

Record Number:

Author, Monographic: Dhatt, G.//Dupuis, P.//Leclerc, M.//Soulaïmani, A.

Author Role:

Title, Monographic: Implications technico-environnementales de la configuration 2 du scénario 11 de la variante 18 de l'aménagement hydroélectrique de l'archipel de Montréal

Translated Title:

Reprint Status:

Edition:

Author, Subsidiary:

Author Role:

Place of Publication: Québec

Publisher Name: INRS-Eau

Date of Publication: 1985

Original Publication Date: Janvier 1985

Volume Identification:

Extent of Work: v, 52

Packaging Method: pages

Series Editor:

Series Editor Role:

Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche

Series Volume ID: 176

Location/URL:

ISBN: 2-89146-174-6

Notes: Rapport annuel 1984-1985

Abstract: Rapport rédigé pour Hydro-Québec, division Environnement et distribué par TAO Simulations Inc.

Call Number: R000176

Keywords: rapport/ ok/ dl

IMPLICATIONS TECHNICO-ENVIRONNEMENTALES
DE LA CONFIGURATION 2 DU SCENARIO 11
DE LA VARIANTE 18 DE L'AMENAGEMENT
HYDROELECTRIQUE DE L'ARCHIPEL DE MONTREAL

par : Gouri Dhatt, conseiller scientifique, Université Laval
Pierre Dupuis, infographie (CRANI)
Michel Leclerc, coordination, INRS-Eau
Azzedine Soulaïmani, modélisation, Université Laval

pour : Hydro-Québec, division Environnement

une réalisation :
TAO Simulations Inc.

Rapport no
TAO-85-01
CRANI-85-02
INRS-EAU-RS-176

Janvier 1985

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Centre de recherche sur les applications numériques en ingénierie (CRANI) de l'Université Laval pour l'usage de l'ordinateur VAX-785 et ses périphériques. Nous remercions également le groupe Roche qui par l'entremise de M. André Blouin a participé à l'élaboration des fichiers d'entrée (pré-traitement) du modèle.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
REMERCIEMENTS	i
TABLE DES MATIERES.	ii
LISTE DES FIGURES	iii
LISTE DES TABLEAUX.	iv
1. INTRODUCTION.	1
2. OBJECTIF DE L'ETUDE	1
3. L'UTILISATION DES MODELES DANS LE CONTEXTE D'UN PROJET D'AMENAGEMENT MULTIOBJECTIF	2
4. METHODOLOGIE.	4
4.1 Le modèle utilisé.	4
4.2 Modèle mathématique.	4
4.3 Modèle Eléments Finis.	8
5. DOMAINE D'ETUDE	9
5.1 Description.	9
5.2 Maillage du domaine.	14
6. RESULTATS	14
6.1 Mise en oeuvre du modèle	14
6.2 Présentation des résultats	17
6.3 Evaluation du débit.	22
CONCLUSIONS	29
BIBLIOGRAPHIE	30
ANNEXE 1 - DEBITS: METHODE DE CALCUL ET RESULTATS	31

LISTE DES FIGURES

<u>No</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
1	Conventions relatives au domaine d'écoulement à surface libre	5
2	Elément T6-3 et type d'approximation.	8
3	Eléments structurants principaux du domaine à l'étude	10
4	Bathymétrie tridimensionnelle du domaine à l'étude.	11
5	Rotation du point de vue.	12
6	Maillage du domaine	15
7	Conditions aux limites typiques	16
8	Champs de vitesse et lignes de courant moyennes pour une dénivelée totale de .20 m	18
9	Champs de vitesse et lignes de courant moyennes pour une dénivelée totale de .40 m	19
10	Champs de vitesse et lignes de courant moyennes pour une dénivelée totale de .60 m	20
11	Champs de vitesse et lignes de courant moyennes pour une dénivelée totale de .80 m	21
12	Sections globales de contrôle et sous-sections.	23
13	Relation débit-dénivelée.	25
A-1	Calcul du débit par la méthode du "trapèze"	31

LISTE DES TABLEAUX ET ANNEXE

<u>No</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
1	Débit total à la centrale (section globale 1)	27
2	Répartition du débit dans la section globale 2.	27
3	Répartition du débit dans la section globale 3.	28
A-1	Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 1 pour une dénivelée totale de .20 m	33
A-2	Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 1 pour une dénivelée totale de .40 m	34
A-3	Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 1 pour une dénivelée totale de .60 m	35
A-4	Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 1 pour une dénivelée totale de .80 m	36
A-5	Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 2 pour une dénivelée totale de .20 m	37
A-6	Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 2 pour une dénivelée totale de .40 m	39
A-7	Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 2 pour une dénivelée totale de .60 m	41
A-8	Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 2 pour une dénivelée totale de .80 m	43
A-9	Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 3 pour une dénivelée totale de .20 m	45

<u>No</u>	<u>Titre</u>	<u>Page</u>
A-10	Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 3 pour une dénivelée totale de .40 m	47
A-11	Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 3 pour une dénivelée totale de .60 m	49
A-12	Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 3 pour une dénivelée totale de .80 m	51

1. INTRODUCTION

La présente étude est une application du modèle d'éléments finis MEFLU et des outils de visualisation MOSAIC à une variante du projet d'aménagement hydroélectrique du Rapide de Lachine dans la région de Montréal. Ce projet d'aménagement s'inscrit dans le contexte du grand projet Archipel, lequel vise également à développer l'ensemble des potentiels du site (récréation, tourisme), à lutter contre les inondations tout en protégeant les qualités naturelles du site.

Après avoir justifié l'utilisation des modèles d'éléments finis dans le contexte de projets de cette nature, nous allons montrer brièvement les bases mathématiques et numériques de l'approche. Les résultats obtenus seront ensuite présentés en utilisant les ressources graphiques du logiciel interactif graphique MOSAIC-LAVAL.

2. OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif général de l'étude est de prédire les caractéristiques des écoulements associés à une variante des ouvrages d'évacuation de l'aménagement hydroélectrique des Rapides de Lachine.

Plus spécifiquement, il s'agit de:

- évaluer le débit associé à diverses hypothèses de dénivelée entre la sortie de la centrale hydroélectrique et le bassin de Laprairie;

- prédire la vitesse moyenne (dans la verticale) de l'eau de même que le niveau de la surface libre pour l'ensemble du domaine considéré;
- analyser les résultats obtenus et proposer éventuellement des recommandations globales pour améliorer l'efficacité de la variante étudiée;
- représenter graphiquement la bathymétrie de la zone d'intérêt, ainsi que les champs de vitesse obtenus par le modèle.

3. L'UTILISATION DES MODELES DANS LE CONTEXTE D'UN PROJET D'AMENAGEMENT MULTIOBJECTIF

Le projet Archipel dans la région de Montréal est sans doute l'ensemble d'activités d'ingénierie cumulant simultanément le plus grand nombre d'objectifs dans l'histoire du Québec. Ainsi, la lutte contre les inondations, le développement de la récréation, la protection du milieu naturel, l'aménagement du paysage et non le moindre, la production hydroélectrique, sont les motifs essentiels de cette vaste entreprise. Le site choisi, en plein coeur de la métropole, Montréal, accroît considérablement les difficultés d'implantation des ouvrages en raison principalement des impacts sociaux et écologiques associés à l'ampleur des travaux envisagés.

De multiples variantes doivent donc être examinées à la lumière d'objectifs parfois imprécis et appelés à changer en fonction des rapports entre les divers intervenants. On comprend dès lors l'importance pour l'ingénieur concepteur des ouvrages de disposer d'outils efficaces et

surtout rapides dans le but de répondre à une situation extrêmement évolutive.

A l'heure actuelle, il est possible d'utiliser la méthode des éléments finis pour prédire quelle sera la nature de l'écoulement au sein d'un cours d'eau aménagé. Pour l'écologiste qui désire maintenir une certaine gamme de vitesse ou de profondeur d'eau, ou pour l'ingénieur qui souhaite maximiser le rendement énergétique de ses ouvrages et évacuer efficacement les crues de faible récurrence, les outils numériques peuvent être d'un grand secours. La méthode des éléments finis permet de résoudre efficacement les modèles mathématiques décrivant ces écoulements même lorsque la bathymétrie du milieu montre une grande variabilité.

De plus, des outils graphiques polychromes sont maintenant disponibles pour assister le numéricien dans la réalisation de ses études, aux divers stades de préparation des données, d'analyse des résultats et de présentation du produit fini. Ainsi, même si l'outil mathématique utilisé peut sembler aride, les résultats sont traduits sous forme d'images facilement compréhensibles au non-initié des modèles. Donc, la méthode des éléments finis associée à un système graphique interactif va devenir un outil d'analyse de plus en plus répandu dans l'ingénierie des grands projets.

En raison de sa souplesse, cette approche va permettre au concepteur de mesurer l'efficacité d'un plus grand nombre de solutions et ainsi de converger plus rapidement vers une option optimale. Vis-à-vis des modèles

réduits dont l'utilité a été démontrée de longue date, le modèle d'éléments finis permet d'accroître leur efficacité en éliminant a priori les options non-viables. Alors, seules les variantes pré-testées sur modèles numériques seraient validées définitivement sur modèle physique.

4. METHODOLOGIE

4.1 Le modèle utilisé

Le modèle utilisé est désigné par le terme MEFLU pour Méthode d'Eléments Finis en Fluides. Il a d'abord été développé par J.F. Cochet (1979), dirigé par Gouri Dhatt. Par la suite, A. Soulaïmani (1983) est venu perfectionner l'approche et la rendre plus modulaire, c'est-à-dire conforme à l'esprit du logiciel cadre MEF, lequel permet de prendre en considération des problèmes de multiple nature tels que: structure, thermique, mécanique, etc...

4.2 Modèle mathématique

Le code MEFLU a pour objet la résolution des équations de Saint-Venant. Ces équations sont celles de Navier-Stokes auxquelles vient s'ajouter l'équation du bilan de masse, c'est-à-dire l'équation de continuité. Elles sont obtenues en posant plusieurs hypothèses simplificatrices, dont en particulier:

- celle de la pression hydrostatique;
- celle de la vitesse constante dans la verticale;

- celle des contraintes de Reynolds;
- turbulence isotropique dans l'horizontale;
- celle de Chézy-Manning pour la résistance à l'écoulement;
- celle de l'incompressibilité.

Le modèle du milieu continu utilisé est le suivant (Soulaïmani, 1983) :

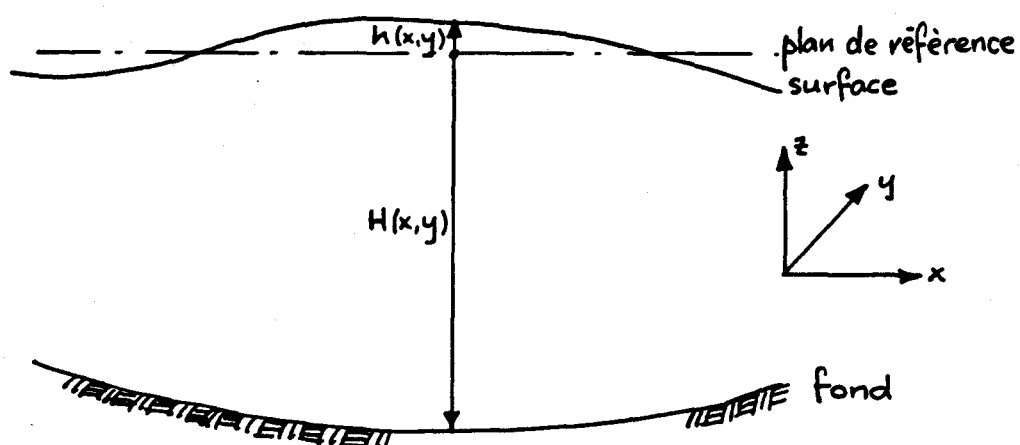


Figure 1 : Conventions relatives au domaine d'écoulement à surface libre.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - \nu_h \left[\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right] + g \frac{\partial h}{\partial x} - f_c V + \frac{\tau_x^f - \tau_x^s}{\rho (H+h)} = 0$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} - \nu_h \left[\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right] + g \frac{\partial h}{\partial y} + f_c U + \frac{\tau_y^f - \tau_y^s}{\rho (H+h)} = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (H+h)U}{\partial x} + \frac{\partial (H+h)V}{\partial y} = 0$$

où U et V sont les vitesses moyennes selon x et y ;

(x est orienté vers l'est, y vers le nord)

h est le niveau relatif de l'eau (positif vers le zénith);

ν_h est une viscosité dite "turbulente";

g est la gravité;

f_c est le facteur de Coriolis;

ρ la masse spécifique de l'eau;

H la profondeur du plan d'eau par rapport au niveau moyen de la surface libre;

$\tau_{x,y}^f, \tau_{x,y}^s$ sont les contraintes tangentielles se manifestant selon x ou y en surface (s) ou au fond (f) .

Dans l'écoulement stationnaire, les dérivées selon le temps sont nulles. ($\partial / \partial t = 0$)

Les contraintes tangentiellles au fond sont normalement représentées par des lois quadratiques. Ainsi:

$$\tau_x^f = \frac{\rho g U}{C^2} \sqrt{U^2 + V^2}$$

$$\tau_y^f = \frac{\rho g V}{C^2} \sqrt{U^2 + V^2}$$

où C est le coefficient de Chézy.

On peut représenter ce coefficient par une formulation de Manning:

$$C = \frac{(H+h)^{1/6}}{n}$$

n : coefficient de Manning.

De même, à la surface, la force du vent est introduite par une loi similaire:

$$\tau_x^s = \rho_a C_{10} W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$\tau_y^s = \rho_a C_{10} W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

avec ρ_a : masse spécifique de l'air.

C_{10} : un coefficient de frottement relié à la force du vent à 10 m au-dessus du plan d'eau

W_x, W_y : les composantes de la vitesse du vent à 10 m selon x et y .

Pour les écoulements de type gravitationnel tel que celui faisant l'objet de la présente étude, les forces de Coriolis et du vent sont considérées comme négligeables.

4.3 Modèle Eléments Finis

Le code MEFLU utilise plusieurs types d'éléments (Soulaïmani, 1983) en particulier l'élément triangulaire à 6 noeuds (Fig. 2). Les vitesses sont quadratiques et la hauteur est linéaire par élément. Cet élément respecte toutes les conditions de la stabilité numérique, ainsi il n'introduit aucune oscillation parasite.

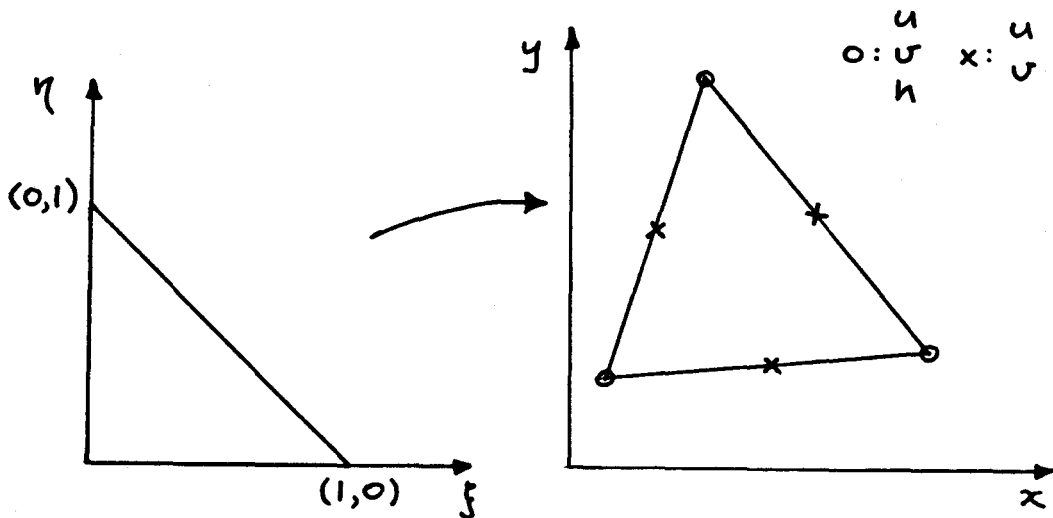


Figure 2 : Elément T6-3 et type d'approximation.

Le modèle est basé sur la méthode des résidus pondérés de type Galerking (Dhatt et Touzot, 1981).

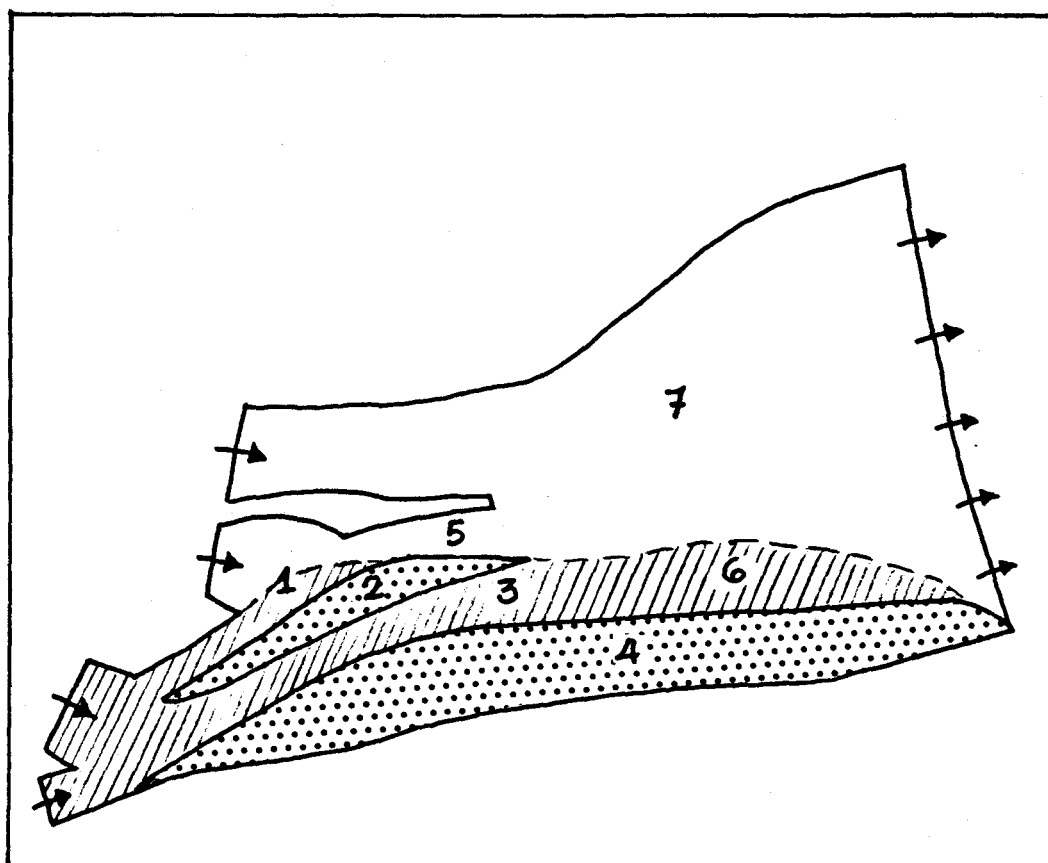
5. DOMAINE D'ETUDE

5.1 Description

Le domaine d'étude est un tronçon du fleuve St-Laurent au sud de Montréal à la hauteur des Rapides de Lachine. Plus précisément, il est compris entre la limite amont du bassin de La Prairie, à l'est, l'île aux Hérons au nord, la voie maritime au sud et le site projeté de la centrale Lachine à l'ouest.

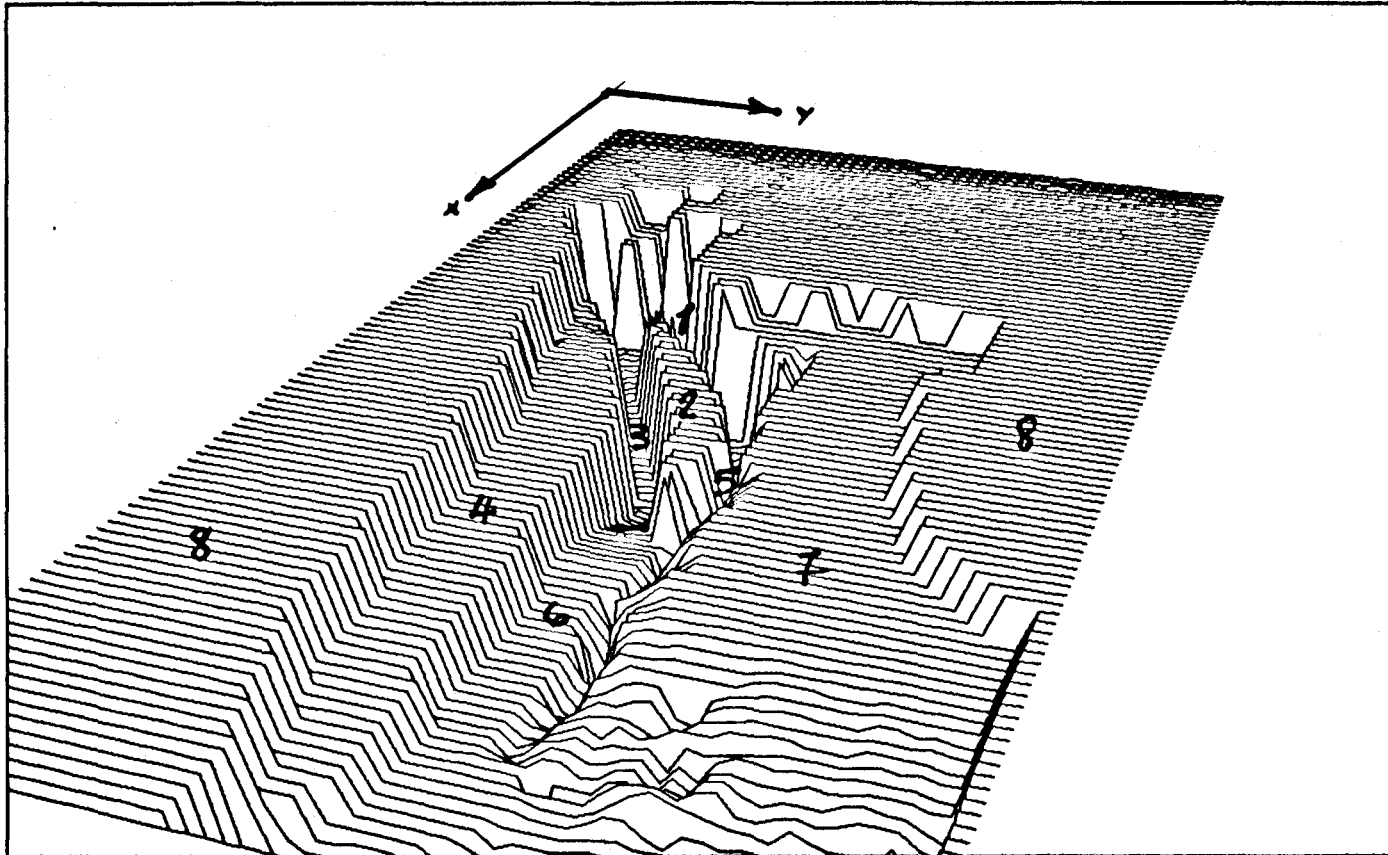
La bathymétrie se partage en deux types, la morphologie naturelle du milieu pour la partie nord du domaine et une structure aménagée au sud permettant d'évacuer les eaux en provenance de la centrale. Les deux sous-domaines ainsi formés sont raccordés de telle sorte que le fond conserve une continuité relative. L'aménagement prévu au sud est lui-même formé de quatre sous-ensembles distincts: 2 canaux de fuites et 2 plate-formes écologiques. Les figures 3, 4 et 5 nous montrent diverses représentations du domaine à l'étude.

Les deux canaux de fuites ont une profondeur pouvant atteindre 11 mètres à l'amont. Le canal du côté nord vient rejoindre à l'aval une fosse longitudinale à son extrémité aval. Cette fosse présente une capacité d'évacuation naturelle que les concepteurs ont voulu mettre à



- | | |
|--------------------------------|--------------------------|
| 1: canal de fuite nord | 5: fosse naturelle |
| 2: plate-forme écologique nord | 6: diffuseur |
| 3: canal de fuite sud | 7: bathymétrie naturelle |
| 4: plate-forme sud | |

Figure 3 : Eléments structurants principaux du domaine à l'étude.



1: canal de fuite nord
 2: plate-forme écologique nord
 3: canal de fuite sud
 4: plate-forme sud
 5: fosse naturelle

6: diffuseur
 7: bathymétrie naturelle
 8: l'environnement du domaine est représenté par une surélévation de 10 m

Figure 4 : Bathymétrie tridimensionnelle du domaine à l'étude.

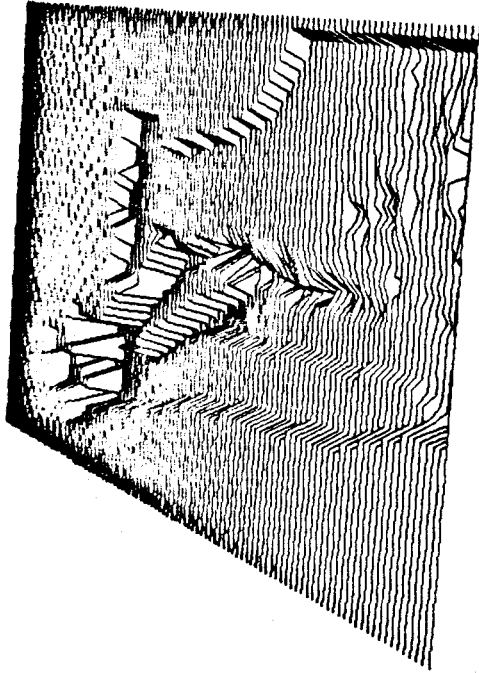


Figure 5 : Rotation du point de vue.

profit par mesure d'économie et également pour améliorer les conditions d'écoulement dans la partie centrale et nord du domaine. Le deuxième canal de fuite, le canal-sud, est plus long et sa capacité supérieure. Il s'ouvre à l'aval sur une structure de diffusion du momentum de l'écoulement.

Les deux plate-formes écologiques s'interrelient ou servent de limites aux canaux de fuites. Elles ont surtout pour fonction de servir d'habitat pour des espèces de poissons. Elles contribuent en outre à évacuer une partie du débit débouchant de la centrale. Pour favoriser la fonction écologique de ces plate-formes, le concepteur de l'ouvrage cherche à créer les conditions physiques reproduisant celles de la niche écologique des espèces de poissons souhaitées. Ces conditions touchent à la fois à la profondeur de l'eau, la vitesse de l'écoulement et la granulométrie du substrat. La première plate-forme sise au nord est comprise entre les deux canaux de fuites, elle a une longueur de 1 250 m par 125 m en moyenne de large. La profondeur de l'eau y est d'environ 2 m selon les conditions de débit.

La deuxième plate-forme longe la limite sud du domaine en suivant la voie maritime. D'une largeur moyenne de 260 m, elle s'allonge sur pratiquement l'ensemble du domaine, c'est-à-dire, sur près de 2 800 m de long. La profondeur de l'eau y est approximativement la même que sur la première plate-forme soit, 2 m.

5.2 Maillage du domaine

Tel qu'indiqué précédemment, le domaine a été maillé avec des triangles à 6 noeuds conformément au modèle utilisé. Cette opération est réalisée en tenant compte de la précision recherchée (densité de l'information), de la taille du problème découlant du nombre d'éléments et de noeuds, et de la morphométrie du domaine. De plus, dans le but de minimiser autant que possible les calculs reliés à la résolution du système algébrique, une numérotation transversale des noeuds est appliquée. Le maillage utilisé comprend 379 éléments et 830 noeuds, ce qui représente à notre avis une option optimale compte tenu des critères mentionnés précédemment. La figure 6 illustre ce maillage. La densité des mailles est maximale là où sont localisées les principales structures aménagées et la fosse naturelle, c'est-à-dire, dans la partie amont du domaine.

6. RESULTATS

6.1 Mise en oeuvre du modèle

Les conditions aux limites du domaine concernent soit le niveau de l'eau, soit sa vitesse ou les deux à la fois. Pour la présente étude, nous avons spécifié les conditions suivantes: (figure 7)

- vitesses normales (u_n) nulles sur les limites latérales;
- vitesses tangentielles (u_t) libres partout;

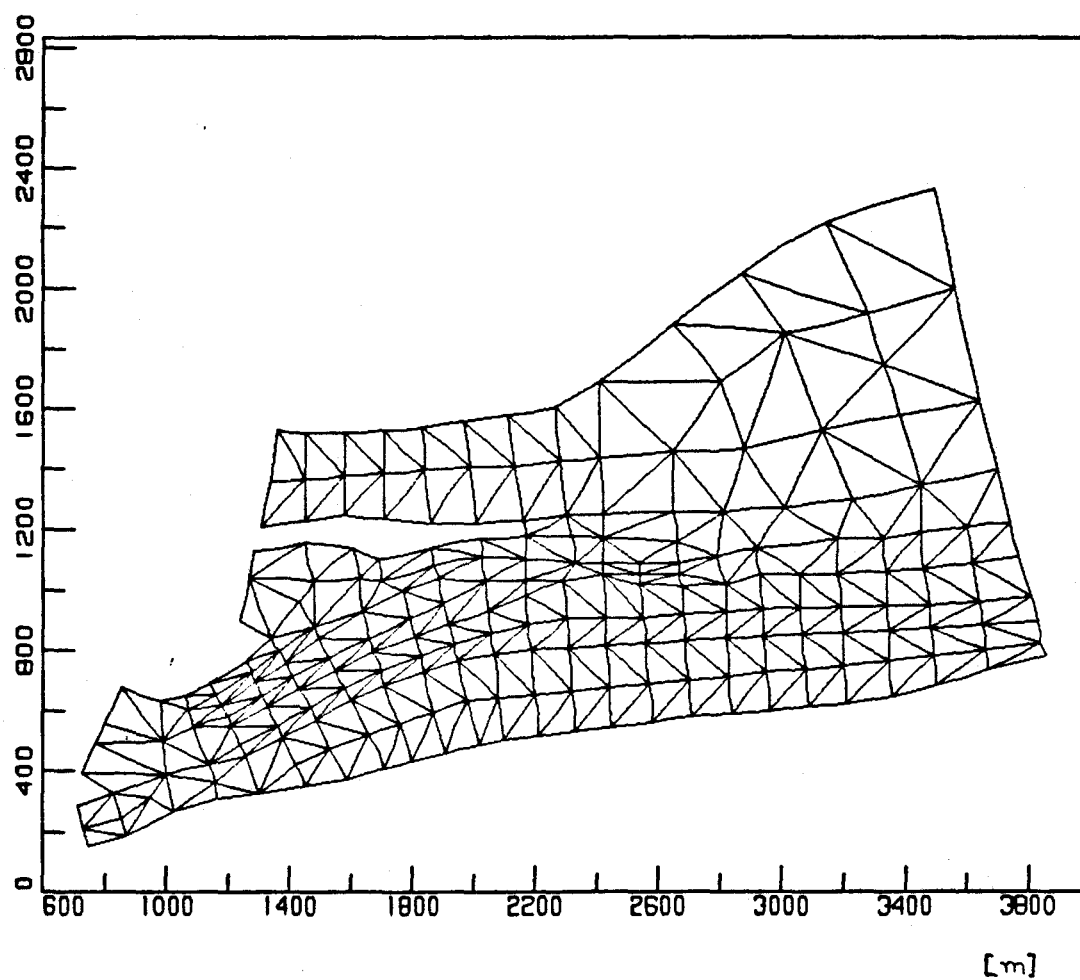
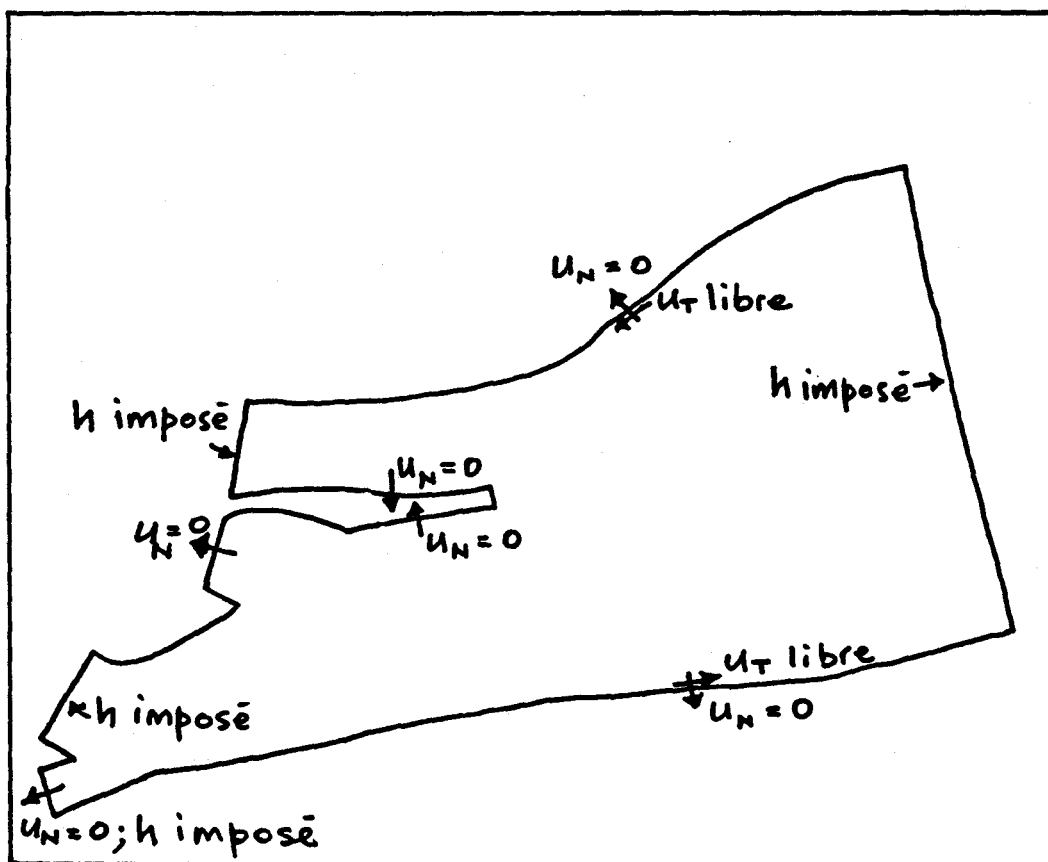


Figure 6 : Maillage du domaine.



u_N : vitesse normale u_T : vitesse tangentielle
 h : niveau de la surface

Figure 7 : Conditions aux limites typiques.

- vitesses u et v libres à l'aval (bassin La Prairie) et à l'amont (centrale et seuil nord adjacent à l'île aux Hérons);
- niveaux imposés constants à l'aval et selon le débit recherché à l'amont.

Le niveau à l'aval a été imposé à la cote relative de 10.35 m (le zéro correspond à la cote du fond à la sortie de la centrale). Le niveau à l'amont a été imposé successivement à 10.55, 10.75, 10.95 et 11.15 m ce qui correspond à des dénivelées totales de .20, .40, .60 et .80 m respectivement.

Les résultats du modèle dépendent d'un nombre très restreint de paramètres, le plus sensible étant de loin le coefficient de frottement de Manning. Suite à une analyse du type de substrat formant le fond, nous avons retenu la valeur de .031 pour l'ensemble des éléments.

6.2 Présentation des résultats

Les figures 8, 9, 10 et 11 représentent la cartographie des vitesses moyennes d'écoulement de l'ensemble du domaine pour les dénivelées totales de .20, .40, .60 et .80 m respectivement. On trouvera également sur ces cartes les lignes de courant moyennes. Il est à noter ici que l'intervalle entre deux lignes de courants est irrégulier.¹ Leur présence est requise pour expliciter la direction de l'écoulement.

¹ Le débit entre deux lignes de courant successives n'est pas constant.

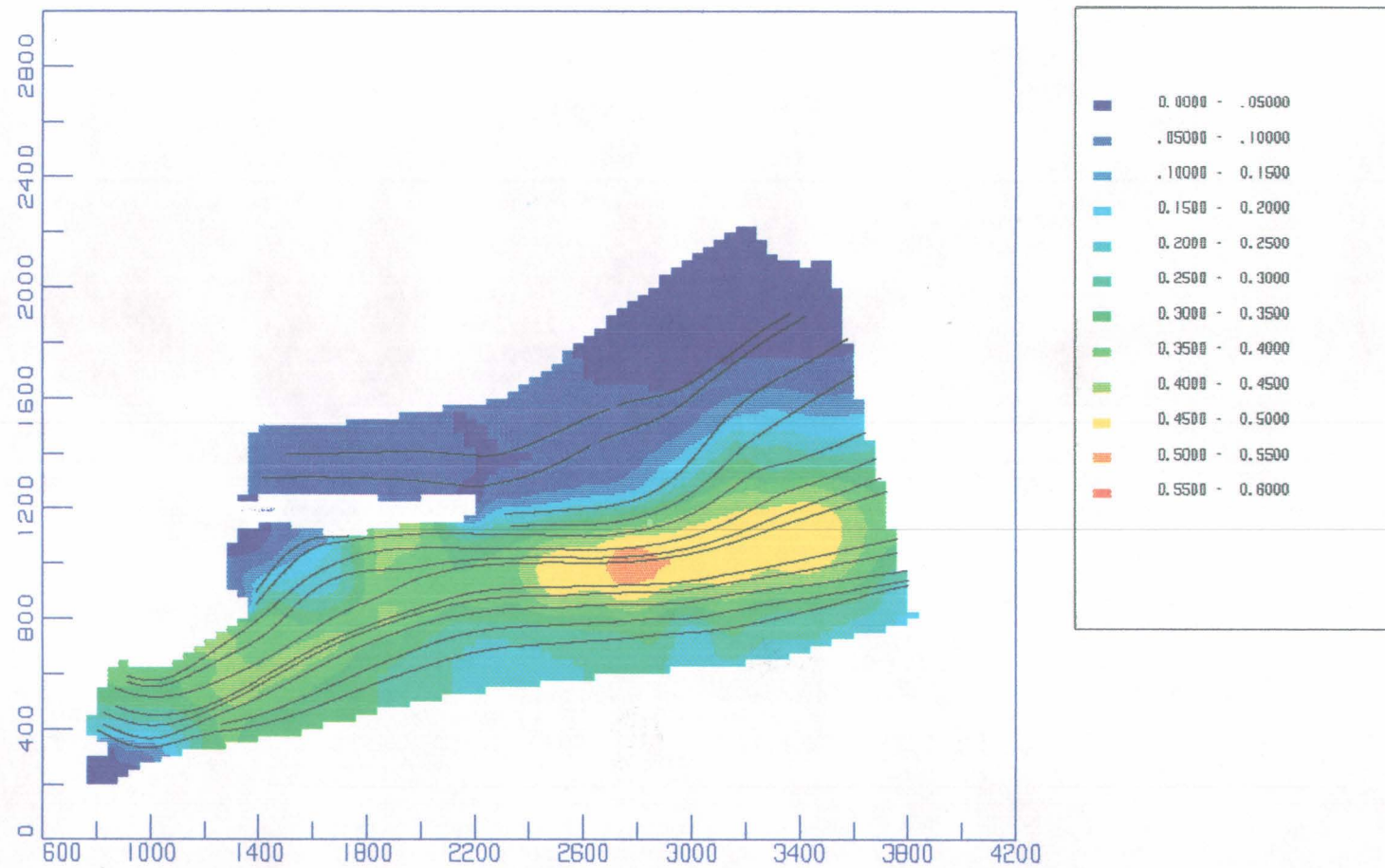


Figure 8 : Champs de vitesse et lignes de courant moyennes pour une dénivelée totale de .20 m.

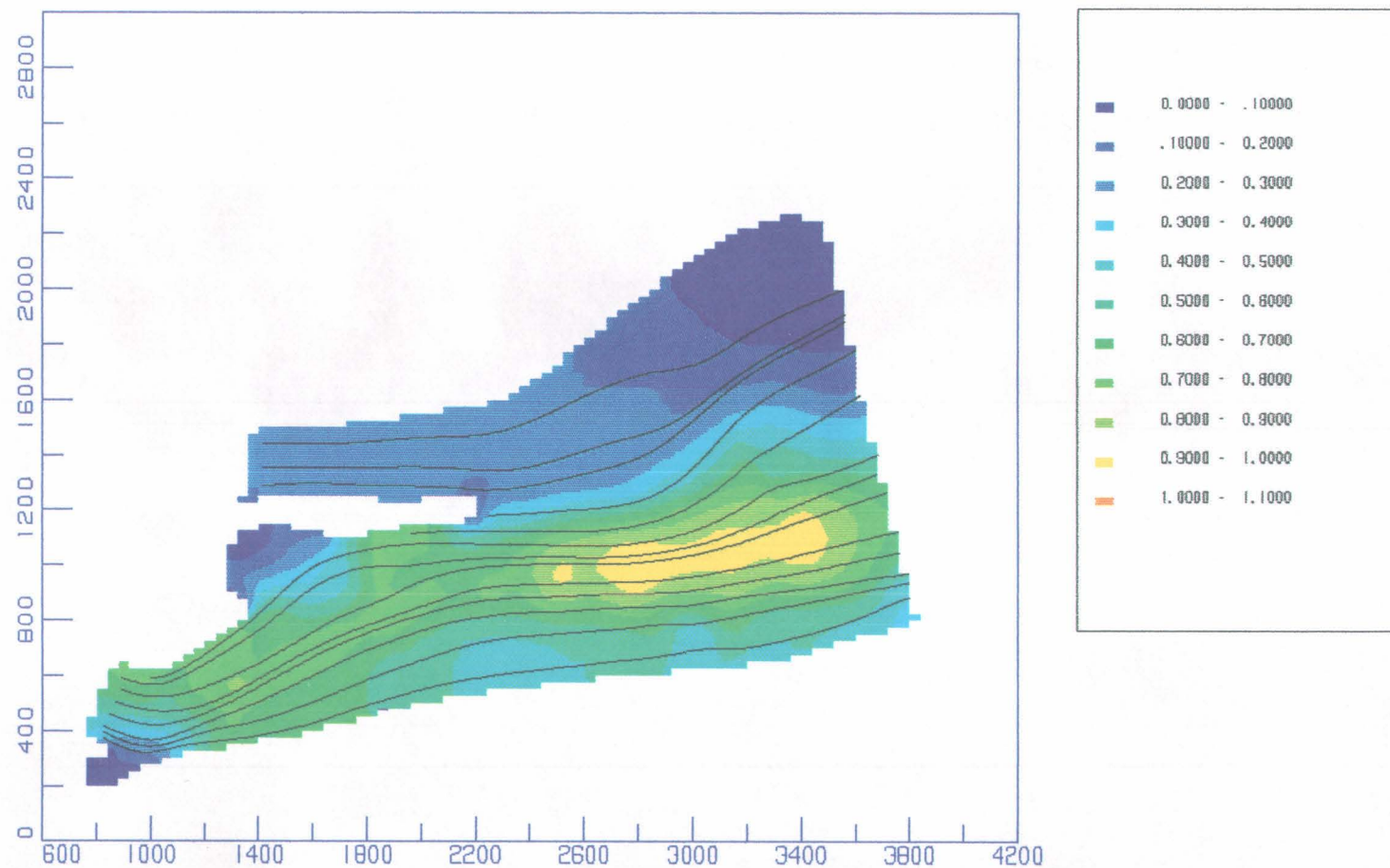


Figure 9 : Champs de vitesse et lignes de courant moyennes pour une dénivelée totale de .40 m.

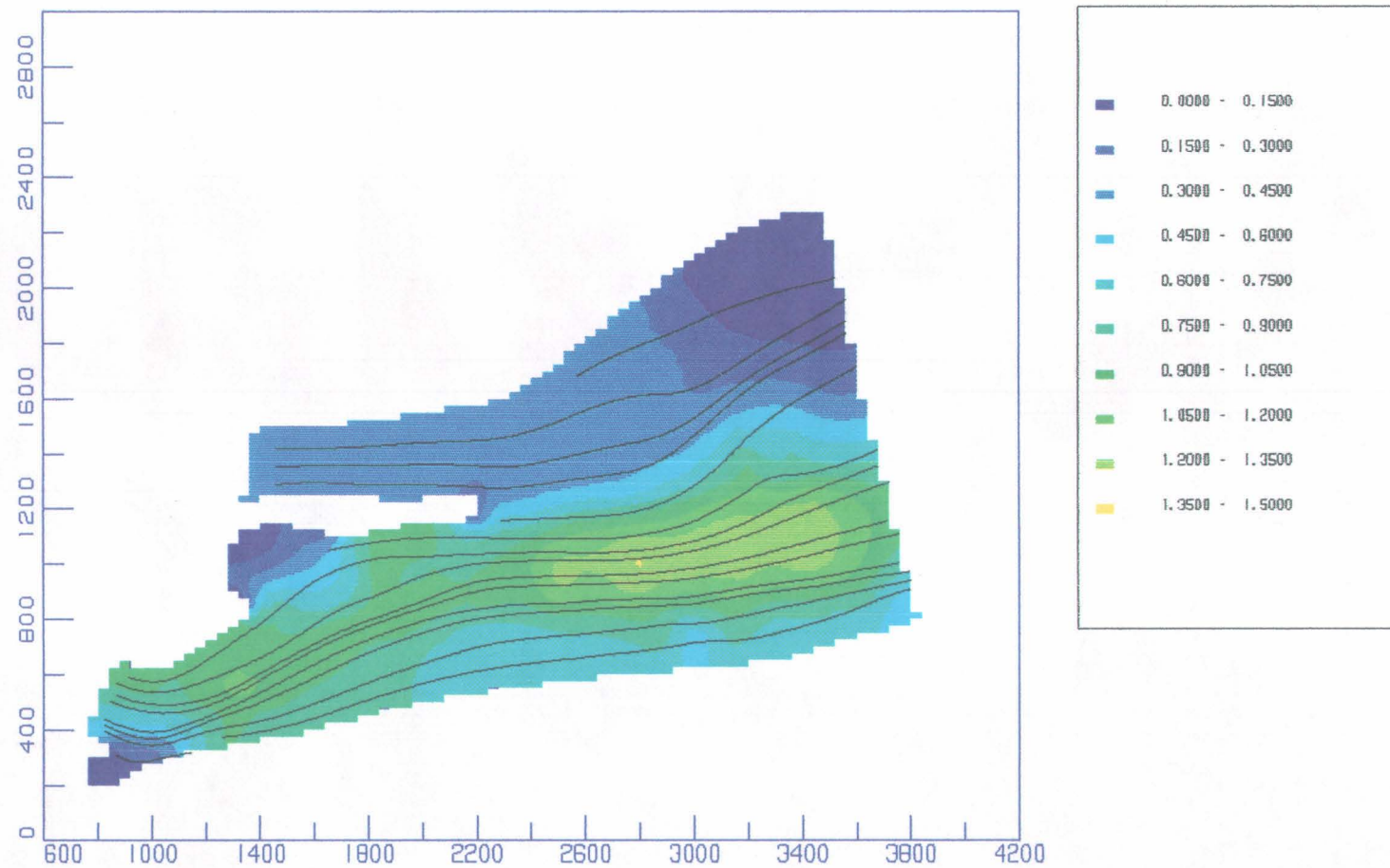


Figure 10 : Champs de vitesse et lignes de courant moyennes pour une dénivelée totale de .60 m.

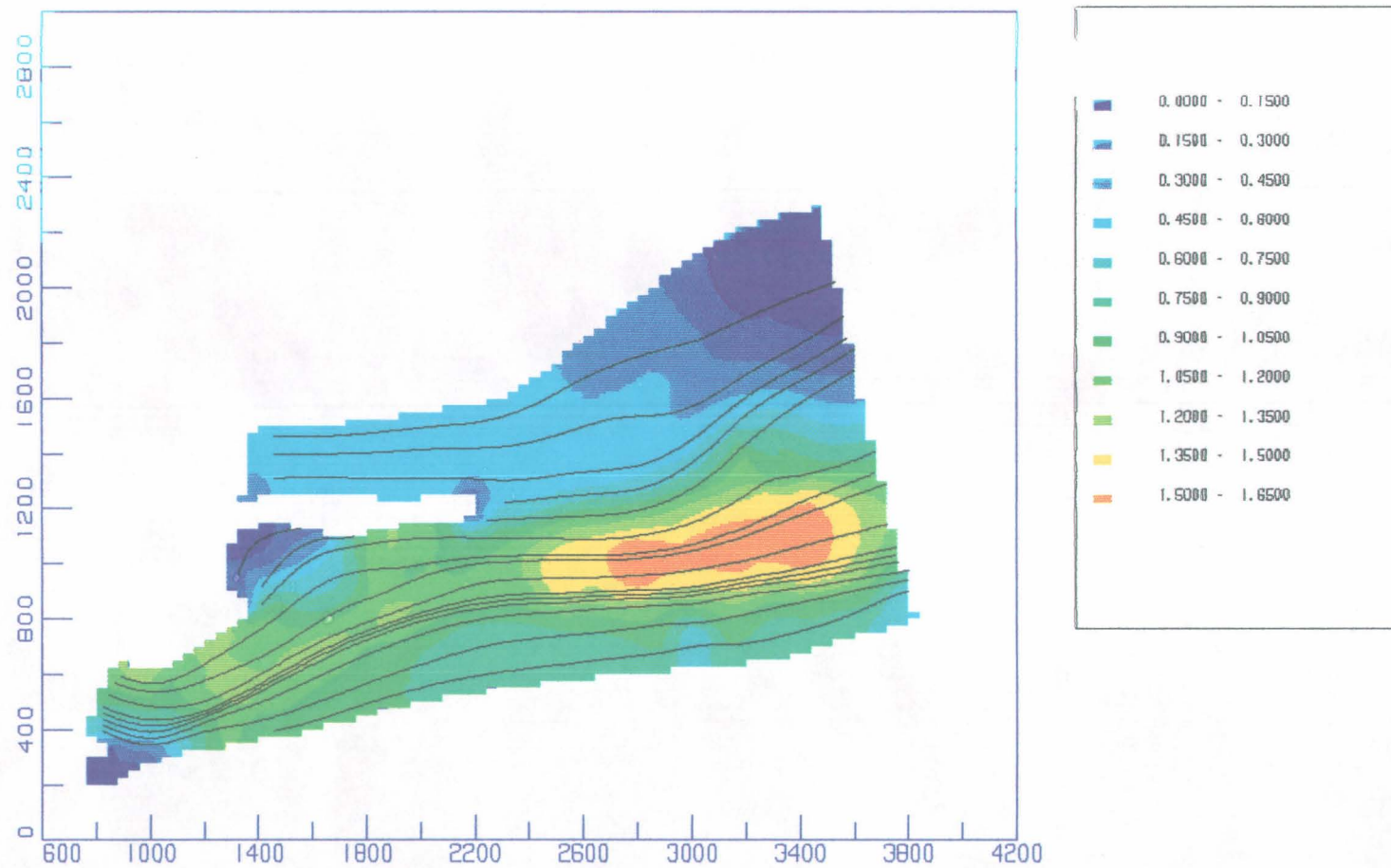


Figure 11 : Champs de vitesse et lignes de courant moyennes pour une dénivelée totale de .80 m.

Nous allons porter notre attention sur les vitesses correspondant à la dénivelée de .80 m (figure 11). On constate que l'écoulement s'accélère rapidement depuis la centrale jusqu'à une centaine de mètres dépassé l'entrée des canaux de fuite. La vitesse a ensuite tendance à demeurer constante jusqu'au diffuseur dans le canal sud. Dans le diffuseur nord, elle a tendance à ralentir notablement pour s'accélérer de nouveau au passage dans la fosse naturelle. C'est dans le diffuseur sud que la vitesse est maximale dans tout le domaine.

Au niveau des plate-formes, la vitesse est légèrement plus faible que dans la portion adjacente des canaux de fuite. Le phénomène est sans doute dû à un frottement plus grand attribuable à une plus faible profondeur.

6.3 Evaluation du débit

Nous avons procédé à une évaluation sommaire du débit par la méthode du trapèze exposée à l'Annexe 1. Trois sections globales (figure 12) ont été retenues pour vérifier la conservation du débit dans la direction longitudinale de l'écoulement et en même temps pour expliciter la contribution relative des diverses structures dans le transfert du débit vers l'aval. La première section est située au droit de la centrale à l'extrémité amont du domaine. La deuxième recoupe l'amont des deux plate-formes écologiques et du canal de fuite sud. Le canal de fuite nord est coupé dans sa partie médiane. La troisième section globale recoupe les mêmes structures sauf le canal de fuite nord qui est remplacé par la

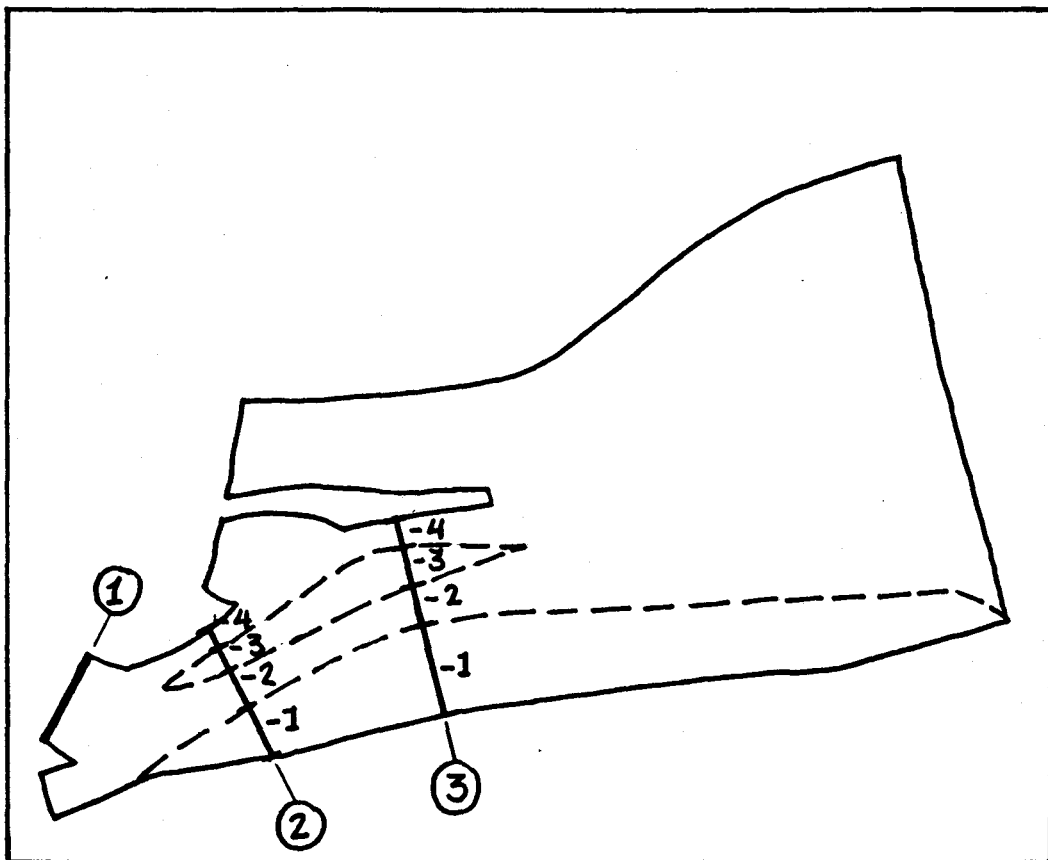


Figure 12 : Sections globales de contrôle et sous-sections.

fosse naturelle. La plate-forme sud est coupée dans sa partie médiane alors que la plate-forme nord est intersectée dans sa partie avale.

Les résultats complets du calcul du débit sont donnés à l'Annexe 1. Celle-ci comprend également des informations complémentaires dont la profondeur de l'eau aux noeuds de la section (H et $H+h$) et les vitesses normales à la section à chaque noeud (u_N).

Les débits calculés aux diverses sections globales (tableaux 1, 2 et 3) pour chacune des dénivelées sont relativement constants, ce qui confirme la valeur du modèle à assurer la continuité dans des conditions bathymétriques particulièrement irrégulières. Les faibles écarts¹ de l'ordre de $\pm 2\%$ sont dus à l'imprécision de notre méthode de calcul (trapeze) qui emploie une approximation linéaire pour les vitesses.

La figure 13 montre la relation obtenue entre la dénivelée totale du plan d'eau entre les extrémités du domaine (Δh) et le débit global calculé au droit de la centrale.

Les tableaux 1, 2 et 3 montrent les contributions absolue et relative (%) de chacune des structures du domaine dans le transfert du débit en fonction de la dénivelée totale (Δh). Globalement, la répartition du débit s'établit entre 12 et 15% pour la plate-forme écologique comparée et entre 8 et 10% pour la plate-forme nord, ce qui représente une part non négligeable de 20 à 25% pour ces deux structures. Pour ce qui est

¹ En prenant le débit à la centrale comme référence.

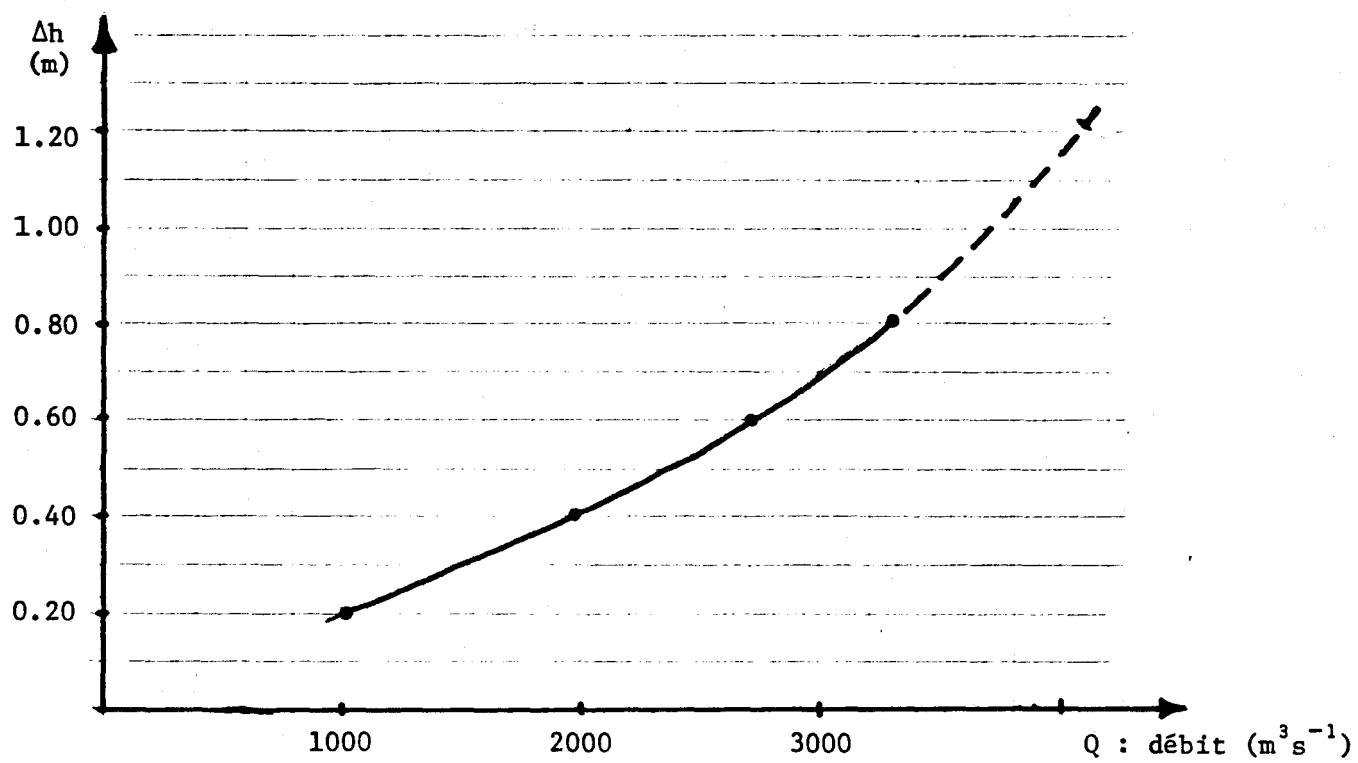


Figure 13 : Relation débit-dénivelée.

des canaux de fuite, le partage s'effectue ainsi: 44 à 48% pour le canal sud et 30 à 35% pour le canal nord (ou fosse naturelle) ce qui donne entre 75 et 80% au total.

L'examen comparé des tableaux 2 et 3 révèle également que la répartition du débit demeure relativement constante entre les sections globales 1 et 2 ce qui signifie que l'écoulement demeure relativement parallèle aux structures aménagées.

Structure	dénivelée totale			
	.20 m	.40 m	.60 m	.80 m
Centrale	1030	1970	2710	3280

Tableau 1 : Débit total à la centrale (section globale 1).

Structure	No sous-section	dénivelée totale (Δh)							
		.20 m		.40 m		.60 m		.80 m	
		Q	%	Q	%	Q	%	Q	%
Plate-forme sud	1	136	13	276	14	400	14	505	15
Canal sud	2	609	48	964	48	1330	47	1600	46
Plate-forme nord	3	85	8	169	8	244	9	308	9
Canal nord	4	322	31	615	30	850	30	1030	30
Total		1052	100	2024	100	2820	100	3443	100

Tableau 2 : Répartition du débit dans la section globale 2.

Structure	No sous- section	dénivelée totale (Δh)							
		.20 m		.40 m		.60 m		.80 m	
		Q	%	Q	%	Q	%	Q	%
Plate-forme sud	1	123	12	263	14	393	14	506	15
Canal sud	2	453	45	869	44	1210	45	1460	44
Plate-forme nord	3	84	8	170	9	249	9	318	10
Fosse naturelle	4	346	35	644	33	877	32	1050	31
Total		1006	100	1946	100	2720	100	3330	100

Tableau 3 : Répartition du débit dans la section globale 3.

CONCLUSIONS

La présente étude a permis de démontrer l'aptitude du modèle MEFLU à évaluer efficacement les champs de vitesse correspondant à diverses dénivelées de la surface libre dans un domaine géométrique (bathymétrie) très irrégulier avec discontinuités. Il est également possible d'estimer avec une précision suffisante le débit transitant dans diverses sous-sections du milieu. Enfin, l'état de développement des outils de visualisation polychromatiques liés à MEFLU permet maintenant d'illustrer efficacement les résultats obtenus tant au niveau des zones d'isovitesse que des trajectoires d'écoulement. De même il est possible d'illustrer la bathymétrie en 3 dimensions, ce qui permet lorsque le point de vue est choisi judicieusement, de mettre en évidence les particularités du domaine (canaux, fosses).

Il ne nous appartient pas de tirer des conclusions sur l'aptitude de la variante proposée à rencontrer les objectifs énergétiques ou écologiques du projet. Il nous semble que ce type d'interprétation relève du concepteur auquel le présent rapport apporte l'information brute requise à cette fin.

BIBLIOGRAPHIE

Cochet, J.F. (1979)

"Modélisation d'écoulements stationnaires et non stationnaires par éléments finis"

Thèse de docteur-ingénieur. Université de Technologie de Compiègne,
142 p.

Dhatt, G. et Touzot, G. (1981)

"Une présentation de la méthode des éléments finis"

PUL. Québec et Maloine S.A., Paris.

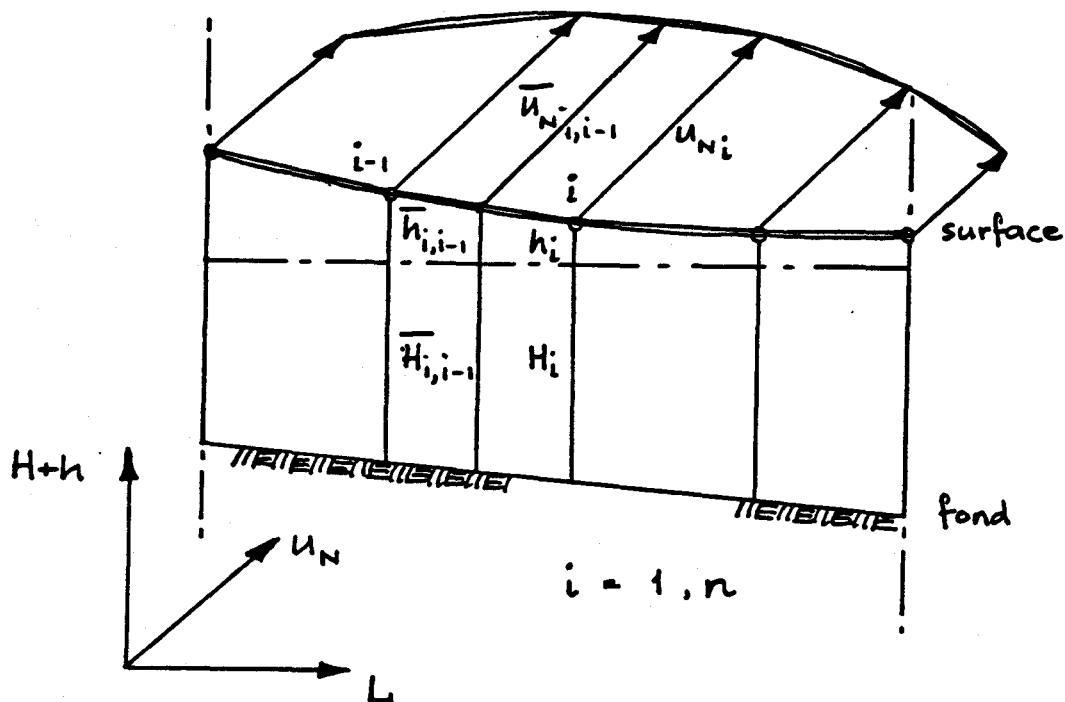
Soulaïmani, A. (1983)

"Nouveaux aspects de l'application de la méthode des éléments finis
en hydrodynamique"

Thèse de maîtrise, département de génie civil, Université Laval, 182 p.

ANNEXE 1

DEBITS: METHODE DE CALCUL ET RESULTATS



$$A_{i-1,i} = (H_{i-1} + h_{i-1}) + (H_i + h_i) \times \frac{L_{i-1,i}}{2}$$

$$= (\overline{H_{i-1,i} + h_{i-1,i}}) \times L_{i-1,i}$$

$$Q_{i-1,i} = \bar{u}_{N,i-1,i} \times A_{i-1,i}$$

$$Q = \sum_{i=2}^n \bar{u}_{N,i-1,i} \times A_{i-1,i}$$

$$\bar{u}_{N,i-1,i} = (u_{N,i-1} + u_{N,i}) / 2$$

où $u_{N,i}$ est la vitesse normale à la section i

$L_{i-1,i}$ la largeur d'une section $i-1 \rightarrow i$

$A_{i-1,i}$ l'aire verticale d'une section $i-1 \rightarrow i$

i un noeud de maillage

Figure A-1 : Calcul du débit par la méthode du "trapèze".

NUMERO DE LA SECTION GLOBALE: 1

SOUS-SECTION 1

NUMERO DES NOEUDS: 22 23 24 25 26 27 28

PROFONDEURS AU REPOS

10.350 10.350 10.350 10.350 10.350 10.350 10.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

10.550 10.550 10.550 10.550 10.550 10.550 10.550

TETA COS SIN:
.42559 0.91080 -.41286

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.229 0.256 0.288 0.315 0.339 0.368 0.381

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

10.550	54.027	569.98	138.21
10.550	54.117	570.93	155.41
10.550	38.250	403.54	121.79
10.550	38.158	402.57	131.71
10.550	63.541	670.36	236.81
10.550	63.450	669.39	250.50

DEBIT SOUS-SECTION 1: 0.103E+04 M3/S

DEBIT CUMULE A TOUTES LES SOUS-SECTIONS: 0.103E+04M3/S

Tableau A-1 : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 1 pour une dénivelée totale de .20 m.

NUMERO DE LA SECTION GLOBALE: 1

SOUS-SECTION 1

NUMERO DES NOEUDS: 22 23 24 25 26 27 28

PROFONDEURS AU REPOS

10.350 10.350 10.350 10.350 10.350 10.350 10.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

10.750 10.750 10.750 10.750 10.750 10.750 10.750

TETA COS SIN:
.42559 0.91080 -.41286

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.417 0.468 0.530 0.586 0.635 0.694 0.728

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

10.750	54.027	580.79	256.98
10.750	54.117	581.76	290.34
10.750	38.250	411.19	229.50
10.750	38.158	410.20	250.37
10.750	63.541	683.07	453.80
10.750	63.450	682.08	484.94

DEBIT SOUS-SECTION 1: 0.197E+04 M3/S

DEBIT CUMULE A TOUTES LES SOUS-SECTIONS: 0.197E+04M3/S

Tableau A-2 : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 1 pour une dénivelée totale de .40 m.

NUMERO DE LA SECTION GLOBALE: 1

SOUS-SECTION 1

NUMERO DES NOEUDS: 22 23 24 25 26 27 28

PROFONDEURS AU REPOS

10.350 10.350 10.350 10.350 10.350 10.350 10.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

10.950 10.950 10.950 10.950 10.950 10.950 10.950

TETA COS SIN:
.42559 0.91080 -.41286

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.568 0.635 0.720 0.796 0.861 0.933 0.979

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

10.950 54.027 591.60 356.03

10.950 54.117 592.58 401.55

10.950 38.250 418.84 317.45

10.950 38.158 417.83 346.12

10.950 63.541 695.78 623.92

10.950 63.450 694.77 664.08

DEBIT SOUS-SECTION 1: 0.271E+04 M3/S

DEBIT CUMULE A TOUTES LES SOUS-SECTIONS: 0.271E+04M3/S

Tableau A-3 : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 1 pour une dénivelée totale de .60 m.

NUMERO DE LA SECTION GLOBALE: 1

SOUS-SECTION 1

NUMERO DES NOEUDS: 22 23 24 25 26 27 28

PROFONDEURS AU REPOS

10.350 10.350 10.350 10.350 10.350 10.350 10.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

11.150 11.150 11.150 11.150 11.150 11.150 11.150

TETA COS SIN:
.42559 0.91080 -.41286

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.692 0.769 0.866 0.953 1.023 1.091 1.139

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

11.150	54.027	602.40	440.34
11.150	54.117	603.40	493.48
11.150	38.250	426.49	387.96
11.150	38.158	425.46	420.49
11.150	63.541	708.49	749.13
11.150	63.450	707.46	789.02

DEBIT SOUS-SECTION 1: 0.328E+04 M3/S

DEBIT CUMULE A TOUTES LES SOUS-SECTIONS: 0.328E+04M3/S

Tableau A-4 : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 1 pour une dénivelée totale de .80 m.

NUMERO DE LA SECTION GLOBALE: 2

SOUS-SECTION 1

NUMERO DES NOEUDS: 109 110 111 112 113

PROFONDEURS AU REPOS

2.120 2.120 2.120 2.120 2.120

PROFONDEURS AVEC DEBIT

2.296 2.298 2.299 2.298 2.297

TETA COS SIN:

.44027 0.90464 0.42618

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.304 0.309 0.323 0.353 0.399

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

2.2970 39.091 89.793 27.558

2.2984 39.091 89.846 28.410

2.2986 48.755 112.07 37.855

2.2977 49.153 112.94 42.472

DEBIT SOUS-SECTION 1: 136. M3/S

SOUS-SECTION 2

NUMERO DES NOEUDS: 113 114 115 116 117

PROFONDEURS AU REPOS

10.350 10.350 10.350 10.350 10.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

10.527 10.525 10.522 10.517 10.513

TETA COS SIN:

.43535 0.90672 0.42173

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.399 0.417 0.428 0.434 0.422

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

10.526 21.382 225.07 91.882

10.523 21.868 230.13 97.246

10.520 35.571 374.20 161.33

10.515 35.189 370.02 158.30

DEBIT SOUS-SECTION 2: 509. M3/S

Tableau A-5 : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 2 pour une dénivelée totale de .20 m.

SOUS-SECTION 3

NUMERO DES NOEUDS: 117 118 119 120 121

PROFONDEURS AU REPOS

2.150 2.150 2.150 2.150 2.150

PROFONDEURS AVEC DEBIT

2.313 2.320 2.328 2.328 2.329

TETA COS SIN:

.42387 0.91150 0.41129

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.422 0.414 0.405 0.397 0.395

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

2.3164 19.324 44.762 18.704

2.3239 18.788 43.662 17.869

2.3280 25.908 60.314 24.173

2.3288 26.000 60.548 23.973

DEBIT SOUS-SECTION 3: 84.7 M3/S

SOUS-SECTION 4

NUMERO DES NOEUDS: 121 122 123 124 125

PROFONDEURS AU REPOS

10.350 10.350 10.350 10.350 10.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

10.529 10.525 10.520 10.526 10.532

TETA COS SIN:

.48751 0.88350 0.46843

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.397 0.399 0.400 0.398 0.395

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

10.527 18.795 197.85 78.819

10.522 19.379 203.92 81.481

10.523 19.151 201.53 80.352

10.529 19.590 206.26 81.746

DEBIT SOUS-SECTION 4: 322. M3/S

DEBIT CUMULE A TOUTES LES SOUS-SECTIONS: 0.105E+04M3/S

Tableau A-5 (suite) : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 2 pour une dénivelée totale de .20 m.

NUMERO DE LA SECTION GLOBALE: 2

SOUS-SECTION 1

NUMERO DES NOEUDS: 109 110 111 112 113

PROFONDEURS AU REPOS

2.120 2.120 2.120 2.120 2.120

PROFONDEURS AVEC DEBIT

2.473 2.476 2.478 2.476 2.473

TETA COS SIN:

.44027 0.90464 0.42618

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.575 0.584 0.608 0.662 0.747

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

2.4743 39.091 96.723 56.063

2.4769 39.091 96.823 57.687

2.4769 48.755 120.76 76.642

2.4744 49.153 121.62 85.658

DEBIT SOUS-SECTION 1: 276. M3/S

SOUS-SECTION 2

NUMERO DES NOEUDS: 113 114 115 116 117

PROFONDEURS AU REPOS

10.350 10.350 10.350 10.350 10.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

10.703 10.697 10.691 10.683 10.674

TETA COS SIN:

.43535 0.90672 0.42173

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.747 0.779 0.799 0.809 0.785

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

10.700 21.382 228.80 174.50

10.694 21.868 233.86 184.48

10.687 35.571 380.15 305.65

10.678 35.189 375.76 299.41

DEBIT SOUS-SECTION 2: 964. M3/S

Tableau A-6 : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 2 pour une dénivelée totale de .40 m.

SOUS-SECTION 3

NUMERO DES NOEUDS: 117 118 119 120 121

PROFONDEURS AU REPOS

2.150 2.150 2.150 2.150 2.150

PROFONDEURS AVEC DEBIT

2.474 2.487 2.499 2.501 2.502

TETA COS SIN:

.42387 0.91150 0.41129

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.785 0.769 0.752 0.740 0.737

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

2.4802 19.324 47.927 37.242

2.4929 18.788 46.838 35.620

2.4999 25.908 64.766 48.305

2.5011 26.000 65.029 48.023

DEBIT SOUS-SECTION 3: 169. M3/S

SOUS-SECTION 4

NUMERO DES NOEUDS: 121 122 123 124 125

PROFONDEURS AU REPOS

10.350 10.350 10.350 10.350 10.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

10.702 10.694 10.685 10.695 10.705

TETA COS SIN:

.48751 0.88350 0.46843

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.742 0.748 0.751 0.747 0.741

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

10.698 18.795 201.06 149.84

10.690 19.379 207.16 155.31

10.690 19.151 204.73 153.38

10.700 19.590 209.61 156.00

DEBIT SOUS-SECTION 4: 615. M3/S

DEBIT CUMULE A TOUTES LES SOUS-SECTIONS: 0.202E+04M3/S

Tableau A-6 (suite) : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 2 pour une dénivelée totale de .40 m.

NUMERO DE LA SECTION GLOBALE: 2

SOUS-SECTION 1

NUMERO DES NOEUDS: 109 110 111 112 113

PROFONDEURS AU REPOS

2.120 2.120 2.120 2.120 2.120

PROFONDEURS AVEC DEBIT

2.651 2.655 2.658 2.654 2.650

TETA COS SIN:

.44027 0.90464 0.42618

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.778 0.789 0.821 0.895 1.011

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

2.6529 39.091 103.71 81.250

2.6564 39.091 103.84 83.610

2.6561 48.755 129.50 111.12

2.6519 49.153 130.35 124.23

DEBIT SOUS-SECTION 1: 400. M3/S

SOUS-SECTION 2

NUMERO DES NOEUDS: 113 114 115 116 117

PROFONDEURS AU REPOS

10.350 10.350 10.350 10.350 10.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

10.880 10.871 10.862 10.850 10.839

TETA COS SIN:

.43535 0.90672 0.42173

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

1.011 1.054 1.082 1.094 1.061

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

10.875 21.382 232.54 240.08

10.866 21.868 237.63 253.76

10.856 35.571 386.16 420.22

10.844 35.189 381.61 411.22

DEBIT SOUS-SECTION 2: 0.133E+04 M3/S

Tableau A-7 : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 2 pour une dénivelée totale de .60 m.

SOUS-SECTION 3

NUMERO DES NOEUDS: 117 118 119 120 121

PROFONDEURS AU REPOS

2.150 2.150 2.150 2.150 2.150

PROFONDEURS AVEC DEBIT

2.639 2.654 2.670 2.671 2.673

TETA COS SIN:

.42387 0.91150 0.41129

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

1.061 1.038 1.016 1.002 1.001

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

2.6464 19.324 51.139 53.686

2.6622 18.788 50.019 51.384

2.6708 25.908 69.194 69.830

2.6721 26.000 69.475 69.585

DEBIT SOUS-SECTION 3: 244. M3/S

SOUS-SECTION 4

NUMERO DES NOEUDS: 121 122 123 124 125

PROFONDEURS AU REPOS

10.350 10.350 10.350 10.350 10.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

10.873 10.862 10.851 10.864 10.876

TETA COS SIN:

.48751 0.88350 0.46843

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

1.008 1.019 1.024 1.018 1.008

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

10.867 18.795 204.25 206.93

10.857 19.379 210.39 214.84

10.857 19.151 207.93 212.27

10.870 19.590 212.94 215.69

DEBIT SOUS-SECTION 4: 850. M3/S

DEBIT CUMULE A TOUTES LES SOUS-SECTIONS: 0.282E+04M3/S

Tableau A-7 (suite) : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 2 pour une dénivelée totale de .60 m.

NUMERO DE LA SECTION GLOBALE: 2

SOUS-SECTION 1

NUMERO DES NOEUDS: 109 110 111 112 113

PROFONDEURS AU REPOS

2.120 2.120 2.120 2.120 2.120

PROFONDEURS AVEC DEBIT

2.831 2.835 2.839 2.834 2.828

TETA COS SIN:

.44027 0.90464 0.42618

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.916 0.930 0.969 1.058 1.198

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

2.8331 39.091 110.75 102.25

2.8373 39.091 110.91 105.30

2.8366 48.755 138.30 140.14

2.8311 49.153 139.16 156.98

DEBIT SOUS-SECTION 1: 505. M3/S

SOUS-SECTION 2

NUMERO DES NOEUDS: 113 114 115 116 117

PROFONDEURS AU REPOS

10.350 10.350 10.350 10.350 10.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

11.058 11.047 11.036 11.022 11.009

TETA COS SIN:

.43535 0.90672 0.42173

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

1.198 1.250 1.284 1.298 1.256

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

11.053 21.382 236.33 289.28

11.042 21.868 241.46 305.89

11.029 35.571 392.32 506.44

11.016 35.189 387.63 495.06

DEBIT SOUS-SECTION 2: 0.160E+04 M3/S

Tableau A-8 : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 2 pour une dénivelée totale de .80 m.

SOUS-SECTION 3

NUMERO DES NOEUDS: 117 118 119 120 121

PROFONDEURS AU REPOS

2.150 2.150 2.150 2.150 2.150

PROFONDEURS AVEC DEBIT

2.809 2.826 2.843 2.845 2.846

TETA COS SIN:

.42387 0.91150 0.41129

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

1.257 1.228 1.203 1.189 1.190

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

2.8174 19.324 54.443 67.649

2.8347 18.788 53.259 64.740

2.8439 25.908 73.680 88.099

2.8451 26.000 73.972 87.976

DEBIT SOUS-SECTION 3: 308. M3/S

SOUS-SECTION 4

NUMERO DES NOEUDS: 121 122 123 124 125

PROFONDEURS AU REPOS

10.350 10.350 10.350 10.350 10.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

11.046 11.033 11.021 11.035 11.048

TETA COS SIN:

.48751 0.88350 0.46843

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

1.198 1.213 1.221 1.214 1.200

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

11.039 18.795 207.49 250.18

11.027 19.379 213.70 260.10

11.028 19.151 211.19 257.08

11.041 19.590 216.30 260.98

DEBIT SOUS-SECTION 4: 0.103E+04 M3/S

DEBIT CUMULE A TOUTES LES SOUS-SECTIONS: 0.344E+04M3/S

Tableau A-8 (suite) : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 2 pour une dénivelée totale de .80 m.

NUMERO DE LA SECTION GLOBALE: 3

SOUS-SECTION 1

NUMERO DES NOEUDS: 336 337 338 339 340

PROFONDEURS AU REPOS

1.350 1.350 1.350 1.350 1.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

1.473 1.473 1.473 1.471 1.468

TETA COS SIN:

.23390 0.97277 0.23178

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.266 0.267 0.278 0.305 0.358

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

1.4732 75.722 111.56 29.720

1.4733 75.722 111.56 30.417

1.4721 68.741 101.19 29.504

1.4696 68.951 101.33 33.606

DEBIT SOUS-SECTION 1: 123. M3/S

SOUS-SECTION 2

NUMERO DES NOEUDS: 340 341 342 343 344

PROFONDEURS AU REPOS

9.800 9.820 9.820 9.830 9.820

PROFONDEURS AVEC DEBIT

9.918 9.939 9.940 9.953 9.945

TETA COS SIN:

.21921 0.97607 0.21746

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.358 0.380 0.391 0.388 0.370

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

9.9289 26.968 267.76 98.716

9.9398 27.066 269.03 103.61

9.9465 32.791 326.15 126.96

9.9489 32.791 326.23 123.57

DEBIT SOUS-SECTION 2: 453. M3/S

Tableau A-9 : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 3 pour une dénivelée totale de .20 m.

SOUS-SECTION 3

NUMERO DES NOEUDS: 344 345 346 347 348

PROFONDEURS AU REPOS

1.350 1.350 1.350 1.350 1.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

1.475 1.459 1.443 1.461 1.478

TETA COS SIN:

.23315 0.97294 0.23104

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.371 0.346 0.364 0.380 0.401

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

1.4672 36.623 53.732 19.276

1.4512 36.623 53.147 18.874

1.4520 41.000 59.532 22.152

1.4696 41.586 61.113 23.864

DEBIT SOUS-SECTION 3: 84.2 M3/S

SOUS-SECTION 4

NUMERO DES NOEUDS: 348 349 350 351 352

PROFONDEURS AU REPOS

7.500 7.500 7.500 7.500 7.500

PROFONDEURS AVEC DEBIT

7.628 7.621 7.614 7.624 7.634

TETA COS SIN:

.22065 0.97576 0.21886

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.401 0.409 0.414 0.417 0.419

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

7.6248 23.087 176.03 71.341

7.6176 23.087 175.87 72.375

7.6189 32.388 246.76 102.55

7.6288 31.401 239.55 100.12

DEBIT SOUS-SECTION 4: 346. M3/S

DEBIT CUMULE A TOUTES LES SOUS-SECTIONS: 0.101E+04M3/S

Tableau A-9 (suite) : Débits, vitesses et profondeurs à la section
à l'aval de la section de 20 m.

NUMERO DE LA SECTION GLOBALE: 3

SOUS-SECTION 1

NUMERO DES NOEUDS: 336 337 338 339 340

PROFONDEURS AU REPOS

1.350 1.350 1.350 1.350 1.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

1.599 1.599 1.599 1.595 1.591

TETA COS SIN:

.23390 0.97277 0.23178

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.532 0.534 0.550 0.593 0.686

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

1.5989 75.722 121.07 64.515

1.5992 75.722 121.09 65.589

1.5973 68.741 109.80 62.722

1.5933 68.951 109.86 70.251

DEBIT SOUS-SECTION 1: 263. M3/S

SOUS-SECTION 2

NUMERO DES NOEUDS: 340 341 342 343 344

PROFONDEURS AU REPOS

9.800 9.820 9.820 9.830 9.820

PROFONDEURS AVEC DEBIT

10.041 10.063 10.065 10.079 10.073

TETA COS SIN:

.21921 0.97607 0.21746

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.685 0.724 0.742 0.732 0.694

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

10.052 26.968 271.09 191.03

10.064 27.066 272.40 199.66

10.072 32.791 330.28 243.30

10.076 32.791 330.41 235.42

DEBIT SOUS-SECTION 2: 869. M3/S

Tableau A-10 : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 3 pour une dénivelée totale de .40 m.

SOUS-SECTION 3

48

NUMERO DES NOEUDS: 344 345 346 347 348

PROFONDEURS AU REPOS

1.350 1.350 1.350 1.350 1.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

1.603 1.575 1.546 1.576 1.606

TETA

COS

SIN:

.23315 0.97294 0.23104

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.696 0.650 0.683 0.708 0.740

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

1.5889 36.623 58.189 39.161

1.5604 36.623 57.148 38.078

1.5611 41.000 64.003 44.512

1.5907 41.586 66.151 47.911

DEBIT SOUS-SECTION 3: 170. M3/S

SOUS-SECTION 4

NUMERO DES NOEUDS: 348 349 350 351 352

PROFONDEURS AU REPOS

7.500 7.500 7.500 7.500 7.500

PROFONDEURS AVEC DEBIT

7.756 7.745 7.734 7.752 7.769

TETA

COS

SIN:

.22065 0.97576 0.21886

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.742 0.753 0.758 0.760 0.761

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

7.7503 23.087 178.93 133.73

7.7397 23.087 178.69 135.03

7.7430 32.388 250.78 190.33

7.7602 31.401 243.68 185.25

DEBIT SOUS-SECTION 4: 644. M3/S

DEBIT CUMULE A TOUTES LES SOUS-SECTIONS: 0.195E+04M3/S

Tableau A-10 (suite) : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 3 pour une dénivelée totale de .40 m.

NUMERO DE LA SECTION GLOBALE: 3

SOUS-SECTION 1

NUMERO DES NOEUDS: 336 337 338 339 340

PROFONDEURS AU REPOS

1.350 1.350 1.350 1.350 1.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

1.732 1.732 1.733 1.728 1.723

TETA COS SIN:

.23390 0.97277 0.23178

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.739 0.740 0.760 0.814 0.940

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

1.7322 75.722 131.16 97.018

1.7328 75.722 131.21 98.405

1.7306 68.741 118.96 93.610

1.7254 68.951 118.97 104.34

DEBIT SOUS-SECTION 1: 393. M3/S

SOUS-SECTION 2

NUMERO DES NOEUDS: 340 341 342 343 344

PROFONDEURS AU REPOS

9.800 9.820 9.820 9.830 9.820

PROFONDEURS AVEC DEBIT

10.173 10.196 10.199 10.213 10.207

TETA COS SIN:

.21921 0.97607 0.21746

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.939 0.993 1.016 1.000 0.946

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

10.184 26.968 274.65 265.21

10.198 27.066 276.01 277.19

10.206 32.791 334.67 337.33

10.210 32.791 334.80 325.68

DEBIT SOUS-SECTION 2: 0.121E+04 M3/S

Tableau A-11 : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 3 pour une dénivelée totale de .60 m.

SOUS-SECTION 3

NUMERO DES NOEUDS: 344 345 346 347 348

PROFONDEURS AU REPOS

1.350 1.350 1.350 1.350 1.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

1.737 1.700 1.664 1.701 1.738

TETA COS SIN:

.23315 0.97294 0.23104

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.949 0.886 0.928 0.958 0.997

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

1.7189 36.623 62.950 57.746

1.6820 36.623 61.598 55.876

1.6821 41.000 68.968 65.054

1.7194 41.586 71.503 69.887

DEBIT SOUS-SECTION 3: 249. M3/S

SOUS-SECTION 4

NUMERO DES NOEUDS: 348 349 350 351 352

PROFONDEURS AU REPOS

7.500 7.500 7.500 7.500 7.500

PROFONDEURS AVEC DEBIT

7.888 7.876 7.865 7.887 7.909

TETA COS SIN:

.22065 0.97576 0.21886

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.998 1.012 1.015 1.013 1.013

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

7.8822 23.087 181.98 182.92

7.8706 23.087 181.71 184.16

7.8759 32.388 255.09 258.67

7.8980 31.401 248.00 251.27

DEBIT SOUS-SECTION 4: 877. M3/S

DEBIT CUMULE A TOUTES LES SOUS-SECTIONS: 0.272E+04M3/S

Tableau A-11 (suite) : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 3 pour une dénivelée totale de .60 m.

NUMERO DE LA SECTION GLOBALE: 3

SOUS-SECTION 1

NUMERO DES NOEUDS: 336 337 338 339 340

PROFONDEURS AU REPOS

1.350 1.350 1.350 1.350 1.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

1.873 1.874 1.875 1.869 1.863

TETA COS SIN:

.23390 0.97277 0.23178

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

0.880 0.882 0.903 0.967 1.120

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

1.8738 75.722 141.89 125.03

1.8748 75.722 141.96 126.72

1.8722 68.741 128.70 120.37

1.8660 68.951 128.66 134.25

DEBIT SOUS-SECTION 1: 506. M3/S

SOUS-SECTION 2

NUMERO DES NOEUDS: 340 341 342 343 344

PROFONDEURS AU REPOS

9.800 9.820 9.820 9.830 9.820

PROFONDEURS AVEC DEBIT

10.313 10.337 10.341 10.355 10.348

TETA COS SIN:

.21921 0.97607 0.21746

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

1.118 1.185 1.214 1.194 1.127

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

10.325 26.968 278.44 320.67

10.339 27.066 279.83 335.63

10.348 32.791 339.31 408.47

10.352 32.791 339.44 393.86

DEBIT SOUS-SECTION 2: 0.146E+04 M3/S

Tableau A-12 : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 3 pour une dénivelée totale de .80 m.

SOUS-SECTION 3

NUMERO DES NOEUDS: 344 345 346 347 348

PROFONDEURS AU REPOS

1.350 1.350 1.350 1.350 1.350

PROFONDEURS AVEC DEBIT

1.878 1.837 1.795 1.836 1.878

TETA COS SIN:

.23315 0.97294 0.23104

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

1.130 1.054 1.101 1.133 1.177

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

1.8575 36.623 68.028 74.299

1.8157 36.623 66.495 71.647

1.8154 41.000 74.433 83.148

1.8569 41.586 77.219 89.201

DEBIT SOUS-SECTION 3: 318. M3/S

SOUS-SECTION 4

NUMERO DES NOEUDS: 348 349 350 351 352

PROFONDEURS AU REPOS

7.500 7.500 7.500 7.500 7.500

PROFONDEURS AVEC DEBIT

8.028 8.016 8.005 8.030 8.055

TETA COS SIN:

.22065 0.97576 0.21886

VITESSES NORMALES AUX NOEUDS

1.179 1.195 1.196 1.191 1.191

PROFONDEUR, LARGEUR, SECTION, DEBIT SPECIFIQUE

8.0219 23.087 185.20 219.81

8.0104 23.087 184.93 221.07

8.0173 32.388 259.67 309.96

8.0425 31.401 252.54 300.77

DEBIT SOUS-SECTION 4: 0.105E+04 M3/S

DEBIT CUMULE A TOUTES LES SOUS-SECTIONS: 0.333E+04M3/S

Tableau A-12 (suite) : Débits, vitesses et profondeurs à la section globale 3 pour une dénivelée totale de .80 m.