	1.341	1.227	1.114	1.000	0.886	0.773	0.659	0.545	0.432	0.318
14	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
16	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

INJECTION À LA SECTION : 3

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 5

Profondeurs d'écoulement h (en cm)

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	1.70	1.60	1.90	2.60	3.20	3.40	4.00	5.60	6.90	8.60	10.50	11.80	11.90
2	5.60	4.20	3.70	3.70	4.10	4.50	4.80	5.30	5.85	5.90	5.60	6.40	7.70
3	4.60	4.80	4.60	4.80	5.00	4.00	3.00	3.20	3.50	3.70	3.70	3.60	3.30
4	6.60	4.20	3.80	3.00	3.20	2.80	2.60	4.00	5.00	4.80	4.80	4.60	3.80
5	5.60	5.80	5.00	3.80	3.20	2.80	3.00	3.40	4.00	4.20	4.00	3.20	2.80
6	12.60	11.20	9.40	8.00	5.80	4.60	3.80	3.00	2.60	2.60	2.20	1.60	0.80
7	11.40	10.80	9.40	7.80	6.20	5.00	4.40	3.80	3.00	2.20	1.60	2.00	2.40
8	6.20	6.20	5.80	5.40	4.60	3.80	3.40	4.40	4.60	4.00	4.20	5.20	6.40
9	5.00	5.20	5.20	4.80	4.20	4.00	3.80	3.60	4.00	4.80	5.40	5.80	6.80
10	3.00	3.40	3.40	3.00	2.80	3.40	4.00	3.80	4.00	4.40	5.40	6.20	6.20
11	1.60	1.80	2.00	2.40	3.00	3.20	3.00	3.40	3.80	4.40	6.00	7.20	7.40
12	1.40	2.20	2.60	2.40	2.60	3.40	5.00	6.60	8.00	9.40	10.80	12.00	13.20
13	1.80	1.40	1.60	2.00	2.80	4.00	5.80	7.00	8.40	9.80	11.60	12.40	12.40
14	5.40	4.40	3.00	2.20	2.80	2.40	4.60	6.20	7.40	8.60	9.40	9.60	9.80
15	4.80	5.40	5.00	4.20	3.80	2.80	2.00	2.20	2.20	2.60	3.00	3.40	3.20
16	5.20	5.00	5.00	4.60	4.00	4.00	3.80	3.40	3.00	2.80	3.20	3.60	3.40

INJECTION À LA SECTION : 3

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 5

Valeur moyenne de \bar{u} (composantes longitudinales de la vitesse) en fonction de la profondeur, en cm/s

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	0.00	0.00	3.00	8.00	8.00	10.00	13.00	17.00	22.00	25.00	28.00	31.00	0.00
2	0.00	13.00	15.00	17.00	19.00	23.00	27.00	32.00	35.00	37.00	38.00	39.00	0.00
3	0.00	23.00	27.00	29.00	30.00	34.00	38.00	40.00	42.00	44.00	46.00	45.00	0.00
4	0.00	33.00	37.00	40.00	40.00	43.00	42.00	39.00	31.00	21.00	32.00	38.00	0.00
5	0.00	32.00	32.00	33.00	35.00	38.00	40.00	39.00	36.00	34.00	39.00	37.00	0.00
6	0.00	13.00	17.00	19.00	15.00	18.00	28.00	20.00	19.00	20.00	15.00	0.00	0.00
7	0.00	31.00	28.00	25.00	22.00	17.00	13.00	10.00	8.00	8.00	3.00	3.00	0.00
8	0.00	39.00	38.00	37.00	35.00	32.00	27.00	23.00	19.00	17.00	15.00	13.00	0.00
9	0.00	37.00	30.00	29.00	27.00	26.00	25.00	26.00	24.00	22.00	19.00	19.00	0.00
10	0.00	39.00	38.00	37.00	34.00	30.00	27.00	29.00	31.00	31.00	27.00	25.00	0.00
11	0.00	46.00	47.00	45.00	43.00	42.00	41.00	37.00	36.00	38.00	32.00	29.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	16.00	19.00	6.00	7.00	22.00	21.00	19.00	0.00
13	0.00	0.00	9.00	0.00	0.00	0.00	3.00	11.00	20.00	26.00	27.00	25.00	0.00
14	0.00	11.00	15.00	18.00	20.00	23.00	25.00	24.00	23.00	23.00	18.00	17.00	0.00
15	0.00	23.00	27.00	29.00	30.00	34.00	38.00	40.00	42.00	44.00	46.00	45.00	0.00
16	0.00	40.00	35.00	31.00	31.00	30.00	28.00	27.00	30.00	39.00	42.00	40.00	0.00

INJECTION À LA SECTION : 3

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 5

Valeur moyenne de \bar{w} (composantes transversales de la vitesse) en fonction de la profondeur, en cm/s

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
2	0.0	-1.4	-3.3	-4.9	-6.3	-7.8	-8.7	-8.1	-7.4	-6.4	-5.2	-3.1	0.0
3	0.0	-1.1	-2.2	-3.1	-3.6	-4.0	-4.2	-3.7	-2.7	-1.1	-0.4	0.5	0.0
4	0.0	-0.8	-1.4	-1.4	-0.9	-0.5	-0.7	-0.7	-0.5	-0.21	-0.0	0.6	0.0
5	0.0	-0.1	-0.3	-0.8	-0.5	0.1	0.2	1.7	3.0	3.5	5.2	8.6	0.0
6	0.0	-1.7	-2.8	-3.7	-4.2	-4.4	-3.8	-2.5	-0.7	1.3	3.9	6.4	0.0
7	0.0	-1.1	-1.7	-2.2	-3.0	-3.9	-4.0	-4.5	-5.2	-6.0	-7.2	-8.1	0.0
8	0.0	1.4	2.5	3.2	3.8	4.1	3.9	3.1	1.9	0.8	-0.6	-1.8	0.0
9	0.0	1.2	2.3	3.5	4.8	5.4	5.2	5.0	4.3	3.2	1.8	0.7	0.0
10	0.0	1.8	2.7	3.3	3.2	2.6	2.0	1.5	0.8	-0.1	-1.0	-1.8	0.0
11	0.0	2.9	5.3	7.8	9.0	8.5	7.7	8.2	8.5	7.0	5.2	4.0	0.0
12	0.0	1.9	3.4	5.2	7.2	8.3	8.3	7.6	6.7	5.6	4.2	3.4	0.0
13	0.0	-0.8	-1.8	-2.8	-3.4	-2.9	-2.3	-2.9	-3.6	-3.4	-2.9	-2.5	0.0
14	0.0	-1.6	-3.9	-7.0	-9.0	-10.5	-9.7	-7.6	-5.8	-3.9	-2.2	-0.9	0.0
15	0.0	-1.7	-3.4	-5.3	-6.8	-8.8	-8.6	-7.3	-5.6	-3.9	-3.8	-2.6	0.0

INJECTION À LA SECTION : 3

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 6

Coefficients métriques h_1

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	1.682	1.568	1.455	1.341	1.227	1.114	1.000	0.886	0.773	0.659	0.545	0.432	0.318
2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6	0.318	0.432	0.545	0.659	0.773	0.886	1.000	1.114	1.227	1.341	1.455	1.568	1.682
7	0.318	0.432	0.545	0.659	0.773	0.886	1.000	1.114	1.227	1.341	1.455	1.568	1.682
8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
11	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
12	1.682	1.568	1.455	1.341	1.227	1.114	1.000	0.886	0.773	0.659	0.545	0.432	0.318
13	1.682	1.568	1.455	1.341	1.227	1.114	1.000	0.886	0.773	0.659	0.545	0.432	0.318
14	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
16	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

SECTIONS LE LONG DE x

INJECTION À LA SECTION : 3

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 6

Profondeurs d'écoulement n (en cm)

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	2.800	2.000	1.400	1.000	1.000	1.800	3.200	3.800	4.400	5.600	7.200	8.000	8.400
2	3.200	2.800	2.800	2.800	3.000	2.800	3.000	3.800	4.200	4.400	4.800	5.000	5.400
3	4.000	3.200	2.800	2.400	2.800	3.000	3.000	3.400	3.400	3.200	3.600	4.000	4.600
4	4.000	3.600	3.000	2.600	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	3.000	3.000	3.000	3.200
5	4.400	4.000	3.400	3.000	3.000	3.200	3.200	3.200	3.00	2.600	2.400	2.400	2.800
6	7.200	7.200	6.400	5.600	4.400	3.600	2.800	2.600	2.600	2.600	1.800	1.400	1.200
7	10.200	9.200	7.600	6.200	4.800	3.400	1.800	1.000	0.600	0.800	1.200	2.200	3.400
8	6.000	5.800	5.000	4.200	3.800	3.800	3.600	3.000	2.200	2.00	2.800	3.600	3.600
9	4.400	4.200	3.600	3.200	2.800	3.000	3.200	3.400	3.000	2.800	2.800	3.200	4.600
10	4.200	4.000	3.600	3.200	3.000	3.000	3.000	2.600	2.400	2.800	3.400	4.000	5.400
11	2.600	2.800	2.800	2.600	2.600	2.600	2.400	2.400	2.600	3.200	4.400	5.000	5.000
12	0.800	1.200	1.600	2.400	3.200	3.200	3.800	4.600	5.800	6.200	5.800	5.600	5.800
13	1.600	1.400	1.200	1.600	1.600	2.000	3.000	4.000	4.600	5.000	5.600	6.600	8.000
14	3.600	3.200	2.200	2.000	2.000	2.000	2.400	2.800	3.600	4.400	5.400	6.000	7.000
15	3.000	3.400	3.600	3.200	2.600	2.400	2.400	2.600	3.200	3.800	4.200	4.600	5.000
16	3.400	3.400	3.400	3.600	3.400	3.000	2.800	2.600	2.800	3.000	3.200	3.600	3.800

INJECTION À LA SECTION : 3

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 6

Valeur moyenne de \bar{u} (composantes longitudinales de la vitesse) en fonction de la profondeur, en cm/s

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	0.00	0.00	18.00	24.00	25.00	27.00	30.00	30.00	27.00	23.00	23.00	25.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	14.00	27.00	31.00	35.00	33.00	33.00	34.00	34.00	33.00	0.00
3	0.00	20.00	25.00	30.00	34.00	35.00	35.00	37.00	37.00	36.00	36.00	34.00	0.00
4	0.00	33.00	36.00	38.00	40.00	41.00	41.00	40.00	41.00	42.00	41.00	40.00	0.00
5	0.00	26.00	28.00	29.00	31.00	33.00	34.00	31.00	32.00	40.00	42.00	43.00	0.00
6	0.00	28.00	26.00	25.00	23.00	24.00	26.00	27.00	26.00	24.00	30.00	32.00	0.00
7	0.00	27.00	29.00	28.00	23.00	22.00	21.00	14.00	13.00	13.00	10.00	9.00	0.00
8	0.00	35.00	37.00	37.00	38.00	37.00	35.00	32.00	26.00	18.00	7.00	0.00	0.00
9	0.00	37.00	39.00	38.00	36.00	36.00	37.00	34.00	32.00	30.00	23.00	19.00	0.00
10	0.00	35.00	35.00	34.00	31.00	34.00	37.00	37.00	36.00	34.00	31.00	28.00	0.00
11	0.00	39.00	41.00	40.00	36.00	34.00	33.00	37.00	38.00	35.00	32.00	30.00	0.00
12	0.00	23.00	34.00	32.00	27.00	25.00	23.00	21.00	22.00	24.00	26.00	24.00	0.00
13	0.00	10.00	10.00	10.00	20.00	30.00	31.00	30.00	30.00	31.00	34.00	34.00	0.00
14	0.00	15.00	25.00	25.00	29.00	33.00	36.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	0.00
15	0.00	2.00	20.00	27.00	32.00	36.00	37.00	37.00	37.00	38.00	39.00	39.00	0.00
16	9.00	7.00	23.00	29.00	30.00	33.00	36.00	37.00	38.00	39.00	40.00	40.00	0.00

INJECTION À LA SECTION : 3

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 6

Valeur moyenne de \bar{w} (composantes transversales de la vitesse) en fonction de la profondeur, en cm/s

SECTIONS LE LONG DE z														
SECTIONS LE LONG DE x	R.D.*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.*	
	1												13	
	2	0.0	-1.2	-2.3	-3.7	-5.1	-5.8	-5.4	-5.0	-4.7	-4.3	-3.6	-2.6	0.0
	3	0.0	-1.9	-4.3	-6.0	-6.3	-6.3	-6.0	-4.9	-4.0	-3.4	-2.6	-1.8	0.0
	4	0.0	-0.6	-1.1	-1.6	-1.6	-1.6	-1.7	-1.1	-0.5	-0.3	0.3	0.8	0.0
	5	0.0	-1.2	-2.3	-3.2	-3.5	-3.3	-2.9	-2.4	-1.8	-0.5	0.8	2.5	0.00
	6	0.0	-2.4	-4.2	-5.6	-6.0	-6.0	-5.5	-4.1	-2.2	-0.1	1.8	3.5	0.0
	7	0.0	-0.0	-0.3	-0.5	-1.2	-2.2	-3.7	-5.3	-6.2	-5.3	-3.8	-1.9	0.0
	8	0.0	1.0	2.1	3.0	3.6	3.3	2.2	0.4	-1.7	-3.9	-4.6	-4.0	0.0
	9	0.0	0.8	1.7	2.6	3.8	4.6	4.8	5.0	4.9	3.9	1.9	-0.2	0.0
	10	0.0	0.7	1.1	1.6	1.9	2.2	3.0	3.6	3.8	3.0	1.2	-0.2	0.0
	11	0.0	2.2	3.6	4.1	4.1	4.6	5.1	5.2	4.2	3.0	2.0	1.5	0.0
	12	0.0	2.6	5.0	6.2	6.6	6.8	6.3	5.3	4.4	3.7	3.0	2.1	0.0
	13	0.0	-0.5	-0.6	0.4	0.8	0.9	0.8	0.6	0.4	0.2	-0.5	-1.9	0.0
	14	0.0	-0.5	-1.8	-3.7	-5.4	-5.9	-5.1	-4.1	-3.2	-2.6	-2.0	-1.2	0.0
15	0.0	-0.2	-0.6	-1.6	-2.6	-3.4	-3.8	-3.5	-2.5	-1.4	-0.3	0.7	0.0	

INJECTION À LA SECTION : 3

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 7

Coefficients métriques h_1

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	-0.181	0.016	0.213	0.409	0.606	0.803	1.000	1.197	1.394	1.591	1.787	1.984	2.181
2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
8	2.181	1.984	1.787	1.591	1.394	1.197	1.000	0.803	0.606	0.409	0.213	0.016	-0.181
9	2.181	1.984	1.787	1.591	1.394	1.197	1.000	0.803	0.606	0.409	0.213	0.016	-0.181
10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
11	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
12	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
13	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
14	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
16	-0.181	0.016	0.213	0.409	0.606	0.803	1.000	1.197	1.394	1.591	1.787	1.984	2.181

INJECTION À LA SECTION : 3

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 7

Profondeurs d'écoulement h (en cm)

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	0.400	0.400	1.000	2.000	3.000	3.800	4.400	5.400	6.200	6.800	7.000	7.400	7.400
2	3.000	3.000	2.800	3.000	3.400	3.800	4.000	4.200	4.400	4.800	5.000	5.200	5.400
3	4.800	4.200	3.400	3.400	3.600	3.600	3.600	3.800	4.000	4.200	4.400	4.600	5.000
4	4.600	4.200	3.800	3.600	3.200	3.200	3.000	3.000	3.000	2.800	2.800	3.000	3.400
5	4.200	4.200	4.000	3.600	3.200	2.800	2.600	2.800	2.800	3.000	3.000	3.000	3.000
6	4.600	4.400	4.000	3.400	3.000	2.600	2.800	2.800	2.600	2.800	2.600	2.800	2.600
7	5.200	5.200	5.200	4.600	4.200	3.400	2.800	2.600	2.600	2.800	2.600	2.400	2.200
8	12.00	12.00	11.80	11.00	10.00	8.60	6.80	5.20	3.60	3.60	1.20	0.60	0.40
9	7.000	6.800	6.200	5.800	6.000	5.800	5.600	4.200	3.200	2.000	1.200	0.600	0.600
10	6.000	6.000	5.400	4.800	4.400	4.400	4.600	4.200	3.400	2.800	2.600	3.000	3.400
11	3.600	4.000	3.800	3.800	3.800	3.600	3.200	3.000	3.200	3.600	4.000	4.600	5.000
12	2.800	3.200	3.200	3.000	3.200	3.200	3.400	3.400	3.200	3.400	4.600	5.400	6.000
13	2.400	2.600	2.700	2.800	2.800	2.800	2.600	2.800	3.000	3.400	3.800	4.600	5.000
14	2.600	3.000	3.600	3.800	2.800	2.400	2.400	2.600	3.000	3.400	3.600	4.000	4.400
15	1.600	2.200	2.400	2.600	2.600	2.400	2.800	3.400	3.800	3.800	4.600	5.000	5.000
16	0.800	1.000	1.200	1.600	2.400	3.800	5.400	6.600	7.800	9.600	10.60	11.60	12.00

INJECTION À LA SECTION : 3

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 7

Valeur moyenne de \bar{u} (composantes longitudinales de la vitesse) en fonction de la profondeur, en cm/s

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
1	0.00	0.00	23.00	34.00	32.00	35.00	38.00	36.00	37.00	39.00	40.00	39.00	0.00
2	0.00	27.00	32.00	34.00	34.00	35.00	36.00	38.00	42.00	43.00	44.00	44.00	0.00
3	0.00	28.00	34.00	38.00	36.00	35.00	36.00	42.00	44.00	43.00	45.00	42.00	0.00
4	0.00	37.00	39.00	42.00	42.00	41.00	42.00	50.00	53.00	53.00	53.00	49.00	0.00
5	0.00	38.00	43.00	45.00	40.00	42.00	46.00	49.00	51.00	51.00	51.00	49.00	0.00
6	0.00	42.00	45.00	50.00	47.00	46.00	49.00	49.00	49.00	51.00	53.00	54.00	0.00
7	0.00	43.00	43.00	43.00	42.00	47.00	50.00	51.00	52.00	53.00	53.00	51.00	0.00
8	0.00	30.00	29.00	27.50	26.00	25.00	22.00	20.00	17.00	13.00	10.00	5.00	0.00
9	0.00	34.00	33.00	32.00	32.00	30.00	30.00	20.00	17.00	13.00	13.00	5.00	0.00
10	0.00	40.00	39.00	36.00	27.00	31.00	34.00	34.00	35.00	37.00	15.00	10.00	0.00
11	0.00	41.00	42.00	42.00	40.00	36.00	35.00	35.00	35.00	34.00	32.00	29.00	0.00
12	0.00	43.00	44.00	45.00	43.00	46.00	45.00	23.00	21.00	26.00	25.00	26.00	0.00
13	0.00	51.00	52.00	50.00	46.00	49.00	52.00	48.00	45.00	42.00	41.00	41.00	0.00
14	0.0	45.00	51.00	52.00	49.00	51.00	57.00	52.00	44.00	36.00	34.00	35.00	0.00
15	0.00	50.00	54.00	54.00	52.00	53.00	54.00	48.00	45.00	43.00	43.00	42.00	0.00
16	0.00	0.00	4.00	10.00	16.00	14.00	10.00	10.00	15.00	23.00	28.00	30.00	0.00

INJECTION À LA SECTION : 3

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Expérience n° 7

Valeur moyenne de \bar{w} (composantes transversales de la vitesse) en fonction de la profondeur, en cm/s

SECTIONS LE LONG DE z													
	R.D.* 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	R.G.* 13
2	0.0	-2.7	-5.1	-6.1	-5.8	-4.9	-3.7	-2.8	-1.9	-0.8	-0.1	0.7	0.0
3	0.0	-1.0	-2.1	-3.0	-3.3	-3.1	-2.8	-2.61	-2.13	-1.23	-0.2	0.9	0.0
4	0.0	-0.5	-1.4	-2.0	-2.1	-2.0	-1.9	-1.5	-0.9	-0.4	0.4	1.1	0.0
5	0.0	-0.4	-0.9	-1.2	-1.5	-1.4	-1.7	-1.5	-0.8	-0.7	-0.5	-0.6	0.0
6	0.0	-0.8	-1.5	-2.2	-3.2	-4.6	-5.4	-5.2	-5.2	-4.9	-4.7	-4.2	0.0
7	0.0	-1.0	-2.1	-3.4	-5.1	-7.4	-9.8	-11.9	-13.3	-11.8	-9.6	-5.9	0.0
8	0.0	-0.0	0.0	0.1	0.0	-0.0	0.3	0.2	2.0	7.3	19.2	38.2	0.0
9	0.0	0.5	1.1	2.0	3.2	4.5	5.5	7.1	10.2	14.6	22.2	24.9	0.0
10	0.0	0.5	1.0	1.3	1.9	2.6	3.5	3.8	3.5	2.2	-0.2	-3.0	0.0
11	0.0	1.4	2.3	3.0	2.8	2.7	2.8	4.0	5.2	5.4	3.6	1.7	0.0
12	0.0	0.6	0.9	1.2	1.6	1.5	1.1	0.6	0.2	-0.2	-0.5	-1.1	0.0
13	0.0	0.1	-0.7	-1.9	-2.0	-1.5	-1.2	-2.3	-3.4	-3.7	-3.2	-2.8	0.0
14	0.0	0.5	0.6	0.6	0.5	0.8	0.5	-0.2	-0.8	-1.1	-1.5	-1.7	0.0
15	0.0	4.4	8.3	11.6	14.0	14.1	12.8	10.9	8.8	6.2	4.0	2.1	0.0

INJECTION À LA SECTION : 3

* R.D. : rive droite
R.G. : rive gauche

Annexe C

Listage d'un programme servant à calculer $\sigma^2(x)$, $G(x)$ et $F_j(x)$ à partir des valeurs mesurées de l'annexe B, pour évaluer les coefficients de dispersion sans dimension α_j

```

LN 0001 C THIS PROGRAMME COMPUTES THE LATERAL VELOCITY COMPONENTS FROM LOGIT
LN 0002 C COMPONENTS USING CONTINUITY EQUATION.
LN 0003 DIMENSION U(25,13),HT(25,13),W(25,13),WHT(25,13)
LN 0004 DIMENSION C(25,13),Z(13),P1(13),P2(13),P3(13),P4(13),DERIH(13)
LN 0005 DIMENSION HR(25),AU(25),G(25),F(25),SIGMA(25),FX(25),GX(25),
LN 0006 1SIGMOD(25)
LN 0007 DIMENSION H1(25,13),DERIH1(13),P5(13)
LN 0008 DIMENSION P31(13),P41(13),P51(13),DERIHU(13),F1(25),FX1(25)
LN 0009 N=16
LN 0010 M=13
LN 0011 N1=N-1
LN 0012 M1=M-1
LN 0013 N2=13
LN 0014 N21=N2-1
LN 0015 NIN=5
LN 0016 NIN1=NIN+1
LN 0017 AK=2.5
LN 0018 H=22.5
LN 0019 R=AK/H
LN 0020 NR=3
LN 0021 Q=3051.7
LN 0022 SL=3.37460
LN 0023 B=30.00
LN 0024 H2=157.70
LN 0025 ALMDA=180.00
LN 0026 H1B=H2/3
LN 0027 C TO GENERATE H1 VALUES
LN 0028 RC=12.7
LN 0029 I=1
LN 0030 DO1 J=1,M
LN 0031 1 H1(I,J)=(RC-((3/2.0)-(J-1)*AK))/RC
LN 0032 DO2 I=2,7
LN 0033 DO2 J=1,M
LN 0034 2 H1(I,J)=1.00
LN 0035 DO3 I=8,9
LN 0036 DO3 J=1,M
LN 0037 3 H1(I,J)=(RC+((3/2.0)-(J-1)*AK))/RC
LN 0038 DO4 I=10,15
LN 0039 DO4 J=1,M
LN 0040 4 H1(I,J)=1.00
LN 0041 DO5 I=16,17
LN 0042 DO5 J=1,M
LN 0043 5 H1(I,J)=(RC-((3/2.0)-(J-1)*AK))/RC
LN 0044 DO 10 I=1,N
LN 0045 W(I,1)=0.00
LN 0046 W(I,M)=0.00
LN 0047 WHT(I,1)=0.00
LN 0048 WHT(I,M)=0.00
LN 0049 C(I,1)=0.00
LN 0050 C(I,M)=0.00
LN 0051 U(I,1)=0.00
LN 0052 10 U(I,M)=0.00

```

```

LN 0053      DO 11 I=1,N
LN 0054      READ(60,100) (U(I,J),J=2,M1)
LN 0055      11 CONTINUE
LN 0056      100 FORMAT(11F7.2)
LN 0057      DO 48 I=1,N
LN 0058      READ(60,259) (C(I,J),J=2,M1)
LN 0059      48 CONTINUE
LN 0060      259 FORMAT(11F7.3)
LN 0061      300 FORMAT(1H0,110,13F9.3)
LN 0062      DO 9 I=1,N
LN 0063      READ(60,101) (HT(I,J),J=1,M)
LN 0064      9 CONTINUE
LN 0065      101 FORMAT(13F6.2)
LN 0066      DO 204 I=1,N
LN 0067      READ(60,102) HR(I),AU(I)
LN 0068      204 CONTINUE
LN 0069      102 FORMAT(2F10.3)
LN 0070      WRITE(61,400)
LN 0071      400 FORMAT(1H1)
LN 0072      WRITE(61,404) NR
LN 0073      404 FORMAT(51X,#MEANDERING FLUME EXPERIMENTS      RUN NUMBER=#,I3)
LN 0074      WRITE(61,405)
LN 0075      405 FORMAT(1H ,25X,#MEANDERING CHARACTERISTICS#,7X,#H/B=#,13X,#B=#,
LN 0076      113X,#L=#)
LN 0077      WRITE(61,406) H1B,B,ALMOA
LN 0078      406 FORMAT(1H+,62X,F5.2,10X,F6.2,10X,F7.2)
LN 0079      WRITE(61,407)
LN 0080      407 FORMAT(1H ,25X,#FLOW CHARACTERISTICS#,15X,#Q=#,13X,#S=#)
LN 0081      WRITE(61,408) Q,SL
LN 0082      408 FORMAT(1H+,62X,F7.2,10X,F7.2)
LN 0083      WRITE(61,409)
LN 0084      409 FORMAT(1H ,25X,#BED CHARACTERISTICS#,12X,#SCOURED BY FLOW AND
LN 0085      1STABILIZED#)
LN 0086      WRITE(61,400)
LN 0087      WRITE(61,401)
LN 0088      401 FORMAT(1X,#THE DEPTH AVERAGE LONGITUDINAL VELOCITY COMPONENTS#)
LN 0089      402 FORMAT(1X,#THE DEPTHS#)
LN 0090      403 FORMAT(1X,#THE DEPTH AVERAGE TRANSVERSE VELOCITY COMPONENTS#)
LN 0091      WRITE(61,410)
LN 0092      410 FORMAT(16X,#0#,8X,#1#,8X,#2#,8X,#3#,8X,#4#,8X,#5#,8X,#6#,8X,
LN 0093      1#7#,8X,#8#,8X,#9#,8X,#10#,8X,#11#,8X,#12#)
LN 0094      413 FORMAT(1X,#THE METRIC COEFFICIENTS#)
LN 0095      DO 12 I=1,N
LN 0096      WRITE(61,300) I,(U(I,J),J=1,M)
LN 0097      12 CONTINUE
LN 0098      WRITE(61,400)
LN 0099      WRITE(61,402)
LN 0100      WRITE(61,410)
LN 0101      DO 13 I=1,N
LN 0102      WRITE(61,300) I,(HT(I,J),J=1,M)
LN 0103      13 CONTINUE
LN 0104      WRITE(61,400)

```

```

LN 0105      WRITE(61,-18)
LN 0106      WRITE(61,410)
LN 0107      DO 38 I=1,N
LN 0108      WRITE(61,300) I,(H1(I,J),J=1,M)
LN 0109      38 CONTINUE
LN 0110      DO 14 I=2,N1
LN 0111      DO 14 J=2,M1
LN 0112      14 WHT(I,J)=WHT(I,J-1)-R*(U(I+1,J)*HT(I+1,J)-U(I-1,J)*HT(I-1,J))/2.0
LN 0113      DO 15 I=2,N1
LN 0114      DO 15 J=2,M1
LN 0115      15 W(I,J)=4.0*WHT(I,J)/(HT(I,J)*H1(I,J)+HT(I,J-1)*H1(I,J-1)+HT(I-1,J)
LN 0116      *H1(I-1,J)+HT(I+1,J)*H1(I+1,J))
LN 0117      WRITE(61,400)
LN 0118      WRITE(61,403)
LN 0119      WRITE(61,410)
LN 0120      DO 16 I=2,N1
LN 0121      WRITE(61,300) I,(W(I,J),J=1,M)
LN 0122      16 CONTINUE
LN 0123      WRITE(61,400)
LN 0124      WRITE(61,411)
LN 0125      411 FORMAT(1X,#DEPTH AVERAGE CONCENTRATION OF THE TRACER#)
LN 0126      WRITE(61,410)
LN 0127      DO 8 I=1,N
LN 0128      WRITE(61,300) I,(CT(I,J),J=1,M)
LN 0129      8 CONTINUE
LN 0130      WRITE(61,400)
LN 0131      WRITE(61,412)
LN 0132      412 FORMAT(5X,#STATION#,15X,#FLUX#,15X,#SIGMA(X)#,15X,#G(X)#,15X,#F(X)
LN 0133      #,15X,#Z3#)
LN 0134      Z(1)=0.00
LN 0135      DO 17 J=2,M
LN 0136      17 Z(J)=Z(J-1)+AK
LN 0137      DO 18 I=NIN,N2
LN 0138      DO 19 J=1,M
LN 0139      P1(J)=HT(I,J)*U(I,J)*C(I,J)
LN 0140      P2(J)=HT(I,J)*W(I,J)*C(I,J)*H1(I,J)
LN 0141      P3(J)=HT(I,J)*C(I,J)*H1(I,J)
LN 0142      P31(J)=HT(I,J)*H2*U(I,J)*H1(I,J)*C(I,J)
LN 0143      19 CONTINUE
LN 0144      DO 20 J=2,M1
LN 0145      DERIH(J)=(HT(I,J+1)-HT(I,J-1))/(2.0*AK)
LN 0146      DERIHU(J)=(HT(I,J+1)*H2*U(I,J+1)-HT(I,J-1)*H2*U(I,J-1))/(2.0*AK)
LN 0147      20 CONTINUE
LN 0148      DERIH(1)=DERIH(2)
LN 0149      DERIH(M)=DERIH(M1)
LN 0150      DERIHU(1)=DERIHU(2)
LN 0151      DERIHU(M)=DERIHU(M1)
LN 0152      DO 21 J=1,M
LN 0153      P4(J)=DERIH(J)+C(I,J)*H1(I,J)
LN 0154      P41(J)=DERIHU(J)*C(I,J)*H1(I,J)
LN 0155      21 CONTINUE
LN 0156      DO 66 J=2,M1

```

```

LN J157      66 DERIH1(J)=(H1(I,J+1)-H1(I,J-1))/(2.0*AK)
LN J158      DERIH1(1)=DERIH1(2)
LN J159      DERIH1(M)=DERIH1(M-1)
LN J160      DO 67 J=1,M
LN J161      P5(J)=DERIH1(J)*HT(I,J)*C(I,J)
LN J162      P51(J)=DERIH1(J)*HT(I,J)*H2*U(I,J)*C(I,J)
LN J163      67 CONTINUE
LN J164      SUM=0.00
LN J165      DO 22 J=1,M1
LN J166      22 SUM=SUM+(P1(J+1)+P1(J))*(Z(J+1)-Z(J))/2.0
LN J167      A0=SUM
LN J168      SUM=0.00
LN J169      DO 27 J=1,M1
LN J170      27 SUM=SUM+(P1(J+1)+P1(J))*(Z(J+1)-Z(J))*(Z(J+1)+Z(J))/4.0
LN J171      A1=SUM
LN J172      Z1=A1/A0
LN J173      Z0=A1/A0
LN J174      SUM=0.00
LN J175      DO 23 J=1,M1
LN J176      23 SUM=SUM+(P1(J+1)+P1(J))*(Z(J+1)-Z(J))*(Z(J+1)+Z(J)-2.0*Z0)**2/8.0
LN J177      A2=SUM
LN J178      SUM=0.00
LN J179      DO 24 J=1,M1
LN J180      24 SUM=SUM+(P2(J+1)+P2(J))*(Z(J+1)-Z(J))*(Z(J+1)+Z(J)-2.0*Z0)/4.0
LN J181      B1=SUM
LN J182      SUM=0.00
LN J183      SUM1=0.00
LN J184      DO 25 J=1,M1
LN J185      SUM=SUM+(P3(J+1)+P3(J))*(Z(J+1)-Z(J))/2.0
LN J186      SUM1=SUM1+(P31(J+1)+P31(J))*(Z(J+1)-Z(J))/2.0
LN J187      25 CONTINUE
LN J188      C0=SUM
LN J189      C0=SUM1
LN J190      SUM=0.00
LN J191      SUM1=0.00
LN J192      DO 26 J=1,M1
LN J193      SUM=SUM+(P4(J+1)+P4(J))*(Z(J+1)-Z(J))*(Z(J+1)+Z(J)-2.0*Z0)/4.0
LN J194      SUM1=SUM1+(P41(J+1)+P41(J))*(Z(J+1)-Z(J))*(Z(J+1)+Z(J)-2.0*Z0)/4.0
LN J195      26 CONTINUE
LN J196      C1=SUM
LN J197      C1=SUM1
LN J198      SUM=0.00
LN J199      SUM1=0.00
LN J200      DO 68 J=1,M1
LN J201      SUM=SUM+(P5(J+1)+P5(J))*(Z(J+1)-Z(J))*(Z(J+1)+Z(J)-2.0*Z0)/4.0
LN J202      SUM1=SUM1+(P51(J+1)+P51(J))*(Z(J+1)-Z(J))*(Z(J+1)+Z(J)-2.0*Z0)/4.0
LN J203      68 CONTINUE
LN J204      C2=SUM
LN J205      C2=SUM1
LN J206      FLUX=A0
LN J207      SIGMA(I)=A2/A0
LN J208      C3=H1(I,M)*HT(I,M)*C(I,M)**(3-Z0)+H1(I,1)*HT(I,1)*C(I,1)*Z0

```

```

LN 0210      C3=0.00
LN 0211      G(I)=2.1*B1/AC
LN 0212      F(I)=H2*AU(I)^(C0+C1+C2-C3)/A3
LN 0213      F1(I)=(D0+D1+D2)/A3
LN 0214      WRITE(61,413) I,FLUX,SIGMA(I),G(I),F(I),Z1,F1(I)
LN 0215      413 FORMAT(1HC,5X,I7,10X,F9.3,10X,F0.3,10X,F6.3,10X,F9.3,10X,F6.3,10X,
LN 0216      1F9.3)
LN 0217      18 CONTINUE
LN 0218      SUM1=0.00
LN 0219      SUM2=0.00
LN 0220      SUM3=0.00
LN 0221      DO 30 I=NIN,N21
LN 0222      SUM1=SUM1+(G(I+1)+G(I))*H/2.0
LN 0223      GX(I+1)=SUM1
LN 0224      SUM2=SUM2+(F(I+1)+F(I))*H/2.0
LN 0225      FX(I+1)=SUM2
LN 0226      SUM3=SUM3+(F1(I+1)+F1(I))*H/2.0
LN 0227      FX1(I+1)=SUM3
LN 0228      30 CONTINUE
LN 0229      DO 31 I=NIN1,N2
LN 0230      31 SIGMOD(I)=SIGMA(I)-GX(I)
LN 0231      WRITE(61,408)
LN 0232      WRITE(61,414)
LN 0233      414 FORMAT(15X, #SIGMA-G(X) #, 15X, #FX(X) #, 15X, #FX1(X) #)
LN 0234      DO 32 I=NIN1,N2
LN 0235      32 WRITE(61,415) SIGMOD(I),FX(I),GX(I),FX1(I)
LN 0236      415 FORMAT(15X,F10.3,14X,F9.3,14X,F9.3,14X,F9.3)
LN 0237      STOP
LN 0238      END

```

USASI FOPTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR FTN.MAIN

NO ERRORS

,LGO

Annexe D

Tableaux des valeurs de $\sigma^2(x)$, $G(x)$ et $F_i(x)$ pour toutes les expériences

Expérience n° 1

Section	$\sigma^2(x)$	G(x)	F ₁ (x)	F ₂ (x)	F ₃ (x)	F ₄ (x)
2	12.82					
3	24.63	-10.78	16.9	73.5	79.9	447.9
4	47.38	-16.81	33.5	145.7	148.4	855.2
5	57.18	-5.76	49.1	222.6	216.3	1316.0
6	55.98	-5.51	64.7	279.9	294.2	1798.0
7	47.73	-13.64	74.8	336.5	381.3	2203.0
8	67.43	-3.56	85.8	392.9	473.6	2591.2

Expérience n° 2

Section	$\sigma^2(x)$	G(x)	F ₁ (x)	F ₂ (x)	F ₃ (x)	F ₄ (x)
3	54.93					
4	54.36	2.85	7.8	52.1	122.9	413.4
5	63.41	10.84	14.1	90.5	256.0	824.1
6	57.89	-3.35	20.0	126.0	375.0	1211.5
7	17.51	-22.80	26.4	162.9	467.8	1452.5
8	51.77	-10.60	34.5	205.3	583.1	1696.4
9	66.07	2.62	43.4	248.3	731.1	2061.3
10	59.71	3.24	52.1	292.6	854.2	2437.6

Expérience n° 3

Section	$\sigma^2(x)$	G(x)	F ₁ (x)	F ₂ (x)	F ₃ (x)	F ₄ (x)
3	42.20					
4	59.66	9.24	18.4	107.5	200.2	532.9
5	66.50	6.22	37.2	210.2	409.1	1055.9
6	58.46	-11.39	56.0	288.5	579.3	1432.4
7	19.59	-36.00	72.4	355.2	677.0	1650.6
8	39.31	-32.19	91.7	435.7	798.1	1861.7
9	65.02	-9.98	118.8	540.5	983.8	2204.7
10	71.45	1.32	149.2	656.9	1183.8	2635.1

Expérience n° 4

Section	$\sigma^2(x)$	G(x)	F ₁ (x)	F ₂ (x)	F ₃ (x)	F ₄ (x)
8	15.61					
9	33.14	- 9.75	12.6	74.9	173.7	580.8
10	33.96	- 17.42	27.1	154.1	367.0	1138.9
11	25.92	- 29.09	50.8	254.8	560.9	1637.8
12	22.77	- 27.37	88.8	391.4	770.8	2117.6
13	26.66	- 36.90	142.3	476.9	1082.9	2455.5
14	47.53	- 65.27	186.9	510.5	1390.4	2704.8
15	63.13	- 71.52	211.1	576.5	1604.8	3095.5

Expérience n° 5

Section	$\sigma^2(x)$	G(x)	F ₁ (x)	F ₂ (x)	F ₃ (x)	F ₄ (x)
5	15.87					
6	15.34	- 0.47	22.1	77.9	334.6	516.3
7	11.25	- 7.58	45.8	140.1	596.6	781.9
8	22.43	- 8.72	62.9	202.1	798.8	1085.0
9	34.72	0.68	81.9	276.1	1121.3	1535.3
10	47.86	3.98	100.5	355.6	1505.6	2066.9
11	52.41	4.59	116.3	426.1	1882.2	2561.6
12	26.12	- 45.00	137.1	479.2	2261.9	2834.9

Expérience n° 6

Section	$\sigma^2(x)$	G(x)	F ₁ (x)	F ₂ (x)	F ₃ (x)	F ₄ (x)
4	5.90					
5	10.61	1.05	5.6	61.1	201.1	660.9
6	14.56	- 0.18	13.5	130.6	393.0	1229.5
7	8.41	- 3.84	22.7	199.8	540.3	1646.9
8	12.75	- 4.82	31.9	277.5	686.5	2114.3
9	21.59	- 0.60	40.5	357.6	868.3	2716.0
10	30.00	5.73	48.2	424.6	1069.6	3311.7
11	39.17	10.01	55.5	489.3	1282.0	3922.5

Expérience n° 7

Section	$\sigma^2(x)$	$G(x)$	$F_1(x)$	$F_2(x)$	$F_3(x)$	$F_4(x)$
5	16.06					
6	23.20	- 3.11	6.7	73.2	341.2	654.1
7	21.94	- 11.76	13.9	142.8	696.6	1212.6
8	16.22	- 17.18	41.8	309.9	1073.7	1823.5
9	26.33	- 7.99	77.9	511.4	1487.9	2495.9
10	43.67	3.29	95.9	614.3	1871.7	3000.5
11	59.69	10.05	107.1	677.6	2209.7	3404.9
12	58.89	12.11	118.3	735.8	2593.8	3827.3
13	63.58	5.56	128.1	790.0	2964.4	4250.6

«Imprimé au Canada»

Environment Canada Library, Burlington



3 9055 1018 8153 9