

Record Number:**Author, Monographic:** Leclerc, M.//Bellemare, J. F.//Robert, J. L.//Dhatt, G.**Author Role:****Title, Monographic:** Impacts potentiels sur le poulamon atlantique à la traversée du fleuve Saint-Laurent de la ligne Radisson Nicolet des cantons: modélisation du milieu physique**Translated Title:****Reprint Status:****Edition:****Author, Subsidiary:****Author Role:****Place of Publication:** Québec**Publisher Name:** INRS-Eau**Date of Publication:** 1986**Original Publication Date:** Décembre 1986**Volume Identification:****Extent of Work:** xii, 265**Packaging Method:** pages incluat 8 annexes**Series Editor:****Series Editor Role:****Series Title:** INRS-Eau, Rapport de recherche**Series Volume ID:** 210 v**Location/URL:****ISBN:** 2-89146-491-5**Notes:** Rapport annuel 1987-1988**Abstract:** Rapport rédigé pour Hydro-Québec, Direction environnement et distribué par TAO Simulations, no TAO HYD-86-02
ISBN double avec le R000488
45.00\$**Call Number:** R000210 v1**Keywords:** rapport/ ok/ dl

132
DE
LIT
CH
1987
V.1

ÉTUDES ENVIRONNEMENTALES

IMPACTS POTENTIELS SUR
LE POULAMON ATLANTIQUE
À LA TRAVERSÉE DU FLEUVE
SAINT-LAURENT DE LA LIGNE
RADISSON/NICOLET/DES CANTONS:
MODÉLISATION DU MILIEU PHYSIQUE

TAO SIMULATIONS INC.
LA DIRECTION ENVIRONNEMENT
HYDRO-QUÉBEC

RAPPORT # TAO/HYD-86-02
INRS-EAU/Rs # 210
CRANI 86-04

Décembre 1986

TABLE DES MATIÈRES

	<u>PAGE</u>
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES PARTICIPANTS	xi
REMARQUE PRÉLIMINAIRE	xii
1. INTRODUCTION	1
1.1 Milieu à l'étude	1
1.2 Problématique	3
1.3 Objectifs	4
2. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE	7
2.1 Généralités	7
2.1.1 Caractéristiques du milieu et pertinence du choix des modèles	7
2.1.2 Cheminement méthodologique	8
2.2 Modèle mathématique	8
2.2.1 Modèle hydrodynamique	10
2.2.2 Modèle de transport-diffusion	12
2.2.3 Conditions aux limites	13
2.3 Modèle numérique hydrodynamique	15
2.3.1 Forme variationnelle	15
2.3.2 Forme discrétisée	17
2.3.3 Méthode de résolution	18
2.3.4 Modèle hydrodynamique en bref	20
2.4 Modèle numérique de transport-diffusion	21
2.4.1 Le problème	21
2.4.2 Discrétisation de la forme intégrale	22

2.5	Problème du découverture-recouvrement	23
2.5.1	Présentation du problème	23
2.5.2	Équations décrivant l'approche	25
2.5.3	Algorithme d'analyse transitoire	27
2.6	Méthode d'analyse et de comparaison des résultats	28
3.	DESCRIPTION DU MILIEU PHYSIQUE	30
3.1	Présentation	31
3.2	Hydrodynamique du milieu	31
3.2.1	Le débit fluvial	32
3.2.2	La marée	33
3.2.3	Les courants	34
3.3	Les sédiments	37
3.3.1	Apports en suspension	38
3.3.2	Charriage de fond	39
3.3.3	Disponibilité des sédiments	39
3.3.4	Qualité des sédiments	40
3.4	Évaluation des conditions sédimentaires	43
3.4.1	Aménagements existants	44
3.4.2	Sédimentation au niveau des jetées pendant la période de construction	44
3.5	Données complémentaires	45
4.	ANALYSE PRÉLIMINAIRE ET CHOIX DES CONDITIONS DE RÉFÉRENCE	47
4.1	Conditions d'hydraulicité	48
4.1.1	Données disponibles	48
4.1.2	Débits de référence du fleuve Saint-Laurent	49
4.1.3	Débits de référence de la rivière Sainte-Anne	53
4.2	Données marégraphiques	58
4.2.1	Choix des épisodes	58
4.2.2	Choix des événements	60
4.2.3	Interpolation de la marée aux frontières du modèle	68

5.	CALIBRATION ET VALIDATION DU MODÈLE	74
5.1	Démarche	74
5.2	Modèle géométrique - discrétisation du milieu	75
5.3	Choix d'un état-cible pour la calibration	77
5.4	Données disponibles pour l'état-cible	78
5.4.1	Niveaux d'eau	78
5.4.2	Vitesse des courants	79
5.4.3	Conditions de mélange	80
5.5	Choix des paramètres	85
5.5.1	Viscosité turbulente (ν_T)	85
5.5.2	Coefficient de frottement: "n" de Manning	86
5.5.3	Coefficient de dispersion (K_i)	89
5.6	Comparaison des résultats du modèle avec les mesures	90
5.6.1	Débit	90
5.6.2	Niveau d'eau	93
5.6.3	Les vitesses	99
5.6.4	Mélange des eaux	99
5.7	Conclusion	109
6.	SCÉNARIO BOIS-DES-HURONS: COMPARAISON DES CONDITIONS ACTUELLES ET PROJETÉES	111
6.1	Introduction	111
6.2	Modèle géométrique - discrétisation du milieu	111
6.3	Paramètres retenus	112
6.4	Analyse comparative - démarche	112
6.5	Analyse spatiale	115
6.5.1	Présentation	115
6.5.2	Comportement général - milieu actuel	116
6.5.3	Comportement général - milieu futur	119
6.6	Analyse temporelle des écoulements dans l'axe Bois-des-Hurons	120
6.6.1	Potentiel natatoire du Poulamon de l'Atlantique	127
6.6.2	Etiage moyen d'automne	127
6.6.3	Module d'automne	129
6.6.4	Crues d'automne	130
6.6.5	Crue moyenne du printemps	131
6.6.6	Tourbillons stationnaires	132
6.6.7	Résumé	132

6.7	Comparaison avec les conditions actuelles à la pointe de Grondines	137
6.8	Aspects complémentaires	139
7.	ÉTUDES COMPLÉMENTAIRES: RECONNAISSANCE MORPHO-SÉDIMENTOLOGIQUE (PAR LES "CONSULTANTS SAINT-LAURENT")	146
7.1	Observations	146
7.2	Discussion	150
7.3	Compléments photographiques	150
8.	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	160
8.1	Conclusions relatives à la démarche	160
8.2	Conclusions générales relatives au projet proposé	161
	8.2.1 Hydrodynamique	161
	8.2.2 Intrusion de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve	162
	8.2.3 Les sédiments	163
8.3	Conclusions relatives au Poulamon de l'Atlantique	163
	8.3.1 Approche normative	163
	8.3.2 Conditions hydrodynamiques futures dans l'axe de Bois-des-Hurons (côté nord)	164
8.4	Recommandations	165
	8.4.1 Recommandations relatives à la jetée nord	165
	8.4.2 Recommandations complémentaires relatives à la démarche poursuivie	165
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	168
	ANNEXE 1 SÉRIE HYDROLOGIQUE (DÉBIT RÉSIDUEL) RECONSTITUÉE DU FLEUVE SAINT-LAURENT À LA HAUTEUR DE BATISCAN (1955-1984)	
	ANNEXE 2 MESURES DES VITESSES SUR LA SECTION DU QUAI DE LOTBINIÈRE AU COURS DE LA MARÉE DU 23 OCTOBRE 1986	
	ANNEXE 3 CONTRÔLE DES CONDITIONS DE MÉLANGE DES EAUX AU MOMENT DE LA PRISE DES IMAGES DE TÉLÉDETECTION	
	ANNEXE 4 TRAITEMENT NUMÉRIQUE D'IMAGES ACQUISES PAR LES CAPTEURS AÉROPORTÉS MEIS ET DAEDALUS	
	ANNEXE 5 RÉSULTATS PARTIELS DU MODÈLE MEFLU-2.0 - MODULE D'AUTOMNE CONDITIONS ACTUELLES	

LISTE DES FIGURES

	<u>PAGE</u>
Figure 1	Zone à l'étude 2
Figure 2.1	Cheminement de la méthode 9
Figure 2.2	Conventions du modèle bi-dimensionnel (x orienté à l'est et y au nord) 11
Figure 2.3	Conditions aux limites dans un estuaire fluvial 14
Figure 2.4	Discrétisation par éléments finis et approximation des variables du modèle hydrodynamique 17
Figure 2.5	Résumé de la méthode numérique 20
Figure 2.6	Transformation du maillage hydrodynamique pour le transport-diffusion 22
Figure 2.7	Approche à deux types d'éléments du problème du couvrant-déouvrant (technique dite "du mur") 24
Figure 2.8	Description des éléments partiellement couverts 25
Figure 2.9	Description de l'élément exondé 25
Figure 3.1	Courants mesurés dans le chenal de navigation à 3 mètres sous la surface en marée moyenne et en marée de vive-eau (Tiré des Instructions Nautiques, Golfe et fleuve Saint-Laurent) 36
Figure 4.1	Minimum et maximum annuels du débit net du Saint-Laurent à l'amont de la Sainte-Anne entre le 15 novembre et le 15 janvier 52
Figure 4.2	Marnages successifs lors des différents épisodes d'une marée 57
Figure 4.3	Illustration du calcul du débit total de la rivière Saint-Anne en fonction de la marée 57
Figure 4.4	Débits reconstitués résultant de l'apport hydrologique et de la marée à l'embouchure de la rivière Sainte-Anne pour les états de référence 58

Figure 4.5	Épisodes hydrologiques et marégraphiques du fleuve Saint-Laurent candidat au choix d'un événement de référence pour l'étiage moyen d'automne	61
Figure 4.6	Épisodes hydrologiques et marégraphiques du fleuve Saint-Laurent candidat au choix d'un événement de référence pour le module d'automne	62
Figure 4.7	Épisodes hydrologiques et marégraphiques du fleuve Saint-Laurent candidat au choix d'un événement de référence pour la crue moyenne de printemps	63
Figure 4.8	Marégrammes observés ou interpolés dans le fleuve Saint-Laurent entre Portneuf et Batiscan (15 novembre 1968) - débit moyen d'étiage d'automne	64
Figure 4.9	Marégrammes observés ou interpolés dans le fleuve Saint-Laurent entre Portneuf et Batiscan (23 novembre 1976) - module d'automne	65
Figure 4.10	Marégrammes observés ou interpolés dans le fleuve Saint-Laurent entre Portneuf et Batiscan (25 octobre 1986) - module d'automne	66
Figure 4.11	Marégrammes observés ou interpolés dans le fleuve Saint-Laurent entre Portneuf et Batiscan (14-15 mai 1979) - crue moyenne de printemps	67
Figure 4.12	Interpolation des niveaux extrêmes caractéristiques de la marée entre Portneuf et Batiscan le 15 novembre 1968 - étiage moyen d'automne	72
Figure 5.1	Discrétisation du milieu dans l'état actuel	76
Figure 5.2	Positions des mesures de vitesses sur la section du quai de Lotbinière le 23 octobre 1986	81
Figure 5.3	Délimitation dans le modèle des zones sédimentologique	88
Figure 5.4:	Crue moyenne d'automne - débit simulé en conditions actuelles en divers endroits du modèle	91
Figure 5.5:	Étiage moyen d'automne - débit simulé en divers endroits du modèle - conditions actuelles	91
Figure 5.6:	Module d'automne - débit simulé en divers endroits du modèle - conditions actuelles	92
Figure 5.7:	Crue moyenne du printemps - débit simulé en divers endroits du modèle - conditions actuelles	92

Figure 5.8	Crue moyenne d'automne - marégrammes observés et calculés - a: Cap-à-la-Roche; b: Grondines	94
Figure 5.8 (suite)	Crue moyenne d'automne - marégrammes observés et calculés à Lotbinière (c)	95
Figure 5.9	Étiage moyen d'automne - marégrammes observés et calculés - a: Cap-à-la-Roche; b: Grondines	96
Figure 5.10	Module d'automne - marégrammes observés et calculés - a: Cap-à-la-Roche; b: Grondines	97
Figure 5.11	Crue moyenne du printemps - marégrammes observés et calculés - a: Cap-à-la-Roche; b: Grondines	98
Figure 5.12	Comparaison des vitesses mesurées et calculées par le modèle - État de référence pour la calibration - temps relatif du modèle - marée mi-baissante	100
Figure 5.13	Comparaison des vitesses mesurées et calculées par le modèle - État de référence pour la calibration - temps relatif du modèle - basse mer supérieure	101
Figure 5.14	Comparaison des vitesses mesurées et calculées par le modèle - État de référence pour la calibration - temps relatif du modèle - pleine mer inférieure	102
Figure 5.15	Comparaison des vitesses mesurées et calculées par le modèle - État de référence pour la calibration - temps relatif du modèle - mi-montant → pleine mer supérieure	103
Figure 5.16	Zone moyenne de mélange de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve Saint-Laurent - basse mer supérieure du 25 octobre 1986	105
Figure 5.17	Zone moyenne de mélange de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve Saint-Laurent - marée montante → pleine mer inférieure du 25 octobre 1986	106
Figure 5.18	Zone moyenne de mélange de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve Saint-Laurent - pleine mer inférieure du 25 octobre 1986	107
Figure 5.19	Zone moyenne de mélange de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve Saint-Laurent - marée baissante → basse mer inférieure du 25 octobre 1986	108
Figure 6.1	Discrétisation du milieu à l'étude (771 éléments T-6) pour l'étude du scénario Bois-des-Hurons	113
Figure 6.2	Discrétisation du milieu dans la région des ouvrages - scénario Bois-des-Hurons	114

Figure 6.3	Description technique du projet - axe Bois-des-Hurons . .	121
Figure 6.4	Plan de localisation des noeuds du modèle ayant fait l'objet d'une analyse temporelle	122
Figure 6.5	Conditions de vitesse dans l'axe Bois-des-Hurons - étiage moyen d'automne	123
Figure 6.6	Conditions de vitesse dans l'axe Bois-des-Hurons - module d'automne - a: actuel, b: futur	124
Figure 6.7	Conditions de vitesse dans l'axe Bois-des-Hurons - crue moyenne d'automne - a: actuel; b: futur	125
Figure 6.8	Conditions de vitesse dans l'axe Bois-des-Hurons - crue moyenne de printemps - a: actuel; b: futur	126
Figure 6.9	Section de passage en fonction du temps - critère 0,3 m/s - Pointe de la Jetée Nord de l'axe Bois-des-Hurons . . .	133
Figure 6.10	Plan de localisation des noeuds du modèle à la pointe de Grondines	134
Figure 6.11	Conditions de vitesse à la Pointe de Grondines - a: étiage moyen d'automne; b: module d'automne	135
Figure 6.12	Conditions de vitesse à la Pointe de Grondines - a: crue moyenne d'automne; b: crue moyenne de printemps	136
Figure 6.13	Section de passage en fonction du temps - critère 0,3 m/s - Pointe de Grondines	138
Figure 7.1	Localisation des photographies présentées	151

LISTE DES TABLEAUX

	<u>PAGE</u>
Tableau 2.1	Intervalles de classes pour l'analyse thématique par intersection des résultats du modèle 29
Tableau 3.1	Qualité des sédiments meubles prélevés dans le lit du Saint-Laurent, à Lotbinière (tiré de Boudreault et al., 1985) 41
Tableau 3.2	Teneur en contaminants de la couche superficielle des sédiments dans la région du quai de Bécancour (tiré de Descoteaux et Michaud, 1983) 42
Tableau 4.1	Moyenne sur différentes périodes historiques du débit net du Saint-Laurent à l'amont de la rivière Sainte-Anne entre le 15 novembre et le 15 janvier de chaque année . . 50
Tableau 4.2	Minimum et maximum du débit net du fleuve Saint-Laurent (m ³ /s) à l'amont de la rivière Sainte-Anne entre le 15 novembre et le 15 janvier de chaque année entre 1955 et 1984 51
Tableau 4.3	Moyenne sur différentes périodes historiques du débit net du Saint-Laurent à l'amont de la Sainte-Anne entre le 15 avril et le 31 mai et entre le 1 ^{er} avril et le 31 mai 50
Tableau 4.4	Débits de référence du fleuve Saint-Laurent proposés et retenus pour les simulations 53
Tableau 4.5	Débits journaliers minimums et maximums de la rivière Sainte-Anne à la centrale Saint-Narcisse du 15 novembre au 15 janvier de chaque année entre 1955 et 1982 54
Tableau 4.6	Débits de référence nets de la rivière Sainte-Anne à l'embouchure retenus pour les simulations (période de 1975 à 1984) 55
Tableau 4.7	Caractéristiques de propagation de la marée du 15 novembre 1968 dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Portneuf-Batiscan - étiage moyen d'automne 69
Tableau 5.1	Données de vitesse du courant dans un transect du fleuve Saint-Laurent vis-à-vis Lotbinière le 23 octobre 1986 . . 82
Tableau 5.2	Choix des coefficients de frottement dans le modèle . . . 89
Tableau 6.1	Comparaison des conditions natatoires favorables (< 0,3 m/s) aux pointes de Grondines et de la jetée 140

LISTE DES PARTICIPANTS

Michel Leclerc, D.ing.	Chargé de projet
Jean-François Bellemare, M.Sc.A	Modélisation hydrodynamique
Jean-Loup Robert, Ph.D.	Modélisation du mélange des eaux
Richard Blanchet, B.Sc.A	Modélisation du mélange et Post-traitement
Guy Gendron, M.Sc.A	Modélisation hydrodynamique
Guy Dumas, M.Sc.A	Modélisation hydrodynamique
Gouri Dhatt, Ph.D.	Conseiller scientifique et prés. de TAO Simulations
Yves Matte, M.Sc.A	Pré-traitement
Pierre Dupuis, M.Sc.A	Développement infographique
Louis Desjardins, M.Sc.A	Développement en CAO
Jean-Pierre Troude, Ph.D. (Consultants St-Laurent)	Opérations de terrain
Clément Dubé, Ph.D. (INRS-Eau)	Traitement d'images
Jean-Pierre Fortin, Ph.D.	Traitement d'images
François Parrot, B.Sc.A.	Post-traitement
Sophie Leclerc	Graphisme
Hélène Arteau	Secrétariat

PRÉAMBULE

Cette étude réalisée sous la gouverne de TAO Simulations, doit en partie sa réussite à une riche collaboration interinstitutionnelle qui s'est établie entre l'Institut national de la recherche scientifique - Eau, le CRANI et le département de Génie civil de l'Université Laval et la firme consultant Saint-Laurent. Chacun a fourni une participation appréciable qu'il s'agisse de l'accès aux équipements et logiciels informatiques, de la réalisation de travaux spécialisés, du développement de la recherche ou de la formation du personnel. TAO Simulations tenait, en guise de préambule, à souligner cet esprit de collaboration et à remercier les divers intervenants. Nos remerciements vont également à la direction Environnement d'Hydro-Québec, en particulier, MM. Gaétan Guertin, Serge Trussart et Jean-Claude Tessier pour la confiance qu'il nous ont témoignée et l'occasion ainsi fournie de démontrer notre expertise en modélisation numérique.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1. INTRODUCTION

Le projet de traversée du fleuve Saint-Laurent de la ligne Radisson/Nicolet/Des Cantons à la hauteur de Bois des Hurons dans la région de Lotbinière est susceptible d'entraîner temporairement - durant la construction - des changements locaux significatifs dans l'hydrodynamique du fleuve. La Direction Environnement d'Hydro-Québec, soucieuse de protéger les habitats fauniques et les voies migratoires, en particulier celle du poulamon atlantique, a mandaté TAO Simulations pour analyser ces changements à l'aide de méthodes numériques reconnues. Le modèle aux éléments finis MEFLU-2.0, conjugué à une campagne spéciale de mesures sur le terrain, à des survols de télédétection et à l'utilisation des méthodes infographiques les plus poussées ont été les outils privilégiés pour cette étude.

1.1 Milieu à l'étude

Le milieu à l'étude est formé par le tronçon du fleuve Saint-Laurent situé entre l'amont de la rivière Sainte-Anne et Lotbinière (figure 1.1). Cette zone a été ainsi définie afin:

- d'inclure la rivière Sainte-Anne directement dans les simulations;
- de tenir compte des futures implantations;
- de faciliter la prise en compte des conditions aux limites du modèle;

Il s'agit d'un milieu principalement fluvial mais fortement influencé par la propagation de la marée qui peut même pour certains débits d'étiage du fleuve et de fortes amplitudes tidales provoquer un renversement du courant jusqu'à l'amont de la zone étudiée.

Il s'ensuit une circulation hydrodynamique complexe, particulièrement lors des épisodes de retournement. De même, le niveau d'eau minimum de

marée basse permet le découverturement de larges portions des estrans pratiquement sur l'ensemble des berges du tronçon étudié.

La bathymétrie (figure 1.1) du milieu à l'étude est caractérisée par trois types de structures:

- le chenal principal d'écoulement qui sert de chenal de navigation et dont la profondeur minimum se situe autour de 13 m;
- la zone de battures ou d'estrans formée de haut-fonds exondés occasionnellement à marée basse et dont la pente est relativement faible;
- une zone mixte à la hauteur de Grondines et de Cap-Charles dont la bathymétrie est très accidentée (alternance de hauts-fonds et de profonds chenaux, fortes pentes).

Enfin, l'action puissante du fleuve sur la dynamique des sédiments (transport, glacial, etc.) donne à son lit un aspect très varié comprenant des matériaux fins ou grossiers, des cailloux, des blocs glaciaux et même des ceintures de blocs erratiques longeant le chenal principal.

1.2 Problématique

L'implantation de jetées temporaires sur les estrans du fleuve à la hauteur du Bois-des-Hurons est susceptible de produire des modifications hydrodynamiques locales appréciables. Il s'agit surtout de la déviation du courant à marée haute provoquée par l'entrave et l'accélération des vitesses à l'extrémité des ouvrages. Les estrans du fleuve Saint-Laurent sont des zones importantes du point de vue faunique; dans cette étude, la problématique du fleuve est posée en fonction des habitudes migratoires du poulamon atlantique. Quoique celles-ci soient mal connues - une étude complémentaire est en voie de réalisation par G. Shooner et associés - on sait qu'il s'agit d'un poisson qui utilise

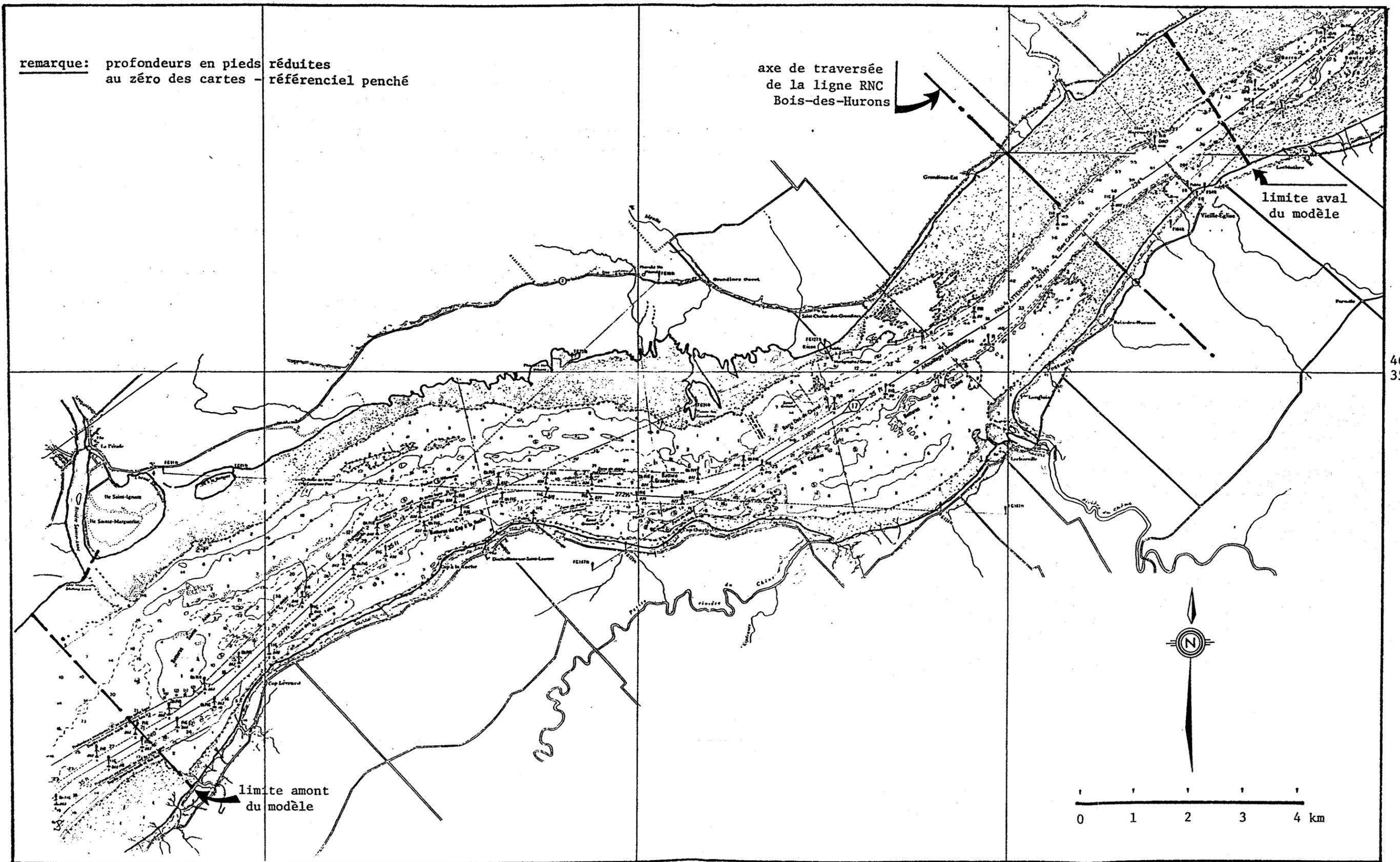


Figure 1.1: Zone à l'étude

une stratégie de dépense minimale d'énergie pour atteindre son principal lieu de frai, qui est l'estuaire de la rivière Sainte-Anne. Ce comportement l'incite normalement à profiter des marées montantes pour remonter le fleuve. De même, l'emprunt de corridors de moindre vitesse (lorsque le courant est dirigé vers l'aval) devrait refléter la même stratégie.

En ce qui concerne la qualité de l'eau, la détection olfactive ou autre des eaux de la rivière Sainte-Anne, même à faible pourcentage, dans le choix de la route migratoire ne peut être considérée qu'à titre d'hypothèse au stade actuel des connaissances sur le poulamon atlantique.

Les modifications abiotiques du milieu peuvent être mises en évidence par la méthode de la modélisation. Il s'agit de définir des états du milieu représentatifs des causes principales de la variabilité physique (débit, marée, etc.). On obtient par les modèles les données abiotiques de base du milieu en absence des implantations. C'est ce que nous appelons les états de référence pour comparaison ultérieure. Les modifications (ouvrages) sont alors introduites dans le modèle et des états futurs (projetés) sont alors simulés. Il reste alors à procéder à une analyse comparative pour mettre en évidence la résultante des changements.

1.3 Objectifs

Les changements anticipés du milieu à l'étude pourraient affecter une ressource faunique dont l'importance saisonnière pour la région n'a pas à être démontrée. Il est important de connaître les effets des ouvrages pour la traversée du fleuve Saint-Laurent de la ligne Radisson/Nicolet/Des Cantons (RNC) dans la région de Grondines de sorte de prévoir le plus tôt possible les mesures nécessaires de mitigation.

L'objectif principal de cette étude est de fournir à Hydro-Québec tous les éléments d'analyse pertinents pouvant être obtenus à l'aide des méthodes proposées dans l'offre de service: modélisation bidimensionnelle des écoulements, télédétection, mesures. Les objectifs spécifiques qui découlent de cet énoncé sont:

- proposer des conditions de simulation (marée, débit du fleuve) représentatives du milieu étudié, en particulier dans les périodes du fraie (15 novembre au 15 janvier) et d'avalaison (15 avril au 31 mai) du poulamon atlantique;
- déterminer le comportement hydrodynamique du fleuve dans le tronçon cible en présence et en l'absence des ouvrages projetés pour les conditions d'écoulement identifiées au préalable;
- déterminer la zone de circulation des eaux de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve pour les mêmes conditions;
- identifier dans la bibliographie les informations pertinentes de même nature;
- mettre en évidence, par comparaison, les changements du milieu et identifier s'il y a lieu les risques éventuels pour la migration du poulamon atlantique.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

2. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

La modélisation par éléments finis est devenue un outil de plus en plus répandu pour la simulation bidimensionnelle des écoulements dans les rivières, les fleuves et les estuaires (Grotkop, 19783; Taylor et Davis, 1975; Connor et Wang, 1974; Brebbia et Partridge, 1979; Cochet, 1979; Cochet et al., 1983; Soulaïmani, 1983; Leclerc et al., 1985, 1986). De même, conjointement avec les modèles hydrodynamiques, les modèles de transport-diffusion servent de plus en plus pour évaluer le mélange d'eaux de diverses provenances (Price et al., 1968; Addey et Brebbia, 1973; Smith et al., 1973; Van Genuchten et al., 1977; Varoglu et Finn, 1980; Lohner et al., 1985).

2.1 Généralités

2.1.1 Caractéristiques du milieu et pertinence du choix des modèles

Deux caractéristiques du milieu sont fondamentales pour la modélisation:

- les effets dynamiques produits par la marée (accélération ou ralentissement de l'écoulement, gires non-stationnaires, retournement du courant; variations dans la circulation des eaux des affluents, etc.);
- la mobilité de la frontière de l'écoulement (attribuable également à la marée) associée avec le découverture et le recouvrement cyclique des estrans.

La première caractéristique nécessite la mise en oeuvre d'un modèle non-stationnaire (variant dans le temps), souple et polyvalent et dont la robustesse n'est pas mise en question par la complexité des écoulements à résoudre.

Quoique des variations de vitesse ou de qualité de l'eau puissent être observées sur la verticale, il est scientifiquement admis qu'un modèle bidimensionnel (intégré verticalement) reflète très bien la structure générale des écoulements d'un tel milieu. Cependant, le découvrant graduel des estrans à marée baissante implique nécessairement l'usage d'un modèle de type couvrant - découvrant dont MEFLU-2.0 représente un rare exemplaire disponible.

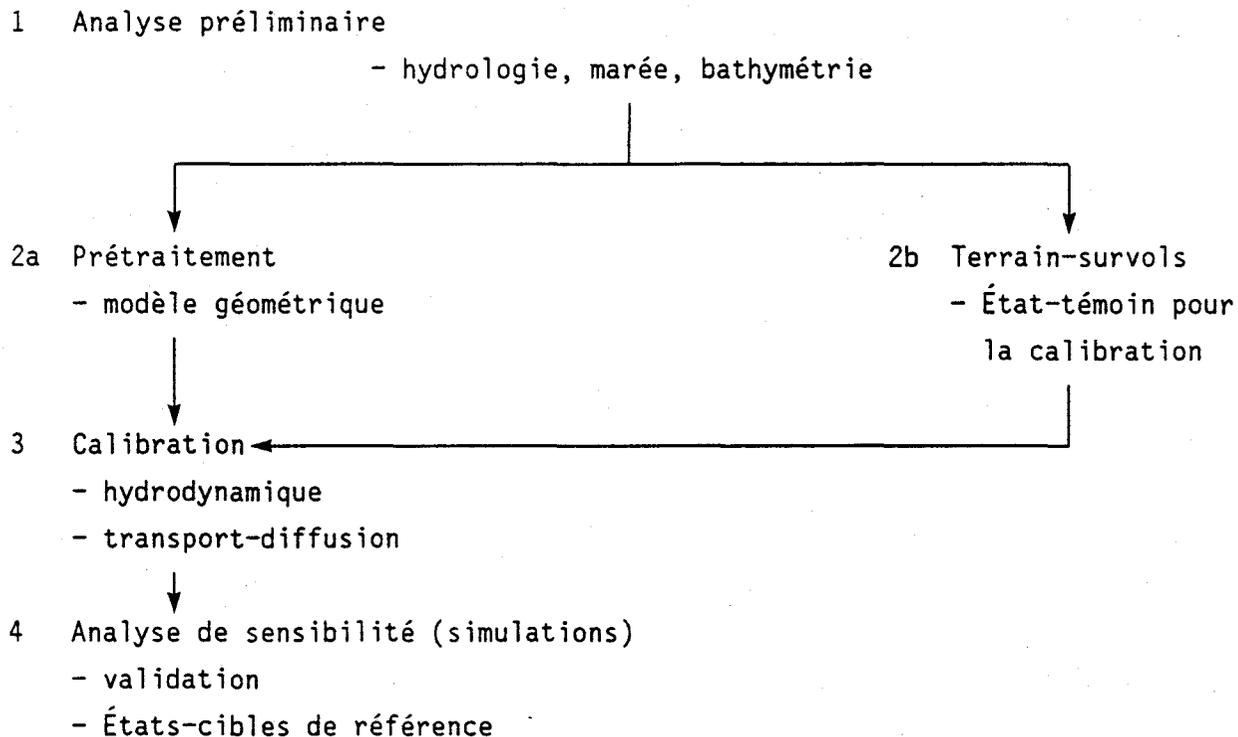
Cette prise en compte est nécessaire étant donné la nature évolutive du mélange des eaux de la rivière Sainte-Anne qui y est associée et l'importance des courants sur les estrans pour la problématique du poulamon.

2.1.2 Cheminement méthodologique

Le cheminement suivi par cette étude est typique de la méthode générale utilisée en modélisation. La Figure 2.1 illustre l'approche adoptée dans le présent contexte. Les étapes essentielles sont: l'acquisition sur le terrain des données de base pour la calibration du modèle et sa validation, les opérations de prétraitement (maillage, analyse préliminaire), la calibration du modèle sur un état de référence, la simulation de l'ensemble des états de référence, l'extrapolation du modèle aux états futurs, l'analyse comparative des résultats et la synthèse.

2.2 Modèle mathématique

Dans ce chapitre on entend par modèle mathématique l'ensemble des équations aux dérivées partielles (EDP) décrivant le problème à résoudre. Plus tard, ce modèle deviendra numérique après les transformations de discrétisation requises par la méthode des éléments finis.



milieu actuel

milieu actuel

milieu futur

milieu futur

5 Pré-traitement

6 Analyse de sensibilité (simulations)
- mêmes états-cibles

7 Intégration des résultats

8 Comparaison et conclusion

Figure 2.1: Cheminement de la méthode

2.2.1 Modèle hydrodynamique

On trouvera dans Dhatt et al (1985) une présentation élaborée des bases mathématiques de ce modèle. Nous allons reprendre brièvement les éléments essentiels de cette présentation.

Le modèle mathématique utilisé est basé sur les équations de Navier-Stokes décrivant le principe de conservation de la quantité de mouvement et l'équation de continuité pour le principe de conservation de la masse. Ce modèle s'appuie sur les valeurs moyennes des vitesses pour la verticale. On obtient ainsi un modèle bidimensionnel particulièrement bien adapté pour les écoulements gravitationnels dans les eaux peu profondes. L'application de ce modèle présuppose une pression hydrostatique ce qui signifie que:

- Le modèle s'applique aux ondes longues (marée);
- Les accélérations verticales sont négligeables.

Les conventions mathématiques du modèle sont illustrées à la figure 2.2. Les relations de base du modèle sont les suivantes:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

(continuité)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u\partial u}{\partial x} + \frac{v\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} = F_x \quad (2)$$

$$\underbrace{\frac{\partial v}{\partial t}}_1 + \underbrace{\frac{u\partial v}{\partial x} + \frac{v\partial v}{\partial y}}_2 + \underbrace{g \frac{\partial h}{\partial y}}_3 = F_y \quad (3)$$

avec

$$F_x = \frac{-g|V|u}{C^2H} + f_c v + \nu_T \Delta u \quad (4a)$$

$$F_y = \underbrace{\frac{-g|V|v}{C^2H}}_4 - \underbrace{f_c u}_5 + \underbrace{\nu_T \Delta v}_6 \quad (4b)$$

(quantité de mouvement)

où

- 1 : accélération locale;
- 2 : accélération convective;
- 3 : pression hydrostatique;
- 4 : frottement sur le fond (contrainte de Chézy);
- 5 : force de Coriolis;
- 6 : contraintes turbulentes de Reynold;
- u, v : vitesses moyennes selon x et y (x orienté à l'est, y au nord);
- $|V|$: $\sqrt{u^2 + v^2}$
- h : hauteur d'eau relative;
- F_x, F_y : forces massiques selon x et y ;
- g : gravité;
- C : coefficient de Chézy;
- f_c : coefficient de Coriolis;
- ν_T : la viscosité turbulente horizontale;
- Δ : opérateur Laplacien = $[\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}]$.

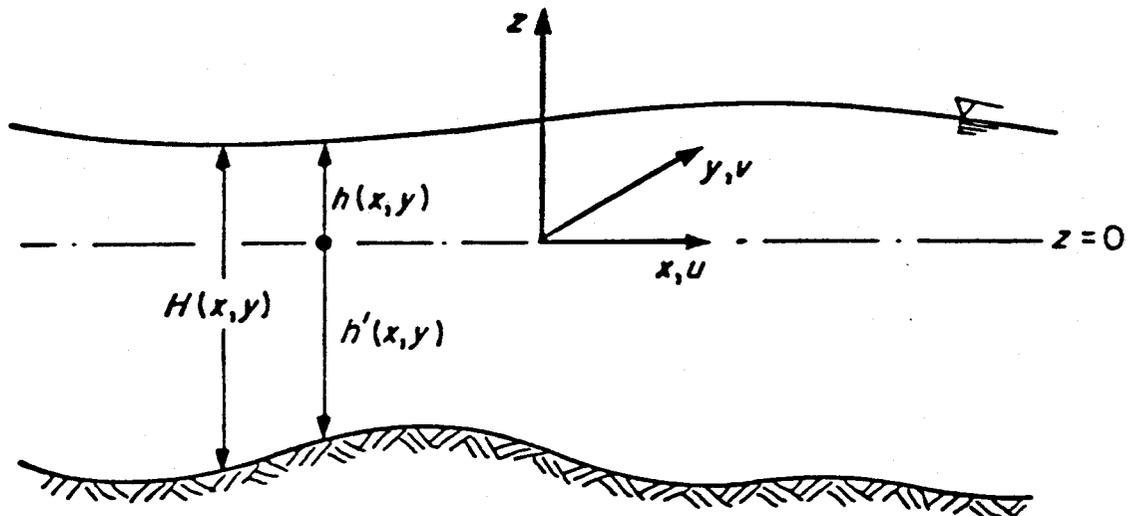


Figure 2.2: Conventions du modèle bi-dimensionnel (x orienté à l'est et y au nord)

La viscosité turbulente peut être spécifiée constante ou décrite par une relation algébrique "à 0-équation" de type "longueur de mélange" (voir Rodi, 1980)

$$\nu_T = \ell_m^2 \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

Le coefficient de Chézy est un paramètre permettant de tenir compte du phénomène de frottement. Souvent, on utilise l'approche de Manning. Dans ce cas, la force de frottement est la suivante:

$$F_{xf} = \frac{-gn^2 |V| u}{H^{4/3}} \quad (6)$$

Les coefficients de Chézy et de Manning sont liés par la relation suivante:

$$C = \frac{H^{1/6}}{n} \quad (7)$$

où n est le coefficient "de Manning".

Dhatt et al (1985) ont procédé à une revue critique de ces coefficients.

2.2.2 Modèle de transport-diffusion

Le mélange de deux eaux de qualités différentes dans un cours d'eau fait intervenir deux processus macroscopiques différents. Le premier implique le transport d'une certaine masse d'un produit en solution par déplacement du fluide lui-même. Nous assimilerons ce mécanisme à un phénomène de convection. En second lieu, la répartition spatiale de ce produit est conditionnée par l'intensité des écarts de vitesse du fluide en deux points voisins (turbulence). Cette contribution au mélange est souvent appelée la diffusion turbulente. Quoique des distinctions plus subtiles puissent être faites, nous allons en général utiliser le terme dispersion.

La variation spatio-temporelle de la concentration d'un produit conservatif est décrite en considérant le principe de conservation de la masse de ce produit au sein de l'écoulement. Dans un cas bidimensionnel, c'est-à-dire, quand on néglige la variation de la concentration sur la hauteur de l'écoulement, cette relation s'écrit:

$$\begin{aligned} \text{variation temporelle: } & \frac{\partial C}{\partial t} \\ \text{transport convectif} & + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} \\ \text{dispersion} & - \left(\frac{\partial}{\partial x} K_x \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \\ \text{Source-puits} & = f \end{aligned} \quad (8)$$

où:

u, v : composante moyenne sur la verticale de la vitesse

C : concentration d'un produit conservatif

K_x, K_y : coefficients de dispersion

En y introduisant l'équation de continuité ($\text{div } \vec{V} = 0$), (8) s'écrira:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial C}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial C}{\partial y}) = f \quad (9)$$

2.2.3 Conditions aux limites

Les conditions aux limites du modèle hydrodynamique sont:

- imperméabilité et glissement tangentiel au littoral (figure 2.3);

ie.: $u_N = 0$

$$\tau_{NT} = f(u_T)$$

où

u_N : vitesse normale

u_T : vitesse tangentielle

τ_{NT} : contrainte tangentielle sur les berges.

- aux frontières ouvertes, on peut aussi imposer des apports advectifs ($Q = Hu_N \neq 0$) ou encore, la hauteur d'eau relative h . De plus, on impose la vitesse tangentielle (u_T) nulle.

Dans le cas d'un estuaire supérieur, on adopte le schéma suivant:

à l'amont: $Q = Q(t)$ si $Q(t)$ est connu

sinon $h = h(t)$

à l'aval : $h = h(t) = f(\text{marée})$

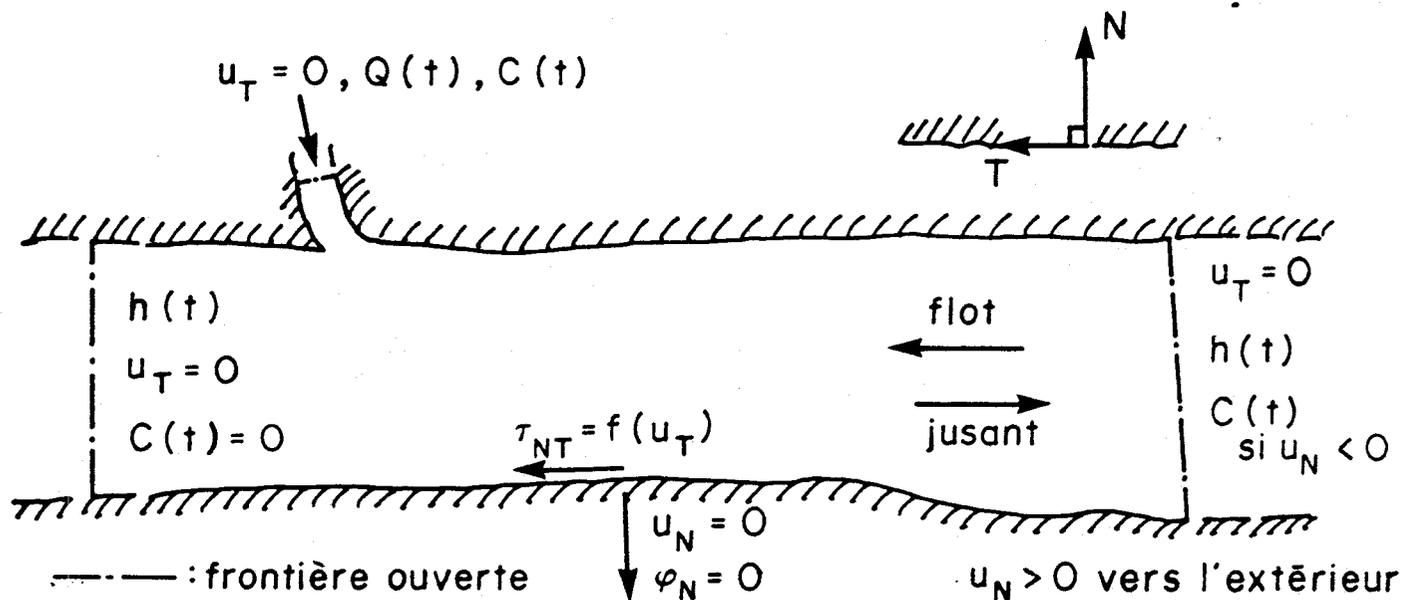


Figure 2.3: Conditions aux limites dans un estuaire fluvial

En général, le modèle de transport-diffusion s'utilise avec les conditions suivantes:

$$C(x,y,t) = C_i(t)$$

sur les frontières où la concentration est connue et imposée.

$$\phi_N = - K_N \frac{\partial C}{\partial N}$$

sur les frontières où sont imposées des conditions de flux normal ϕ_N .

Les conditions initiales s'écriront:

$$C(x,y,0) = C_0(x,y)$$

Dans le cas présent, nous avons les conditions aux limites suivantes:

à l'amont : $C = C(t)$ ou $C = 0$

à l'aval : $C = C(t)$ si $u_N < 0$ (flot)

$C = \text{libre}$ si $u_N > 0$ (jusant)

2.3 Modèle numérique hydrodynamique

2.3.1 Forme variationnelle

Le modèle numérique est la version pratique informatisée du modèle mathématique. Les modèles numériques sont obtenus par la discrétisation des EDP et spatiale du domaine étudié. La méthode des différences finies repose sur une discrétisation régulière de la géométrie du milieu alors que la technique des éléments finis permet intrinsèquement de procéder à un maillage irrégulier, ce qui lui confère une grande souplesse d'utilisation. C'est pourquoi, entre autres, nous privilégions cette méthode. Avec la méthode des éléments finis, le modèle mathématique est d'abord formulé sous forme d'un modèle variationnel à l'aide, dans le présent cas, de la méthode des résidus pondérés de Galerkin (Dhatt et Touzot, 1981).

Nous avons un résidu $\{R(\underline{u})\}$ ¹ qui exprime le système d'EDP²

$$\{R(\underline{u})\} = [L(\underline{u})] \{\underline{u}\} + \{f\} = 0 \quad (10)$$

où

$[L(\underline{u})]$: représente l'ensemble des opérateurs différentiels du modèle mathématique

Nous procédons à la formulation intégrale du résidu qu'on pondère par la première variation des inconnues du problème: $\delta\underline{u}$ (méthode de Galerkin)

$$W = \int_A \langle \delta\underline{u} \rangle \{R(\underline{u})\} dA = 0 \quad \forall \delta\underline{u} \quad (11)$$

avec

$$\{\delta\underline{u}\} = \langle \delta u, \delta v, \delta h \rangle^T \quad (12)$$

Quel que soit $\delta\underline{u}$, la fonctionnelle W doit s'annuler si \underline{u} est la solution du problème.

Le modèle variationnel de l'équation de continuité a été élaboré dans sa forme dite "faible" de manière à accepter une bathymétrie discontinue (problème de surcreusement de lits de rivières) et à permettre l'imposition d'un débit à certaines frontières ouvertes (voir 2.2.3)

¹ $\{ \}$ signifie un vecteur-colonne
 $\langle \rangle$ signifie un vecteur-ligne
 $\langle \underline{u} \rangle$ signifie les inconnues $\langle u, v \text{ et } h \rangle$ du problème.

² Équations aux dérivées partielles.

2.3.2 Forme discrétisée

En pratique, le modèle variationnel apparaît sous une forme discrétisée en utilisant l'approximation par éléments finis des variables u et de leur première variation δu . Notre approche consiste à utiliser comme élément de base un triangle à 6 noeuds tel que montré à la figure 2.4.

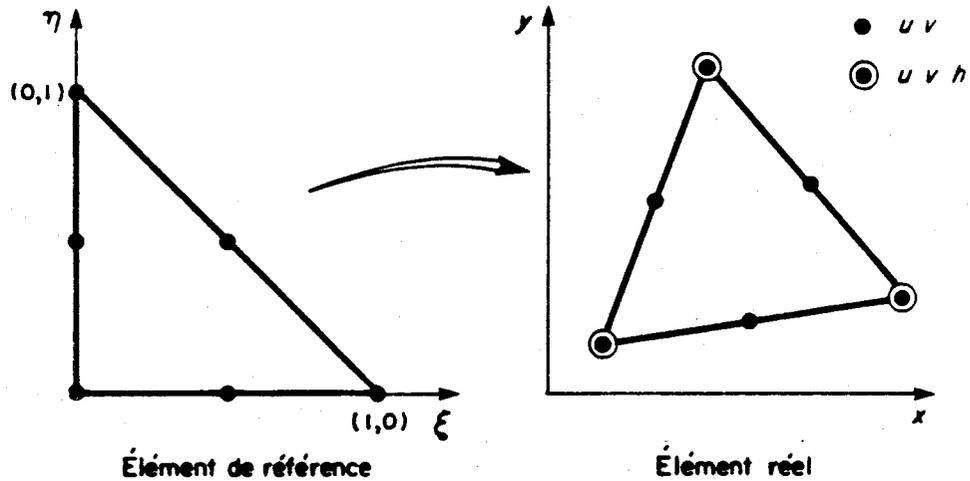


Figure 2.4: Discrétisation par éléments finis et approximation des variables du modèle hydrodynamique

Les variables $u(x,y)$, $v(x,y)$ et $h(x,y)$ et leur première variation sont représentées dans le modèle variationnel par une approximation nodale ou fonction d'interpolation dans laquelle les variables inconnues sont les paramètres. Ainsi:

$$\begin{aligned}
 u(x,y) &= \langle N(x,y) \rangle \{u_n\} & \text{et} & & \delta u(x,y) &= \langle N(x,y) \rangle \{\delta u_n\} \\
 v(x,y) &= \langle N(x,y) \rangle \{v_n\} & & & \delta v(x,y) &= \langle N(x,y) \rangle \{\delta v_n\} \\
 h(x,y) &= \langle N_h(x,y) \rangle \{h_n\} & & & \delta h(x,y) &= \langle N_h(x,y) \rangle \{\delta h_n\}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

où

$\langle N(x,y) \rangle$ sont les fonctions d'interpolation des vitesses
 $\langle N_h(x,y) \rangle$ les fonctions de la hauteur d'eau

Notre approche consiste à utiliser une approximation quadratique ($n = 6$) pour les vitesses et linéaire ($n = 3$) pour la hauteur d'eau. Ce choix permet de respecter la condition dite "LBB", nécessaire pour assurer la stabilité du modèle et éviter des oscillations dans les résultats. La géométrie du domaine est habituellement prise en compte sur un élément de référence à géométrie unitaire. La transformation du modèle de l'élément de référence à l'élément réel s'effectue à l'aide d'une transformation géométrique isoparamétrique à la hauteur d'eau

$$\langle x, y \rangle = \langle \bar{N}(\xi, \eta) \rangle \left[\left\{ \begin{matrix} x_n \\ y_n \end{matrix} \right\} \right]_{n=3} \quad (14)$$

avec

$$\langle \bar{N}(\xi, \eta) \rangle = \langle N_h(\xi, \eta) \rangle$$

L'approximation de la bathymétrie (h') est linéaire avec des fonctions d'interpolation identiques à celles utilisées pour $h(x, y)$. Après que u et δu soient remplacées par leur approximation nodale sur chaque élément du domaine, nous obtenons des systèmes algébriques matriciels élémentaires qu'il faudra par la suite assembler dans un système global:

$$[M]\{\dot{U}\} + [K(U)]\{U\} + \{F\} = 0 \quad (15)$$

où

- [M] : matrice masse
- {U} : vecteur global des inconnues du problème
- {R} : vecteur résidu
- [K(U)] : matrice globale.

2.3.3 Méthode de résolution

La résolution temporelle du problème est assurée par un schéma d'Euler implicite où

$$\{\dot{U}_{t+\Delta t}\} = \frac{1}{\Delta t} (\{U_{t+\Delta t}\} - \{U_t\}) \quad (16)$$

où Δt est la discrétisation du temps.

La non linéarité reliée aux termes convectifs et de frottement se calcule par un processus itératif de type Newton-Raphson. Combiné à (16) cela revient à calculer:

$$\begin{aligned} \{U^i\} &= \{U^{i-1}\} + \{\Delta U^i\} \\ \text{avec } [K_{n1}] \{\Delta U^i\} &= \{R_{n1}\} \end{aligned}$$

et

$$\begin{aligned} \{R_{n1}\} &= \Delta t (\{F_{t+\Delta t}\} - [K(U_{t+\Delta t}^{i-1})] \{U_{t+\Delta t}^{i-1}\}) \\ &\quad + [M] (\{U_t\} - \{U_{t+\Delta t}^{i-1}\}) \end{aligned} \quad (17)$$

$$[K_{n1}] = [\bar{K}] + \Delta t \left[\frac{\partial K}{\partial U} \cdot U \right]_{t+\Delta t}^{i-1}$$

où

U^i : valeur de U à l'itération i

ΔU^i : mise à jour de la solution

$[\bar{K}]$: $[M] + \Delta t[K]$

L'approche de la modélisation par éléments finis est illustrée globalement à la figure 2.5

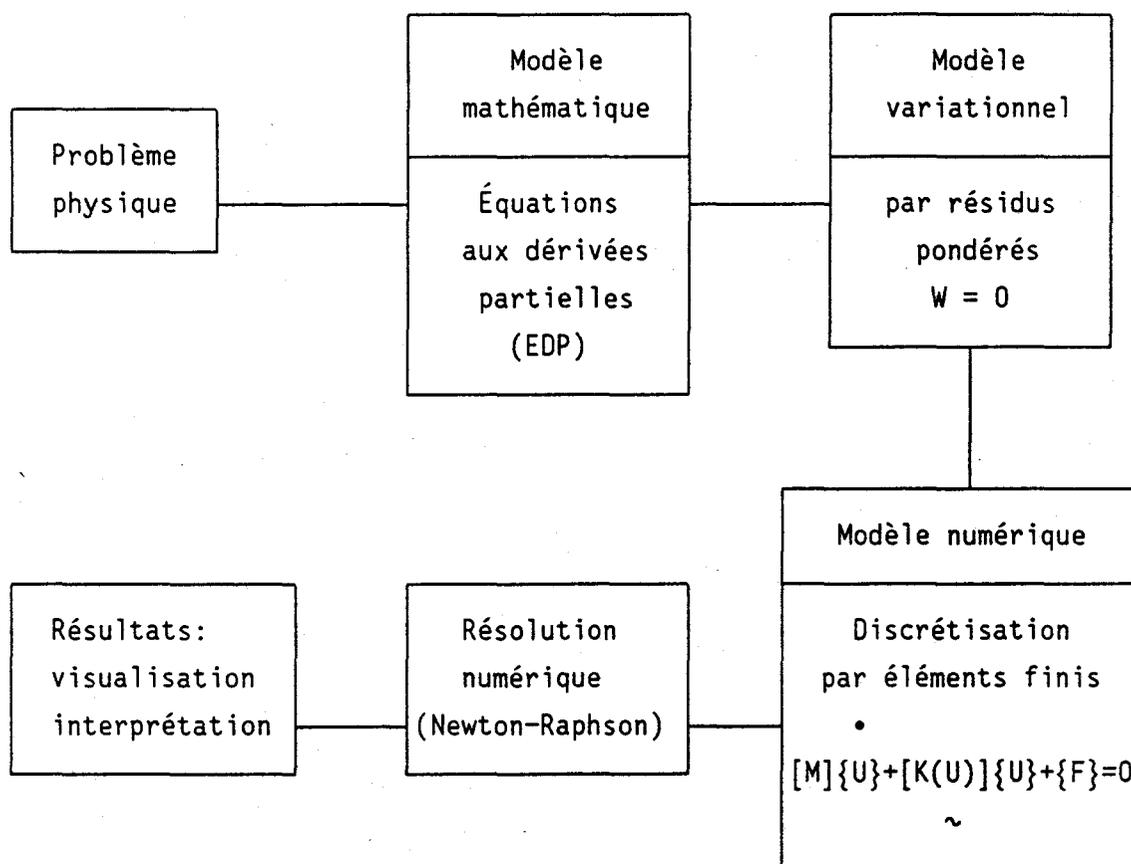


Figure 2.5: Résumé de la méthode numérique

2.3.4 Modèle hydrodynamique en bref

Nous avons regroupé ici les caractéristiques de base du modèle hydrodynamique de MEFLU-2.0:

- le modèle de base est celui en "eau peu profonde" ("shallow water equations"); il est décrit par les équations de Saint-Venant;
- les variables sont les vitesses moyennes sur la verticale et la hauteur d'eau;
- la pression est considérée comme hydrostatique (onde longue);

- tous les effets de la turbulence verticale sont négligés;
- l'approximation par éléments finis utilise des triangles à 6 noeuds (T-6);
- les vitesses sont représentées par une approximation quadratique et la hauteur par une forme linéaire (continuité de type C_0);
- la méthode de Newton-Raphson est utilisée pour résoudre le système non-linéaire;
- la méthode d'Euler implicite permet la résolution non-stationnaire;

Ce modèle est bien adapté pour étudier les régimes permanents et non-permanents dans les rivières, les fleuves et les estuaires;

2.4 Modèle numérique de transport-diffusion

2.4.1 Le problème

La discrétisation du phénomène de dispersion pure ne pose pas de problème particulier. En effet, l'élimination des termes convectifs conduit à une formulation du type Poisson dont la résolution discrète par diverses méthodes numériques est bien maîtrisée.

À l'opposé, la résolution numérique d'un phénomène de transport prédominant se heurte à un comportement communément appelé diffusion numérique. Il est possible de démontrer à l'aide de la discrétisation par différences finies qu'à mesure que l'influence relative de la diffusion s'amenuise, c'est-à-dire que le nombre de Peclet augmente, une diffusion numérique apparaît à cause de l'impossibilité de représenter un fort gradient avec un certain pas de discrétisation. Il en résulte que les noeuds voisins se voient affectés de valeurs erronées.

Pour remédier à cette situation, le schéma de discrétisation spatiale doit en quelque sorte être ajusté en fonction de la position et de l'intensité des forts gradients. Ceci peut se faire par relocalisation des points de discrétisation ou bien par décalage du schéma numérique. À l'instar de Löhner et al (1983), nous avons opté pour la deuxième solution en choisissant une pondération de Taylor-Galerkine dans la formulation intégrale discrète (voir l'annexe 2 de Leclerc et al, 1985).

2.4.2 Discrétisation de la forme intégrale

L'utilisation de fonctions d'interpolation linéaire sur un élément triangulaire à trois noeuds conduit à la forme discrète du modèle. Notre approche s'appuie sur le même maillage que le modèle hydrodynamique de manière à minimiser les opérations de pré-traitement. L'élément T-6 devient alors un super-élément à 4 composantes T-3 (figure 2.6).

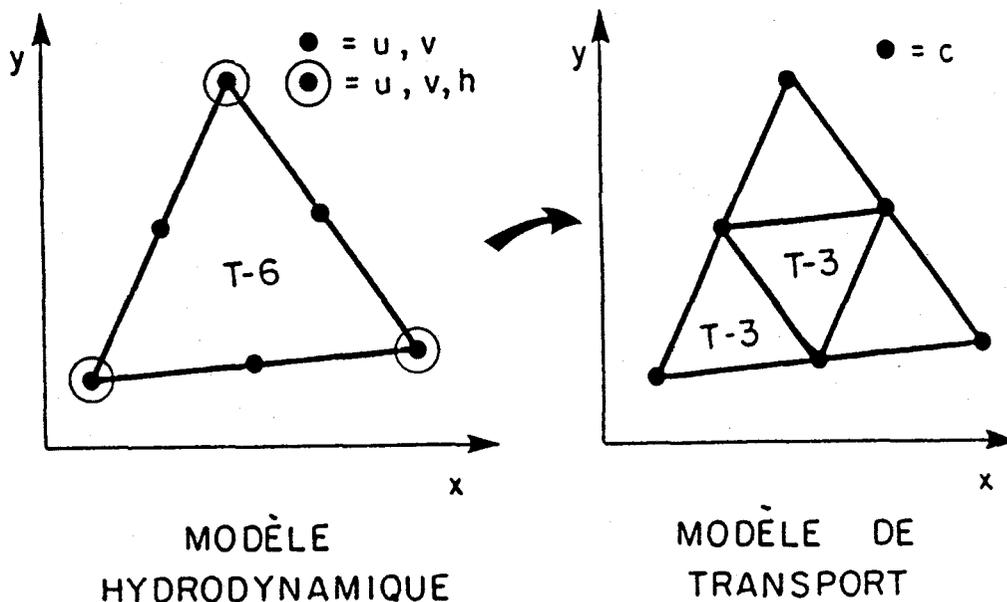


Figure 2.6: Transformation du maillage hydrodynamique pour le transport-diffusion

2.5 Problème du découverture-recouvrement

2.5.1 Présentation du problème

Les fortes variations temporelles du niveau d'eau qui caractérisent le milieu estuarien obligent la prise en compte du processus de découverture et de recouvrement des berges et des hauts fonds. L'écoulement y est généralement chenalisé et la présence de battures à marée basse restreint la zone de passage des eaux. Les limites géométriques du milieu naturel varient continuellement, ce qui affecte évidemment l'écoulement et sa prise en compte par les modèles.

La résolution numérique de ce problème pose de grandes difficultés à cause de la discontinuité des processus à la frontière et de la mobilité de celle-ci. Quelques tentatives ont été présentées dans la bibliographie et n'ont connu qu'un succès mitigé.

Ainsi, certaines méthodes considèrent deux types d'éléments dans la description de l'état du milieu discrétisé (figure 2.7)

- les éléments inondés;
- les éléments exondés.

C'est la technique du "mur". L'inconvénient principal de celle-ci est le non-respect de la conservation de masse. En effet, un élément exondé est brusquement inondé par le rehaussement du niveau d'eau et le volume d'eau impliqué est introduit artificiellement dans le modèle. Corrolairement, un élément inondé est exondé sans transition soustrayant artificiellement un volume d'eau non-négligeable du bilan de masse. Cet inconvénient est particulièrement ressenti lors de l'application subséquente du modèle de transport-diffusion lequel est très sensible au problème de la continuité.

Notre approche s'appuie sur une analyse minutieuse du problème au cours du processus de résolution en tenant compte de lois de comportement spécifiques aux diverses phases du processus et de la discrétisation du

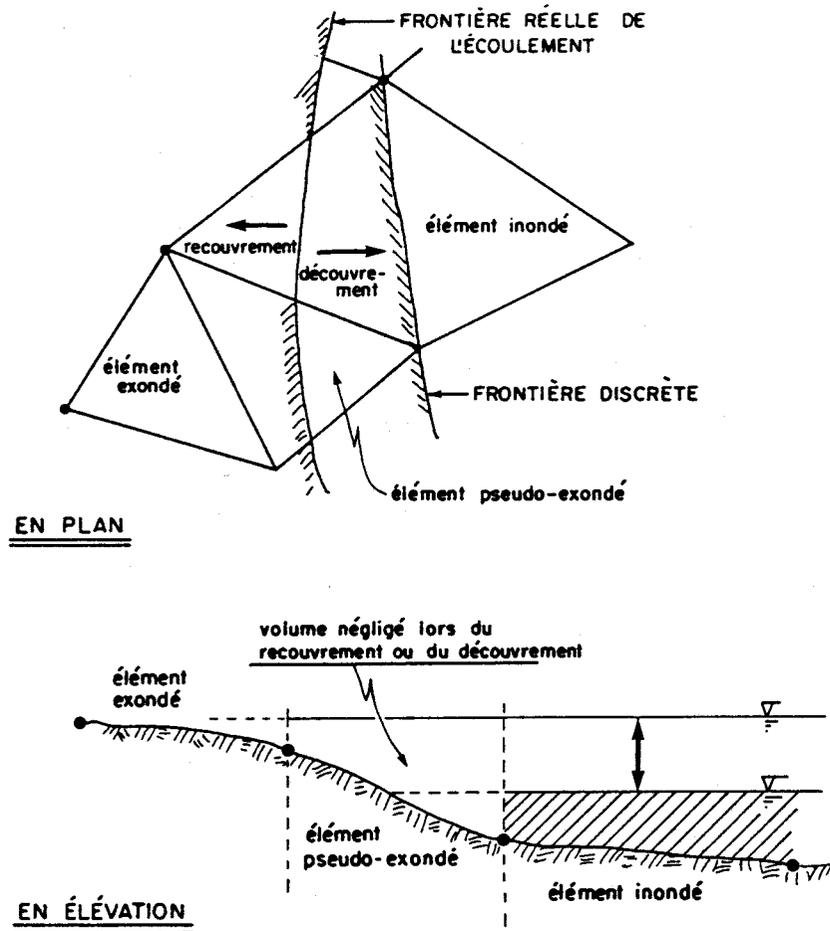


Figure 2.7 Approche à deux types d'éléments du problème du couvrant-découvrant (technique dite "du mur")

problème. Le principe de continuité est à la base de l'approche:

- conservation de la masse
- continuité du champ de vitesse.

Trois types d'éléments sont utilisés

- les éléments inondés
- les éléments partiellement couverts
- les éléments exondés.

Le deuxième type sert d'élément de transition dans le processus de découvrement-recouvrement. Celui-ci est composé de noeuds dits "secs" et d'autres "mouillés" (figure 2.8).

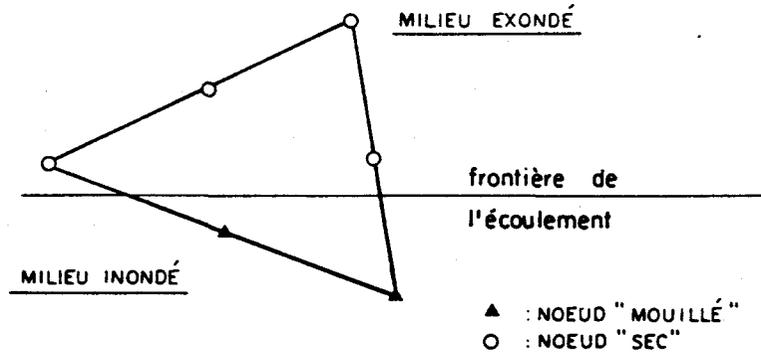


Figure 2.8: Description des éléments partiellement couverts

2.5.2 Équations décrivant l'approche

a) éléments inondés

Les équations d'équilibre décrites antérieurement s'appliquent intégralement.

b) éléments exondés en totalité

Un noeud est exondé lorsque la cote numérique du niveau d'eau devient plus basse que celle de la bathymétrie (figure 2.9)

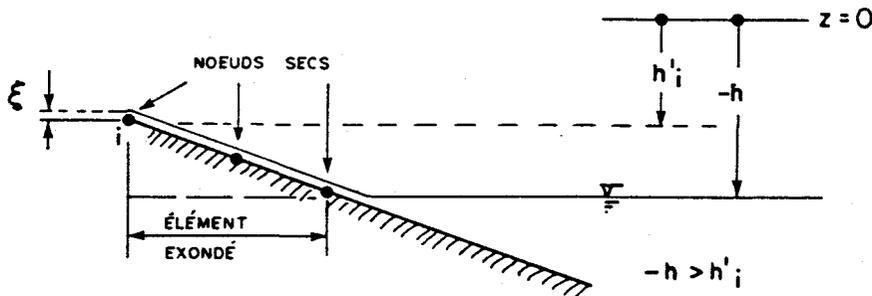


Figure 2.9: Description de l'élément exondé

Lorsque l'élément devient totalement exondé (6 noeuds découverts) il n'y a plus d'écoulement sur celui-ci. Les vitesses sont alors imposées à une valeur très faible (techniquement nulle).

$$\beta u_i = \epsilon \quad \text{avec } \beta \quad \text{très grand } (\approx 10^6) \quad (18)$$
$$\epsilon \quad \text{très petit } (\approx 10^{-3})$$

et

$$h = -h' + \epsilon \quad (\epsilon \text{ arbitraire}) \quad (19)$$

c) Eléments partiellement couverts

La formulation d'un système d'équations pour les éléments partiellement couverts constitue un problème de taille et implique une connaissance approfondie du modèle hydrodynamique et de son comportement numérique. Parce que la ligne d'énergie est difficile à évaluer sur ces éléments, certains termes doivent être exclus du système d'équations standards.

Les objectifs de la formulation sont de:

- satisfaire intégralement l'équation de continuité;
- faciliter le processus de découvrément ou de recouvrément;
- obtenir un profil de vitesse naturel, cohérent et en continuité par rapport au milieu totalement mouillé;
- obtenir un schéma de résolution robuste.

Les équations retenues sur l'élément partiellement couvert sont:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - \nu_{pc} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \nu_{pc} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0 \quad (20a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - \nu_{pc} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \nu_{pc} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = 0 \quad (20b)$$

(équilibre réduit des forces)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial H u}{\partial x} + \frac{\partial H v}{\partial y} = 0 \quad (21)$$

(continuité)

ν_{pc} est une viscosité turbulente spécifique à l'élément partiellement couvert

avec

$$\nu_{pc} = \alpha \cdot \nu_T \quad (22)$$

α : un coefficient d'ajustement (en principe = 1)

Ce schéma est surtout dicté par des considérations numériques imposées par la discontinuité de la frontière, sa mobilité et l'absence d'information précise pendant une transition de recouvrement ou de découvrment. Cette approche vise surtout à propager au sein de l'élément partiellement couvert la structure d'écoulement qui caractérise le milieu environnant couvert, en respectant le bilan de masse et les accélérations locales.

La distinction au sein d'un élément entre les noeuds exondés et inondés s'effectue par une analyse locale du niveau d'eau. Les noeuds secs se voient attribuer une vitesse techniquement nulle par une méthode de pénalisation locale de cette variable (équation 18).

2.5.3 Algorithme d'analyse transitoire

La clef du problème consiste en la détermination de l'état des noeuds et des éléments entre chaque pas de temps. Les tendances de recouvrement ou de découvrment sont détectées à partir de critères basés sur des hauteurs d'eau admissibles et de marges de manoeuvre. La gestion de l'ensemble est assurée par un programme d'analyse transitoire (subroutine ÉTUDE) des éléments dont la fonction est triple.

- faire le bilan des noeuds secs sur chaque élément;
- associer un système d'équations à résoudre à chaque élément;
- vérifier les tendances sur les éléments partiellement découverts en vue d'une désactivation ou d'une réactivation des degrés de liberté.

2.6 Méthode d'analyse et de comparaison des résultats

Une fois les simulations réalisées pour un ensemble d'états-cibles de référence, une méthode efficace d'analyse comparative doit être utilisée pour identifier les changements susceptibles de survenir dans le milieu pendant la construction des pylônes (jetées temporaires) et les évaluer à la lumière des connaissances actuelles sur le comportement migratoire du poulamon atlantique.

La problématique peut se résumer par ces deux interrogations:

1. La présence temporaire de jetées sur l'estran du fleuve représente-t-elle un obstacle significatif à la remontée du poulamon en période de frai?
2. Les modifications du comportement hydrodynamique du fleuve risquent-elles de perturber l'avalaison des jeunes spécimens au printemps par la présence de tourbillons stationnaires?

L'interprétation des résultats est essentiellement visuelle. Six modes de visualisation sont utilisés, chacun mettant en évidence un aspect particulier des résultats des simulations. Les images (voir les annexes infographiques) produites avec HYGRAF un logiciel développé à l'Université Laval, contiennent:

1. les vecteurs-courants (noir sur blanc);
2. le module de la vitesse du courant (couleur);
3. le taux de dilution de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve (couleur);
4. l'intersection du module de la vitesse et de la profondeur totale d'eau (couleur);
5. l'intersection du module de la vitesse et du taux de dilution des eaux de la Sainte-Anne (couleur);
6. la profondeur totale (couleur).

Les modes 1, 2, 3 et 6 n'ont pas à être précisés. Les modes 4 et 5 permettent d'exprimer sur le même dessin deux informations simultanées classées selon leur signification environnementale vis-à-vis du poulamon atlantique. On définit d'abord des limites d'intervalles de classification pour la vitesse du courant, la dilution des eaux de la rivière Sainte-Anne et la profondeur totale d'eau. On trouvera au tableau 2.1 les valeurs utilisées pour la présente étude. Ces valeurs reflètent au meilleur de notre connaissance un partage en conditions favorables et défavorables pour le poulamon atlantique. En ce qui concerne le courant, la valeur de la vitesse n'a de sens que dans la mesure où celui-ci est orienté vers l'aval, c'est-à-dire, à l'encontre de la direction de la migration. La visualisation par intersection permet de mettre en évidence les zones de l'écoulement plus propices aux fonctions biologiques visées par l'analyse. Dans le cas présent, il s'agit de la capacité natatoire et du comportement migratoire du poulamon.

Tableau 2.1 Intervalles de classes pour l'analyse thématique par intersection des résultats du modèle

Variable	Intervalles de classification			
Vitesse d'écoulement [m/s]	0,0	0,3	0,8	1,5 et plus
Facteur de dilution de la rivière Sainte-Anne []	0,0	0,5	0,75 et plus	
Profondeur totale [m]	0,0	1,0	3,0 et plus	

CHAPITRE 3

DESCRIPTION¹ DU MILIEU PHYSIQUE

¹ Cette section du rapport, tirée de la bibliographie, a été colligée et rédigée par les "Consultants Saint-Laurent".

3.1 Présentation

Un certain nombre de documents traitent des connaissances acquises sur le milieu estuarien du Saint-Laurent, de l'embouchure de la rivière Sainte-Anne à Lotbinière. Ceux-ci ont été analysés selon plusieurs points de vue dans le cadre des études d'avant-projet ou des études d'impacts relatives à la traversée des lignes électriques dans ce secteur. La revue bibliographique élaborée ici dégage spécifiquement les connaissances actuelles sur les processus sédimentaires agissant dans ce milieu. A cette fin, les conditions hydrodynamiques seront présentées d'abord, suivies par la disponibilité et la qualité des sédiments. Enfin, les conséquences de la présence des jetées nécessaires pendant la période des travaux sont étudiées par analogie avec des structures comparables que l'on rencontre dans cette partie de l'estuaire du Saint-Laurent.

3.2 Hydrodynamique du milieu

Le Saint-Laurent présente de nombreuses difficultés pour qui veut étudier ses caractéristiques hydrodynamiques. L'importance des apports associée à la largeur des sections font que des données aussi fondamentales que le débit ou la charge solide en suspension ne sont connus qu'avec une bonne marge d'imprécision. Dans la région allant de l'embouchure de la rivière Sainte-Anne à Lotbinière, la propagation de la marée rend l'écoulement non permanent. Cela complique beaucoup les mécanismes actifs dans ce secteur.

La marée astronomique (celle que l'on peut prédire) est un phénomène très variable dans le temps. Elle est de plus soumise à des fluctuations importantes causées par les vents forts et les changements de pression atmosphérique. Ces mécanismes aléatoires peuvent amplifier les marées prédites ou au contraire les atténuer. On peut citer l'exemple de Québec afin de donner un ordre de grandeur à ces perturbations: les écarts y atteignent plusieurs fois par année un mètre d'eau en plus ou en moins. Ces fluctuations sont transmises vers l'amont de

l'estuaire. Dans le secteur étudié, elles sont d'autant plus présentes que l'onde de marée s'y retrouve fortement atténuée.

La propagation de la marée vers l'amont dépend également des forces que lui oppose le débit fluvial. Si le fleuve présente une crue étalée aux mois d'avril et de mai, ses affluents réagissent avec beaucoup plus de rapidité à la fonte des neiges. La crue printanière affecte de façon marquée la région étudiée en y surélevant le niveau moyen de l'eau.

Les courants produits en réaction aux variations de la marée et des apports des bassins versants intègrent toutes ces influences en plus de réagir directement aux vents, à la surface de l'eau. L'interprétation des mesures de courant existantes est rendue difficile à cause de ces interrelations complexes qui sont rarement présentées et discutées dans les rapports disponibles. Il convient de noter qu'à l'amont des rapides Richelieu (situés en aval de Lotbinière), un seuil rocheux reliait autrefois les deux rives. Lors de la construction du chenal maritime, ce seuil a été dragué et la profondeur y est maintenant de 10,7 m sous le zéro des cartes. Cette amélioration de la sécurité maritime a pu faciliter la transmission de l'onde de marée et augmenter les courants dans le secteur étudié, à la fois pour le flot et pour le jusant.

3.2.1 Le débit fluvial

A cause de l'importance des Grands Lacs dans l'ensemble du bassin versant du Saint-Laurent, le débit du fleuve est régularisé de façon très efficace. En moyenne, le rapport du débit de crue sur le débit d'étiage se situe en dessous de 2 (Verrette et Robitaille, 1973). En aval du Saint-Maurice, les débits moyens mensuels tenant compte des affluents, varient de 10 000 m³/s à 15 600 m³/s selon les calculs du ministère de l'Environnement du Québec.

Cette régularisation des débits ne s'applique évidemment pas aux affluents du Saint-Laurent. Par exemple, les apports de crue peuvent atteindre 60 fois ceux mesurés en étiage pour la rivière Bécancour (Verrette et Frenette, 1980). À la sortie du lac Saint-Pierre, les

niveaux varient en moyenne de 0,6 m en septembre à 0,2 m en avril par rapport au zéro de référence des Grands Lacs (Long et al, 1980). On voit donc que la régularisation des débits se traduit néanmoins par des écarts importants dans les niveaux d'eau pour certaines sections du fleuve. Si on considère que le lit du fleuve se compose d'un chenal profond entre deux estrans pouvant atteindre de grandes largeurs, une augmentation de la profondeur moyenne se traduit par une grande variation de la section d'écoulement considérée. Entre étiage et crue, l'augmentation de la section de l'écoulement vis-à-vis du chenal représentera environ 10%, mais celle au-dessus des estrans pourra atteindre près de 100%. Cette forte variation de la section intervient pour limiter les vitesses au moment des crues.

3.2.2 La marée

La marée qui se propage à l'amont de l'estuaire du Saint-Laurent est du type semi-diurne (donc avec une période de 12,4 h). L'amplitude varie principalement sous l'influence des deux composantes M2 et S2 dont le battement provoque les marées de vive-eau (lorsque M2 et S2 sont en phase) et de morte-eau (lorsqu'elles sont en opposition de phase). La périodicité de ce battement est de deux semaines.

Associé au cycle de morte-eau et de vive-eau, on observe une variation du niveau moyen de l'eau. Celui-ci augmente en allant vers les grandes marées et, au contraire, diminue en allant vers les petites marées. Cette tendance devient extrême à Trois-Rivières où elle est supérieure aux oscillations de la marée semi-diurne (Godin, 1979; Leblond, 1979). A cause de la marée, le volume d'eau contenu dans la partie amont de l'estuaire est sujet à des fluctuations. Il se remplit et se vide selon une période de deux semaines en plus d'être le siège d'oscillations semi-diurnes.

L'onde de marée se déforme en remontant l'estuaire car la vitesse de propagation de la haute mer est supérieure à celle de la basse mer. L'intervalle de temps entre la basse et la haute mer (flot) devient

donc de plus en plus court alors que c'est l'inverse entre la haute et la basse mer (jusant). À Trois-Rivières, on observe seulement deux heures de montant pour 10 heures de baissant et à Grondines, 4 heures de montant pour 8 heures de baissant. A partir de Deschaillons, l'onde de marée est fortement ralentie par rapport à l'aval (Godin, 1979).

En calculant par continuité l'influence de la marée moyenne à diverses sections de l'estuaire, Forrester (1972) montre qu'au niveau de Deschaillons, le rapport du débit marégraphique moyen sur le débit fluvial moyen est de 0,60. Ce même rapport est proche de 0,90 au niveau de Lotbinière (Pelletier, 1982). Cet écart important est directement associé à l'amortissement de l'onde de marée dans le secteur étudié. Pour deux sections d'écoulement comparables à l'amont et à l'aval du domaine, les courants seraient donc systématiquement plus élevés à l'aval qu'à l'amont du domaine.

3.2.3 Les courants

On dispose d'un certain nombre de mesures des courants dans le secteur étudié (Dohler, 1961; Frenette et Verrette, 1976; Long et al, 1980). Les Instructions Nautiques (Service Hydrographique du Canada, 1985) montrent des mesures dans le chenal maritime où l'influence des marées moyenne et de vive-eau apparaît (fig. 3.1). Bien que cela ne soit pas mentionné, les mesures ne sont probablement pas simultanées. On observe des variations spatiales importantes - en particulier à Portneuf où le flot est tout particulièrement allongé. Dans le domaine étudié, les intensités des courants ne varient pas de façon régulière, en croissant de l'amont vers l'aval, mais passent par un maximum à Deschaillons. De plus, les courants à Batiscan ne sont que légèrement plus faibles que ceux mesurés à Grondines.

Pour expliquer ces mesures, Pelletier (1982) mentionne que la pente du lit varie de 0,092 m/km de Batiscan au cap à la Roche (à 1 km en amont du quai de Deschaillons), puis de 0,059 m/km du cap à la Roche à Grondines.

De plus, il faut remarquer que le chenal s'approfondit et s'élargit au niveau de Grondines alors qu'à Batiscan et à Deschaillons, le chenal est maintenu à 10,7 m de profondeur seulement. Dès que l'on sort du chenal, les eaux sont peu profondes à Deschaillons (ce qui renforce bien sûr les courants mesurés dans le chenal à cet endroit). A Batiscan, par contre, la profondeur se maintient à 7 m sur environ 4 fois la largeur du chenal de navigation. Ces observations sont nécessaires pour expliquer les écarts des vitesses mesurées par rapport à ce qui était initialement prévu - c'est-à-dire, un renforcement des courants vers l'aval.

Sur la Figure 3.1, les courants s'inversent jusqu'à Batiscan pour les marées de vive-eau, mais les débits en provenance du bassin versant au moment de ces mesures ne sont pas mentionnés. L'ensemble du domaine (celui du modèle) peut donc être soumis à des renversements de courants. Cela se produira au moins lorsque le débit du Saint-Laurent est faible et que l'amplitude à marée haute dépasse celle des marées moyennes. A Grondines, la marée moyenne est définie par une amplitude de 1,9 m et elle atteint un niveau de 3,2 m à marée haute. Ces valeurs sont définies par rapport au zéro des cartes à Grondines qui est à 0,2 m en dessous du niveau de référence des Grands Lacs. Mais il faut se souvenir que les niveaux moyens sont fortement influencés par le débit du Saint-Laurent. Les valeurs mentionnées pour la marée moyenne ne sont donc pas absolues mais dépendent des apports du bassin versant.

L'écoulement qui se produit en-dehors du chenal est beaucoup moins bien connu. Les courants le long des rives peuvent réagir à des conditions complexes et donc évoluer de façon plus ou moins indépendante de celles du chenal. En particulier, l'écoulement au-dessus des estrans sera influencé par les vents forts qui soufflent habituellement vers l'amont ou vers l'aval de l'estuaire.

À cause des grandes dimensions du domaine étudié qui représente un couloir de près de 60 km², une vision globale des écoulements non

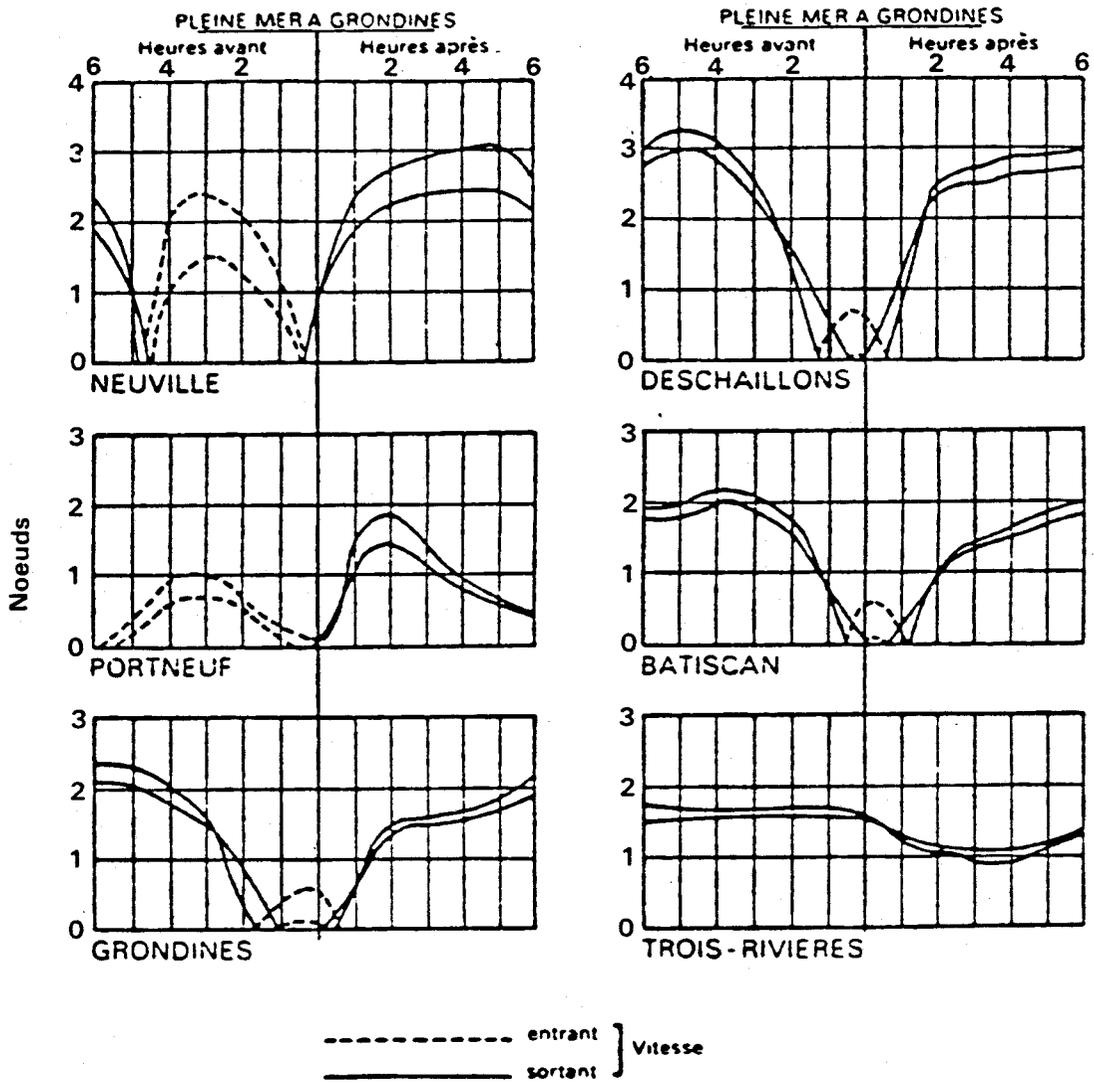


Figure 3.1: Courants mesurés dans le chenal de navigation à 3 mètres sous la surface en marée moyenne et en marée de vive-eau. (Tiré des Instructions Nautiques, Golfe et fleuve Saint-Laurent)

permanents ne peut s'obtenir qu'avec une modélisation. Les grandes variations temporelles (débit d'eau douce, marée prédite et marée perturbée par les conditions météorologiques) exigeraient des mesures en beaucoup de points éloignés avec un très bon contrôle des conditions naturelles. Pour décrire globalement le domaine, la modélisation paraît une approche beaucoup moins coûteuse que les mesures en nature.

3.3 Les sédiments

Pour l'ensemble du domaine modélisé, les apports sédimentaires sont d'origine locale (par érosion des falaises et apports des tributaires) ou en provenance de l'amont du bassin versant. La faible renverse des courants ne permet pas de transport réellement efficace des sédiments de l'aval vers l'amont. Les apports du bassin versant proviennent à environ 70% des Grands Lacs (Pelletier, 1982).

Verrette et Frenette (1980) ont décrit l'ensemble des connaissances sédimentaires pour la région située immédiatement à l'amont du domaine étudié. Les informations qu'ils citent restent pertinentes pour le secteur qui nous concerne bien que la marée se fasse de plus en plus présente. Son rôle n'est pas à négliger pour autant car elle intervient principalement dans le mélange des différentes masses d'eau en présence. Celui-ci devient de plus en plus efficace lorsqu'on se dirige vers l'aval.

On observe que les affluents du Saint-Laurent ont leurs eaux rabattues le long des deux rives et que le mélange avec les eaux du fleuve s'effectue lentement. Pour mesurer ce phénomène, la conductivité est un paramètre suffisamment stable dans le temps. Elle permet de distinguer les eaux en fonction de leurs bassins versants respectifs avec une bonne précision.

À la hauteur de Gentilly, on retrouve une zone occupée par les eaux en provenance des Grands Lacs et non encore affectée par les affluents. En crue, cette zone représente environ 30% du débit du fleuve en aval

du Saint-Maurice et 60% en étiage. Cette zone n'est pas fixe. Elle s'approche de la rive sud en étiage et s'en éloigne en crue. L'importance des eaux non mélangées en provenance des Grands Lacs dépend des débits relatifs du fleuve et de ses affluents (Verrette et Frenette, 1980). Des mesures effectuées, il ressort que les différentes masses d'eau sont homogènes verticalement; aucune stratification n'est observée. Cette information est importante car elle justifie entièrement l'emploi d'une modélisation intégrée suivant la verticale et les mesures par télédétection.

Ces distinctions concernant l'origine des eaux sont importantes pour présenter les mécanismes sédimentaires car le Saint-Laurent ne réagit pas du tout comme ses affluents aux épisodes de crue. Or, c'est en crue que la plus grande partie des apports sédimentaires s'effectue.

3.3.1 Apports en suspension

Pour le Saint-Laurent, l'analyse de 2 500 échantillons journaliers montre que la charge moyenne en suspension est de 10 mg/L et qu'elle est dans 99% des cas inférieure à 40 mg/L. Des mesures complémentaires sur presque 700 échantillons prélevés en 1979 ont confirmé ces observations (Verrette et Frenette, 1980). La charge solide des eaux du fleuve est faible d'une part et relativement constante d'autre part.

Pour les affluents, 80% de l'activité sédimentaire annuelle totale se produit au moment de la crue associée à la fonte de la neige (en mars, avril ou mai, selon la position des bassins versants). A cette période, les concentrations mesurées ont atteint jusqu'à 2 000 mg/L pour certains tributaires. Une seconde période d'activité est observée de juillet à novembre. En juin et de décembre à février, les tributaires ont des charges sédimentaires faibles, comparables à celles du fleuve (Verrette et Frenette, 1980). Au niveau de Gentilly, les tributaires en crue peuvent donc contribuer aux apports sédimentaires de façon beaucoup plus importante que le fleuve lui-même. Comme leurs eaux sont rabattues le long des rives du Saint-Laurent, les apports sédimentaires devraient logiquement se retrouver à ces endroits si les conditions sont favorables à la sédimentation.

3.3.2 Charriage de fond

Jusqu'à maintenant, seule la charge en suspension a été étudiée. Il existe également un charriage de fond mais celui-ci varierait de 50 à 500 tonnes/jour et serait donc très inférieur au transport en suspension (Frenette et Verrette, 1976). Cependant, toutes les rivières du secteur de Gentilly jusqu'à la rivière Sainte-Anne possèdent des panaches sédimentaires sableux bien développés. Ces sables déposés dans le lit du Saint-Laurent sont mobiles dans des conditions de forte hydraulité. Ils forment des dunes dans le chenal mais se rencontrent également sur les estrans. Ces sables sont en équilibre avec les conditions hydrodynamiques actuelles (Pelletier, 1982).

Les sables représentent le faciès le plus abondant rencontré dans l'estuaire fluvial. À la sortie de la rivière Sainte-Anne, ils forment des mégarides (de longueur d'onde variant de 10 à 30 m) dans des profondeurs d'eau variant de 2 à 5 m. Les pentes les plus fortes s'observent vers l'aval jusqu'au niveau de Grondines; le transport des sables est donc dirigé dans cette direction. On rencontre également des vagues sableuses de longueur d'onde variant de 30 à 50 m et de forte amplitude (4 à 5 m) de part et d'autre de la pointe des Grondines au nord du chenal et près de la rive sud au niveau du cap Charles (Pelletier, 1982).

3.3.3 Disponibilité des sédiments

La disponibilité des sables et des particules fines est donc assurée dans l'ensemble du domaine étudié. Cependant, peu de dragages sont réellement nécessaires même si, pour la sécurité de la navigation, des travaux sont effectués chaque année. De l'aire d'ancrage de Batiscan, on retire en moyenne 35 000 m³ de sables fins chaque année. Sa position à l'extérieur d'une courbe du chenal maritime est probablement favorable à de tels apports (Claude Pilon, communication personnelle). Dans le chenal de navigation, aucun entretien ne s'avère nécessaire, ni pour la sédimentation fine ni pour les sables. Par contre, des mesures préventives sont effectuées chaque année afin de garantir la profondeur

minimale de 10,7 m dans le chenal de navigation. Pour cela, on effectue des travaux de dragage en aval de Deschaillons (près du cap Charles) et au niveau de Lotbinière. Il semble que ces travaux visent principalement à enlever les roches erratiques que les glaces auraient pu déplacer, car le substrat à ces deux endroits est rocheux et pratiquement aucun sable n'est associé aux matériaux dragués (Jacques Gosselin, communication personnelle).

3.3.4 Qualité des sédiments

Les études d'impacts relatives au secteur du Saint-Laurent étudié décrivent la qualité des sédiments de fond que l'on retrouve à cet endroit. On sait que les particules fines adsorbent les polluants organiques et les métaux lourds et que, de ce fait, on ne peut les remettre en suspension sans étudier préalablement les problèmes environnementaux possibles. Les sables, quant à eux, fixent naturellement très peu de polluants; ils sédimentent également beaucoup plus vite que les particules fines et en cas de remise en suspension leurs déplacements sont donc beaucoup plus limités.

Boudreault et al. (1985) mentionnent que les données les plus récentes concernant la qualité des sédiments proviennent d'échantillons prélevés au site de la future marina de Lotbinière. La plupart des valeurs n'excèdent pas les critères d'acceptabilité sauf celle du phosphore total (Tableau 3.1). Aucune trace de pesticides ou de BHC n'a été relevée. Par contre les BPC sont présents mais à une concentration inférieure à la norme d'acceptabilité.

Des mesures ont également été prises avant d'effectuer les dragages d'agrandissement au quai de Bécancour. Pour ces sédiments, on dispose en plus de tests d'élutriation qui montrent le transfert des polluants des sédiments à l'eau au moment de la remise en suspension. À Bécancour, les sédiments sont contaminés par le phosphore total, le zinc, le chrome, le cuivre, le mercure et les solides volatils (Tableau 3.2). Les tests d'élutriation ont montré que les polluants métalliques

Tableau 3.1: Qualité des sédiments meubles prélevés dans le lit du Saint-Laurent, à Lotbinière (tiré de Boudreault et al., 1985).

PARAMETRES	Limite de détection de BPC, BHC et pesticides	Echantillons (nos)		CRITERES D'EVALUATION ¹	
		1	2	Concentration acceptable	Concentration inacceptable
Carbone total (%)		0,61	0,72	1,5	5,0
Solides volatils (%)		2,4	2,1	4,0	8,0
Phosphore total (mg/kg)		757	610	700	1 000
Arsenic (mg/kg)		3,0	2,0	3	6
Cadmium (mg/kg)		0,1	0,2	5	8
Cuivre (mg/kg)		10,2	7,6	30	60
Mercure (mg/kg)		0,137	0,093	0,3	1,0
Plomb (mg/kg)		3,1	4,2	20	60
Zinc (mg/kg)		40,6	38,5	80	175
Chrome (mg/kg)		1	1	70	90
Huiles et graisses (mg/kg)		133	252	1 000	2 000
BPC (mg/kg)	0,010	L ²	0,04	0,05	0,1
BHC (mg/kg)	0,002	L	L		
α,β et 6 BHC (µg/g)	0,005	L	L		
p,p ¹ - DDE (µg/g)	0,005	L	L		
o,p ¹ - DDD (µg/g)	0,005	L	L		
p,p ¹ - DDD (µg/g)	0,005	L	L		
p,p ¹ - DDT (µg/g)	0,005	L	L		
o,p ¹ - DDT (µg/g)	0,005	L	L		

¹ (Vigneault, 1978).

² L: valeur sous le seuil de détection des méthodes d'analyse.

Tableau 3.2: Teneur en contaminants de la couche superficielle des sédiments dans la région du quai de Bécancour (tiré de Descoteaux et Michaud, 1983).

Paramètre	Acceptable mg/kg	Non Acceptable mg/kg	Stations (1)(3) (2)					Concentration moyenne (1)	Stations (6)					Normale Géochimique ⁴	Stations (7)											
			1	2	3	4	5		A ⁴	D ⁴	E ⁵	F ⁵	G ⁵		2	4	5	6	7	9	11	12				
Carbone total	< 15 000	≥ 50 000	1,1	1,4	1,1	1,4	1,0	13 600	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Solides volatils	< 40 000	≥ 80 000	4,0	10,0	3,4	3,3	4,0	51 200	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Phosphore total	< 700	≥ 1 000	980	1050	1080	1120	1110	1 068	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arsenic A _s	≤ 3	≥ 6	1,8	2,2	3,0	1,2	3,7	2,30	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	-	2,24	4,83	3,57	3,76	3,59	3,40	3,06	2,28	-	-	-	-
Cadmium C _d	≤ 5	≥ 8	1,2	1,2	1,2	1,6	1,5	1,34	-	-	0,88	0,60	0,30	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cuivre Cu	≤ 30	≥ 60	10,5	14,2	14,2	14,9	17,5	14,26	55,8	52,8	53,5	46,8	20,4	13	70	135	105	130	85	95	90	90	-	-	-	-
Mercure Hg	≤ 0,3	≥ 1,0	0,05	0,09	0,09	0,05	0,14	0,08	0,108	0,154	0,525	0,395	0,270	0,03	0,32	1,42	0,75	0,45	0,55	1,75	1,35	3,05	-	-	-	-
Plomb Pb	≤ 20	≥ 60	9	10	8	12	15	10,8	29	29	49,5	42,6	15,0	6	<1	45	20	50	25	20	15	15	-	-	-	-
Zinc Zn	≤ 80	≥ 175	84	121	113	117	135	114	196	176	237	222	106	75	275	440	350	450	400	425	375	390	-	-	-	-
Chrome Cr	≤ 70	≥ 90	29	41	38	41	38	37,4	96,4	90,7	70,4	43,4	20,0	47	52	110	85	110	90	95	100	95	-	-	-	-
PCB	≤ 0,05	≥ 0,10	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,02	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Huiles et graisses	≤ 1 000	≥ 2 000	< 250	-	< 250	< 250	< 250	250	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Matières organiques (2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	5,1	6,4	4,9	4,5	5,6	4,6	5,1	-	-	-	-

(1) Envirolab Inc., 1980, l'échantillonnage et analyse des sédiments - Port de Bécancour, Société du Parc Industriel du Centre du Québec

(2) Analyse granulométrique: (1,31% sable; 74,5% silt; 24,2% argile)

(3) Date du prélèvement: 2 novembre 1980

(4) Sérodes (1978)

(5) Pluritec (1978)

(6) Dates de prélèvement 1976 (Sérodes) et 1978 oct. (Pluritec)

(7) AMAI (1982)

N.A. Non analysé

restent fixés aux suspensions fines et ne sont pas remis en phase dissoute.

Les nutriments (azote et phosphore) sont par contre transférés dans l'eau dans une proportion de 80%. Les sédiments sont généralement anoxiques et ils provoquent également une diminution de la teneur en oxygène au début de leur remise en suspension (Descoteaux et Michaud, 1983).

La qualité des sédiments fins dans le domaine étudié est donc plutôt moyenne. Une remise en suspension brutale des accumulations de sédiments fins retenus au voisinage des jetées nécessaires à la réalisation des travaux pourrait avoir des conséquences sur l'environnement si les volumes concernés sont importants.

3.4 Évaluation des conditions sédimentaires

Dans l'ensemble du domaine étudié, on n'observe aucune sédimentation ni dans le chenal maritime, ni sur les estrans. Les particules fines et les sables sont disponibles en grandes quantités mais ils ne font que transiter sans provoquer d'accumulations évidentes sauf au niveau des embouchures des tributaires. La situation des estrans paraît paradoxale car les courants y sont nettement plus faibles que dans le chenal. Malgré cela, aucune sédimentation importante ne se produit et leur surface se compose principalement de cailloux remaniés par les glaces. Cependant, la végétation qui se développe en été protège des dépôts de particules fines. Globalement, ces dépôts restent de faible importance. On doit donc conclure que sur les estrans et dans le chenal de navigation, les conditions naturelles sont défavorables à la sédimentation.

Pour voir quelles conséquences la construction des jetées pourrait avoir, on dispose des quais construits dans cette partie de l'estuaire. De plus, l'étude des données disponibles à Bécancour et à Portneuf s'avère également pertinente.

3.4.1 Aménagements existants

En dehors des deux quais mentionnés, les aménagements existants aux autres endroits situés le long du Saint-Laurent présentent des sites d'accumulation de particules fines du côté aval. C'est par exemple le cas à Deschaillons et à Lotbinière. Au quai de Deschaillons, on retrouve une plage de sable en aval; au quai de Lotbinière, il s'agit surtout de particules fines (silt ou argile). Ces quais sont tous beaucoup plus courts que les jetées qui seront nécessaires pendant la période de construction.

Boulangier (1982) décrit les conditions sédimentaires au quai de Bécancour. A l'amont de la jetée longue de 600 m, il y a eu accumulation de particules fines (75% de silt, 24% d'argile et 1% de sable). En aval de l'aménagement portuaire, le taux de sédimentation annuel est estimé à 2 cm/an (Descoteaux et Michaud (1983) donnent un taux de 3,5 cm/an). Ces apports sont associés à l'existence d'une zone captive qui s'est formée en arrière de la jetée. A cet endroit, les courants qu'on observe sont faibles ou nuls et principalement dirigés vers l'amont; la profondeur a été draguée à 10,7 m sous le zéro des cartes.

On n'a pas pu effectuer de comparaisons identiques au quai de Portneuf, les bathymétries existantes contrôlant surtout l'extrémité du quai. Mais là encore, pour la partie située juste en-dessous du zéro des cartes, on observe que l'amont est à des cotes inférieures à celles mesurées en aval (carte marine 1314). La sédimentation s'effectue donc à l'aval du quai. Cette conclusion s'avère vraie dans l'ensemble du domaine considéré pour tous les quais, qu'ils soient sur la rive nord ou la rive sud du Saint-Laurent.

3.4.2 Sédimentation au niveau des jetées pendant la période de construction

Comme tous les autres obstacles à l'écoulement, les jetées nécessaires à la construction vont abriter une zone où les sédiments fins pourront s'accumuler. Cependant, en considérant que les travaux ne dureront que

deux ans, et que les estrans ne représentent pas, en conditions naturelles, des zones de sédimentation actives, les taux de sédimentation resteront faibles et les surfaces favorables aux dépôts seront limitées en étendue. De plus, les glaces pourront éventuellement déstabiliser ces dépôts et provoquer leur déplacement. Les vagues participeront également à cette déstabilisation.

En tenant compte de ces hypothèses, des taux de sédimentation en eau profonde observés à Bécancour et de la forte capacité de dilution du fleuve (Descoteaux et Michaud, 1983) on peut dire que les accumulations possibles de particules fines par les jetées auront vraisemblablement peu d'impacts sur l'environnement.

3.5 Données complémentaires

De l'analyse des données disponibles, il est apparu que l'information sur les vitesses était principalement relative au chenal maritime et que peu de mesures étaient disponibles au-dessus des estrans. Pour décrire le mélange des eaux des affluents avec celles du Saint-Laurent, cette absence d'information est critique. Cependant, il n'est pas réaliste d'obtenir cette information exclusivement par des mesures, à cause de l'écoulement non-permanent, de la variabilité potentielle des courants (qui s'ajustent aux conditions météorologiques et au débit en provenance du bassin versant) et de la dimension du domaine à couvrir.

Pour la sédimentation, celle-ci paraît être absente du secteur étudié bien que des changements soient observés à long terme dans les positions relatives du chenal et des estrans (Pelletier, 1982). Au niveau des jetées nécessaires pendant la construction, l'hypothèse avancée ici qui est celle d'une sédimentation faible n'ayant que peu d'impacts à craindre pour l'environnement mériterait d'être contrôlée sur le terrain.

CHAPITRE 4

ANALYSE PRÉLIMINAIRE ET CHOIX DES CONDITIONS DE RÉFÉRENCE

4. ANALYSE PRÉLIMINAIRE ET CHOIX DES CONDITIONS DE RÉFÉRENCE

Le choix de conditions de référence du milieu est nécessaire à trois fins:

- l'imposition des conditions aux limites du modèle;
- la calibration;
- l'analyse de sensibilité du milieu à une gamme de conditions de sollicitation représentatives de la variabilité de ces phénomènes.

L'imposition des conditions aux limites permet de spécifier au modèle l'influence des sollicitations extérieures qu'il est nécessaire de tronquer dès lors qu'on limite artificiellement le domaine d'analyse. C'est le cas par exemple de la marée dont l'origine est extérieure au milieu étudié et dont l'influence ne peut être prise en compte et imposée qu'aux limites du modèle.

La calibration permet d'ajuster les paramètres du modèle dans le but de simuler le mieux possible un ensemble élaboré de données mesurées sur le milieu. La validation du modèle s'effectue en appliquant le modèle calibré à un certain nombre indépendant d'états et en vérifiant de nouveau l'adéquation des résultats. L'analyse de sensibilité permet d'étudier le comportement du milieu soumis à une gamme représentative de conditions de sollicitation. Cette analyse peut ensuite être appliquée au milieu modifié par l'ajout des jetées.

Trois facteurs de sollicitation sont susceptibles de jouer un rôle dans la structure et la dynamique des écoulements dans le fleuve: la marée, le débit fluvial et le vent. Le dernier peut être négligé dans une première approximation, son influence ne devenant véritablement importante qu'en période de conditions météorologiques extrêmes. La meilleure façon de traiter la marée serait de considérer l'ensemble d'un cycle lunaire mais au prix de calculs très longs à réaliser; cette solution a donc été écartée au profit d'un choix judicieux représentatif de conditions diurnes. Nous reviendrons plus loin sur cet aspect.

Le choix des débits de référence du fleuve, quant à lui, est crucial. L'hydraulicité du fleuve, quoique très peu variable si on la compare à celle de cours d'eau de plus faible importance, peut tout de même varier par un facteur 3 (rapport du débit maximum sur le minimum) d'une saison à l'autre. On comprend dès lors l'importance de ce facteur dans l'orientation et la vitesse du courant lorsqu'il se combine à l'action de la marée.

Dans ce chapitre, nous allons examiner et proposer un ensemble de conditions de référence représentatives du milieu à l'étude en rapport avec les débits du fleuve et de la rivière Sainte-Anne et la marée; dans ce dernier cas, une procédure d'interpolation de l'onde aux frontières du modèle sera présentée.

4.1 Conditions d'hydraulicité

4.1.1 Données disponibles

Les données mesurées du débit du fleuve sont celles obtenues à l'aval de l'île de Montréal. Pour connaître le débit résiduel (fluvial) à la hauteur de l'amont du modèle, les débits des tributaires majeurs du fleuve entre Montréal et la rivière Sainte-Anne sont cumulés à celui du fleuve au jour le jour. Il a été démontré (Jacques Déziel, MENVIQ, communication personnelle) que cette manière de procéder qui ne tient pas compte du temps de transfert différent de chaque tributaire, permet d'obtenir des résultats tout-à-fait acceptables compte tenu de la précision intrinsèque de la mesure des débits. Bien entendu, une correction systématique est appliquée au débit cumulé pour tenir compte de la portion de bassin versant du fleuve (petits tributaires) non comprise dans le calcul.

Cette procédure a donc permis à la direction du Milieu hydrique du ministère de l'Environnement du Québec de constituer une série hydrologique synthétique de 30 ans (1955-1984) au droit d'une section à l'amont de la rivière Sainte-Anne. Ces données sont présentées à l'annexe 1.

De même, le débit résiduel (influence de la marée filtrée) de la rivière Sainte-Anne a dû être reconstitué à l'embouchure par une simple "règle de 3" proportionnelle aux bassins impliqués et appliquée aux débits mesurés à la station de Saint-Narcisse. Le rapport des bassins versants de la rivière Sainte-Anne à l'embouchure par rapport à Saint-Narcisse est de 1,496 (2694 km²/1550 km²).

4.1.2 Débits de référence du fleuve Saint-Laurent

Les débits de référence pour les simulations ont été choisis afin de représenter une gamme de conditions d'hydraulicité représentatives de l'évolution du milieu dans les périodes-cibles soit

- du 15 novembre au 15 janvier;
- du 15 avril au 31 mai.

Ces deux périodes annuelles correspondent respectivement aux phases de montaison et d'avalaison du poulamon atlantique.

La valeur moyenne du 15 novembre au 15 janvier de chaque année, désignée par la suite par l'expression "module d'automne", a d'abord été extraite. Des moyennes sur différentes périodes ont été calculées (tableau 4.1). Les dix dernières années de la série (1975-1984) donnent une valeur de 11 657 m³/s. Sur 30 ans, on obtient 10 793 m³/s.

Les minimum et maximum journaliers absolus ont également été extraits pour chaque année. On retrouve au tableau 4.2 les valeurs détectées et les dates correspondantes. Les minimum et maximum historiques sont respectivement 7 934 m³/s. (20 décembre 1964) et 16 512 m³/s (27 décembre 1980).

Des moyennes sur 10 ans (75-84) ont été calculées sur ces séries ce qui donne respectivement 9 849 m³/s et 13 627 m³/s pour les minimum et maximum moyens interannuels. La figure 4.1 nous montre l'évolution entre 1955 et 1984 des minimum et maximum journaliers.

Tableau 4.1 Moyenne sur différentes périodes historiques du débit net du Saint-Laurent à l'amont de la rivière Sainte-Anne entre le 15 novembre et le 15 janvier de chaque année.

Période	Durée	Moyenne
1955-1984	(30 ans)	10,793
1965-1984	(20 ans)	11,241
1975-1984	(10 ans)	11,657
1980-1984	(5 ans)	11,924

En ce qui concerne la période du 15 avril au 31 mai de chaque année, des moyennes ont été calculées pour différentes durées historiques. Le tableau 4.3 résume ces valeurs. Les périodes du 1 avril au 31 mai ont également été utilisées. La première période utilisée permet cependant de mieux cerner les événements de crues printanières

Tableau 4.3 Moyenne sur différentes périodes historiques du débit net du Saint-Laurent à l'amont de la Sainte-Anne entre le 15 avril et le 31 mai et entre le 1^{er} avril et le 31 mai.

Période	Durée	15 avril - 31 mai	1 avril - 31 mai
1955-1984	30 ans	16 246	15 639
1965-1984	20 ans	17 043	16 383
1975-1984	10 ans	17 350	16 823
1980-1984	5 ans	16 651	16 158

Tableau 4.2 Minimum et maximum du débit net du fleuve Saint-Laurent (m³/s) à l'amont de la rivière Sainte-Anne entre le 15 novembre et le 15 janvier de chaque année entre 1955 et 1984.

Période	Minimum	Date	Maximum	Date
55-56	9 165	9 janv.	11 598	17 nov.
56-57	8 017	31 déc.	11 311	12 janv.
57-58	10 030	13 déc.	14 082	22 déc.
58-59	7 966	8 janv.	10 437	19 nov.
59-60	10 031	5 janv.	13 005	29 nov.
60-61	8 085	12 déc.	9 879	11 nov.
61-62	8 000	1 janv.	11 287	6 déc.
62-63	7 850	24 déc.	9 606	4 janv.
63-64	8 323	5 janv.	11 246	1 déc.
64-65	7 394	20 déc.	9 917	17 déc.
65-66	9 241	12 déc.	12 040	4 janv.
66-67	9 326	22 nov.	14 662	12 déc.
67-68	10 653	5 janv.	15 295	14 déc.
68-69	8 586	16 déc.	11 620	6 déc.
69-70	10 031	25 déc.	13 501	12 déc.
70-71	9 653	23 déc.	12 277	21 nov.
71-72	8 601	2 janv.	10 278	19 déc.
72-73	10 301	20 déc.	14 017	28 nov.
73-74	11 043	19 déc.	13 421	29 nov.
74-75	11 590	5 déc.	14 525	10 déc.
75-76	9 580	15 janv.	12 807	17 déc.
76-77	9 293	15 janv.	11 755	21 nov.
77-78	10 205	12 déc.	14 490	19 nov.
78-79	8 151	25 déc.	10 592	19 nov.
79-80	11 367	11 janv.	16 512	27 déc.
80-81	9 310	1 janv.	13 584	10 déc.
81-82	9 051	12 janv.	13 929	22 nov.
82-83	10 875	20 nov.	13 515	7 déc.
83-84	9 989	11 janv.	15 948	16 déc.
fin 84	10 670	24 déc.	13 138	31 déc.
(75-84)	9 849 (moyenne)	(75-84)	13 627 (moyenne)	(75-84)

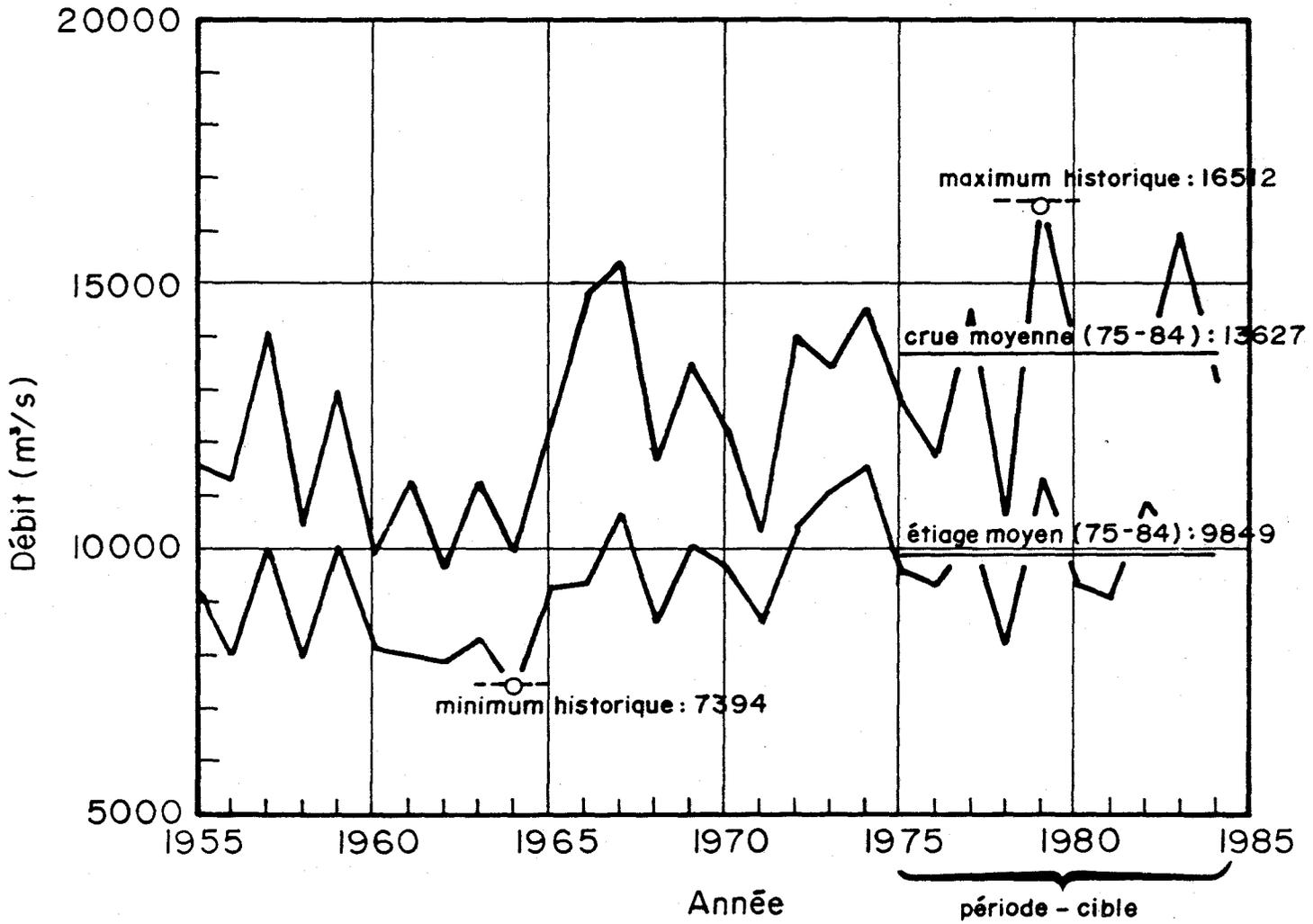


Figure 4.1 Minimum et maximum annuels du débit net du Saint-Laurent à l'amont de la Sainte-Anne entre le 15 novembre et le 15 janvier

Le tableau 4.4 résume les débits de référence du fleuve retenus pour les simulations. La période cible de 1975-1984 nous apparaît la plus représentative des fortes hydraulicités rencontrées ces dernières années en provenance des Grands-Lacs considérant que ces conditions vont probablement se répéter dans les années où seront construites les jetées.

Tableau 4.4 Débits de référence du fleuve Saint-Laurent proposés et retenus pour les simulations

Description		Débit (m ³ /s.)
étiage moyen d'automne	(10 ans)	9 849
module d'automne	(10 ans)	11 657
crue moyenne d'automne	(10 ans)	13 627
crue moyenne de printemps	(10 ans)	17 350

4.1.3 Débits de référence de la rivière Sainte-Anne

a) Débit résiduel

On entend par débit résiduel, le débit net de la rivière (sans la marée). Pour ce qui est de la rivière Sainte-Anne, une analyse similaire au fleuve a été réalisée. Le module d'automne nous a été fourni par la direction des Ressources hydriques du MENVIQ (tableau 4.5). Les crues et étiages journaliers du 15 novembre au 15 janvier de 1955 à 1982 sont présentées au tableau 4.5. Sur la base d'analyse de 1973 à 1982, les débits de référence pour l'étude sont ceux donnés au tableau 4.6. Ces débits sont des valeurs nettes à l'embouchure. Une correction tenant compte du marnage de la marée doit être appliquée à ces valeurs comme nous le verrons plus loin.

Tableau 4.5 Débits journaliers minimums et maximums de la rivière Sainte-Anne à la centrale Saint-Narcisse du 15 novembre au 15 janvier de chaque année entre 1955 et 1982.

ANNÉE	DATE	MIN	DATE	MAX
1955	26 déc., 1 et 5 janv.	9,06	16 nov.	33,7
1956	9 et 14 janv.	10,9	23 nov.	55,8
1957	18 déc.	18,8	22 nov.	56,7
1958	11 janv.	9,06	20 nov.	91,2
1959	14, 15 janv.	11,06	16 nov.	136
1960	9 et 15 janv.	11,2	17 nov.	244
1961	5 janv.	10,3	6 déc.	67,1
1962	4 janv.	10,5	16 nov.	36,0
1963	12 janv.	10,8	1er déc.	103,0
1964	25 nov.	12,6	27 déc.	216
1965	14 déc.	11,6	18 nov.	37,1
1966	8,9,10,11,13,14,15 janv.	15,9	30 nov.	162
1967	9, 10 janv.	11,0	16 nov.	61,7
1968	11 déc.	7,93	26 nov.	15,9
1969	26 déc.	12,2	13 déc.	128
1970	14 janv.	9,06	22 nov.	106
1971	26 janv.	11,0	22 nov.	41,1
1972	14 janv.	12,7	16 nov.	67,4
1973	11,12,13,14,15 janv.	15,9	7 déc.	91,2
1974	7, 8 janv.	14,2	10 déc.	42,5
1975	15 janv.	12,5	16, 17 nov.	68,5
1976	14 janv.	9,77	16 nov.	29,7
1977	4 janv.	10,8	11 janv.	124
1978	5 déc.	12,5	18,19,20 nov.	60,9
1979	8 au 15 janv.	23,0	27 nov.	143
1980	25, 26 nov.	17,0	16 au 21 nov.	42,0
1981	8 déc. au 15 janv.	9,0	16 nov. au 8 déc.	15,0
1982	21 au 24 déc.	36,0	25 nov.	110
1983				
1984				

moyenne des minimums (10 dernières années): 16,07 m³/s

moyenne des maximums (10 dernières années): 110,9 m³/s

Tableau 4.6 Débits de référence nets de la rivière Sainte-Anne à l'embouchure retenus pour les simulations (période de 1975 à 1984)

Description	Débit (m ³ /s.)
étiage moyen d'automne	24
module d'automne	68
crue moyenne d'automne	166 (356) ¹
crue moyenne de printemps	269

¹ Cette valeur est celle qui a été effectivement utilisée pour les simulations. Il s'agit en fait du débit observé le 25 octobre 1986, le jour de l'évènement-cible pour la calibration.

Remarque

Les conditions de référence retenues pour la crue moyenne d'automne ont été celles correspondant au 25 octobre 1986 soit, la journée de calibration. Les débits respectifs du fleuve et de la rivière Sainte-Anne pour ce jour ont été de 13 500 m³/s et 356 m³/s. On considère ces conditions comme étant représentatives de la crue d'automne. Les différences de débit sont surtout sensibles pour la rivière Sainte-Anne. En ce qui concerne le changement de la structure des écoulements dans le fleuve, cet écart ne peut pas s'avérer sensible (de l'ordre de 1 à 2% c'est-à-dire, 200 m³/s par rapport à 13 500 m³/s).

b) Influence de la marée

Les débits du fleuve et de la rivière Sainte-Anne subissent l'influence de la marée. Les données de débit du fleuve ne servent pas directement dans le modèle. En effet, les conditions aux limites du modèle aux

frontières ouvertes sur le fleuve (amont et aval) sont de type niveau-niveau et ne requièrent pas l'imposition du débit. La connaissance de celui-ci (tel qu'influencé par la marée) est, dans ce cas, la résultante de la simulation.

En ce qui concerne la rivière Sainte-Anne la configuration des conditions aux limites est différente. On n'impose pas le niveau mais plutôt le débit. L'influence de la marée doit donc être évaluée le mieux possible en tenant compte:

- du volume du marnage de la marée;
- et de l'évolution temporelle de celle-ci, c'est-à-dire, de la durée respective du flot et du jusant au cours d'un cycle.

Le volume du marnage est estimé avec une approche similaire à celle du prisme de la marée. En pratique, nous avons appliqué la formule suivante:

$$\Delta V_n = A_0 \cdot \Delta h_i$$

où

ΔV_n : volume du marnage

A_0 : Aire moyenne de l'estuaire (tranche de marnage) soumise à la marée

Δh_i : le marnage spécifique (de jusant ou de flot)

Dans le cas de la rivière Sainte-Anne, la superficie de l'estuaire soumise à la marée a été évaluée à $1,328 \times 10^6 \text{ m}^2$.

Le marnage varie en fonction des épisodes distincts (flot, jusant) du cycle de la marée, c'est-à-dire, entre le niveau de la marée haute et celui de la marée basse qui la suit ou la précède. La figure 4.2 illustre les marnages successifs de la marée.

Cette procédure nous permet d'obtenir un débit moyen de flot ou de jusant. La valeur instantanée du débit est obtenue par une modulation sinusoïdale du débit (figure 4.3).

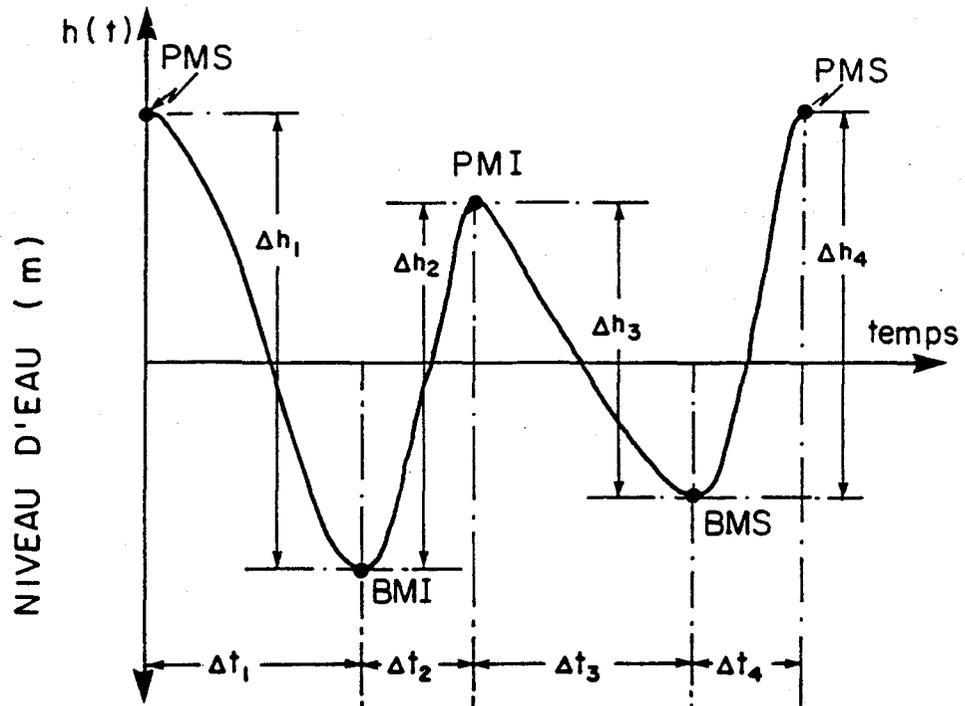
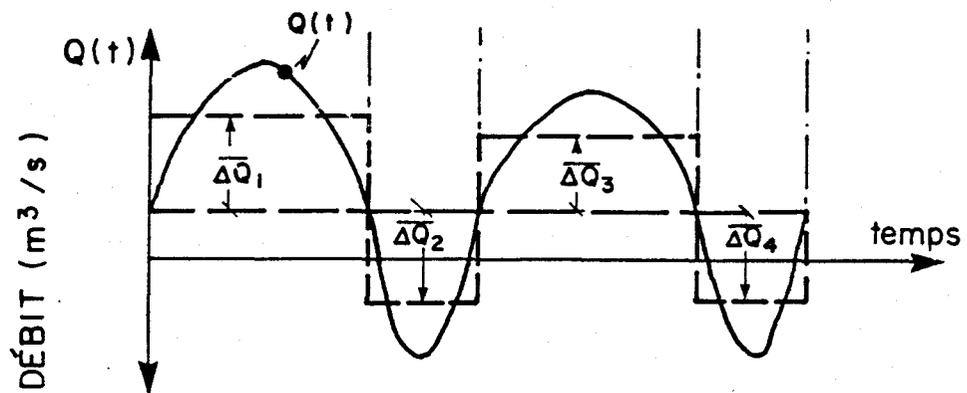


Figure 4.2: Marnages successifs lors des différents épisodes d'une marée



PMS, PMI : pleines mers supérieure et inférieure
 BMS, BMI : basses mers supérieure et inférieure
 $\Delta t_1, \Delta t_3$: jusants; $\Delta t_2, \Delta t_4$: flots

Figure 4.3 Illustration du calcul du débit total de la rivière Sainte-Anne en fonction de la marée

Les résultats de ce calcul sont présentés aux figures 4.4 a, b, c et d pour les différents états de référence à l'étude.

4.2 Données marégraphiques

Des données marégraphiques sont requises comme conditions aux limites ouvertes du modèle (excepté la rivière Sainte-Anne). Les principales données disponibles sont celles des marégraphes de Pêches et Océans Canada, soit,

- Portneuf
- Grondines
- Cap à la Roche
- Batiscan
- Cap Levrard et Lotbinière (marégraphes temporaires de Consultants Saint-Laurent).

La détermination des conditions aux limites s'est déroulée en deux étapes: le choix d'un épisode et l'interpolation du niveau de la marée aux frontières du modèle.

4.2.1 Choix des épisodes

Cette opération comporte deux volets: la détermination de l'ensemble des épisodes correspondant aux débits de référence du fleuve choisis précédemment, et le choix parmi ceux-ci d'une séquence particulière répondant à des normes de variation du marnage.

Dans la première étape, nous avons relevé dans la série hydrologique journalière du fleuve un nombre suffisant de séquences de débits se situant le plus près possibles ($\pm 3\%$) de chacune des valeurs de référence données en 4.1.2. Rappelons cependant que pour la crue moyenne d'automne, niveaux retenus sont ceux mesurés le 25 octobre 1986 par les "Consultants Saint-Laurent et Pêches et Océans Canada".

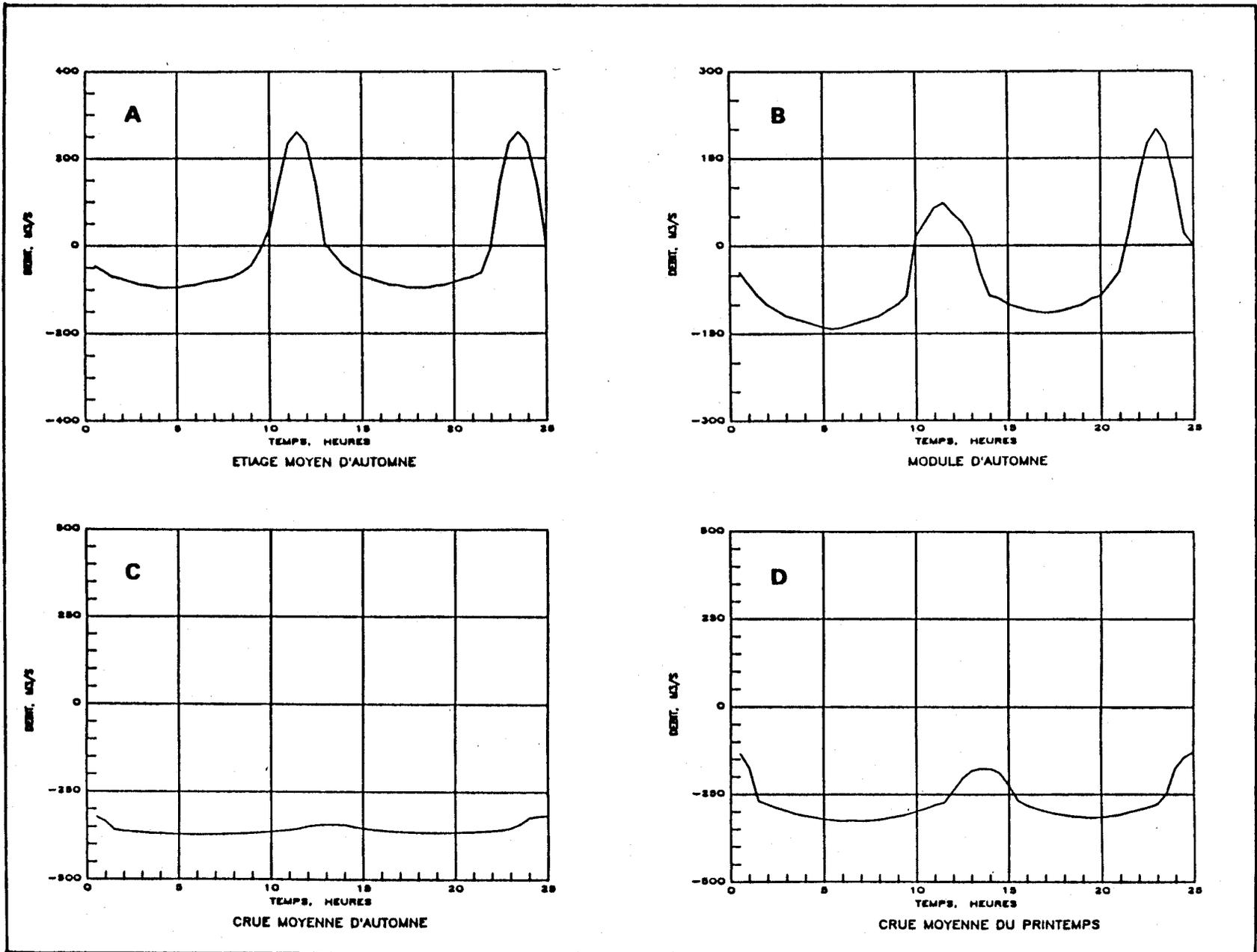


Figure 4.4: Débits reconstitués résultant de l'apport hydrologique et de la marée à l'embouchure de la rivière Sainte-Anne pour les états de référence

Parmi l'ensemble des possibilités, trois ont été retenues. On trouvera aux figures 4.5, 4.6 et 4.7 les données marégraphiques de la station Grondines pour les épisodes analysés ainsi que les débits du fleuve pour ces mêmes périodes.

4.2.2 Choix des événements

La durée d'une simulation ne devant pas dépasser un double cycle de marée, on sélectionne donc au sein de chacun de ces épisodes, un événement particulier d'une durée de 24H50. Deux critères ont été appliqués: l'amplitude de la marée et la similitude du niveau du début et de la fin d'un cycle diurne.

Pour l'amplitude de la marée, nous avons recherché un événement le plus contrasté possible au niveau des marnages. Les séquences retenues sont le plus souvent représentatives de marées de vive-eau. Ce genre d'événement comporte l'avantage de présenter une succession de grandes et de faibles marées. Une marée moyenne ne comporte pas les caractéristiques des contrastes et des comportements extrêmes.

La similitude des niveaux du début et de la fin d'un cycle diurne est requise pour appliquer adéquatement le modèle de transport-diffusion. En effet, pour obtenir une solution stabilisée du problème, on doit laisser les calculs se dérouler sur plusieurs cycles de marée consécutifs. Comme le modèle hydrodynamique n'est appliqué que sur un seul cycle diurne, les conditions initiales et finales du modèle doivent être similaires pour reproduire un cycle fermé sur lui-même.

Les événements retenus sont ceux du 15 novembre 1968 pour l'étiage moyen d'automne, du 23 novembre 1976 pour le module d'automne et du 14-15 mai 1979 pour la crue moyenne du printemps. Les données marégraphiques correspondantes sont illustrées aux figures 4.8, 4.9 et 4.11. La crue moyenne d'automne est illustrée à la figure 4.10.

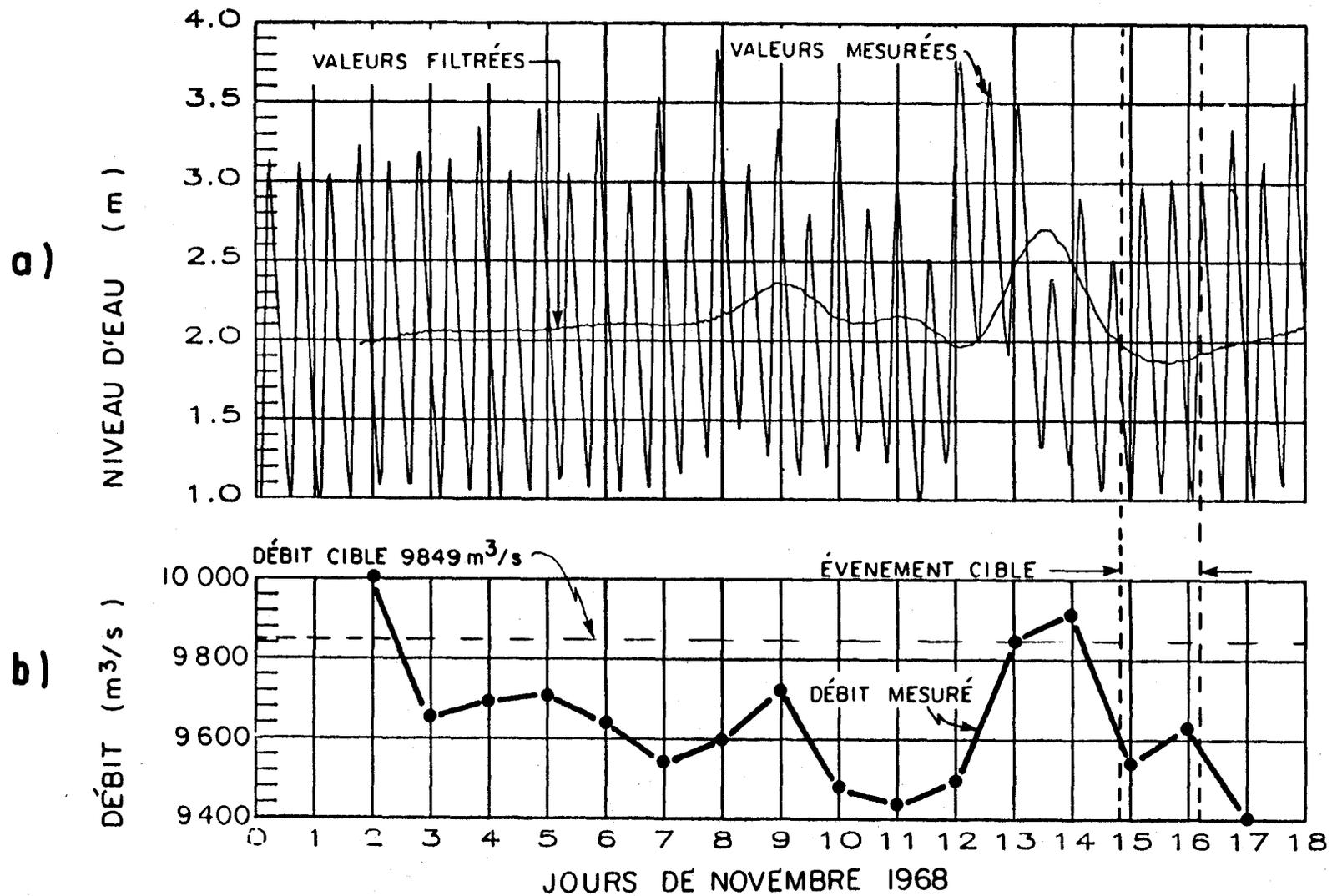


Figure 4.5: Épisodes hydrologiques et marégraphiques du fleuve Saint-Laurent candidats au choix d'un événement de référence pour l'étiage moyen d'automne

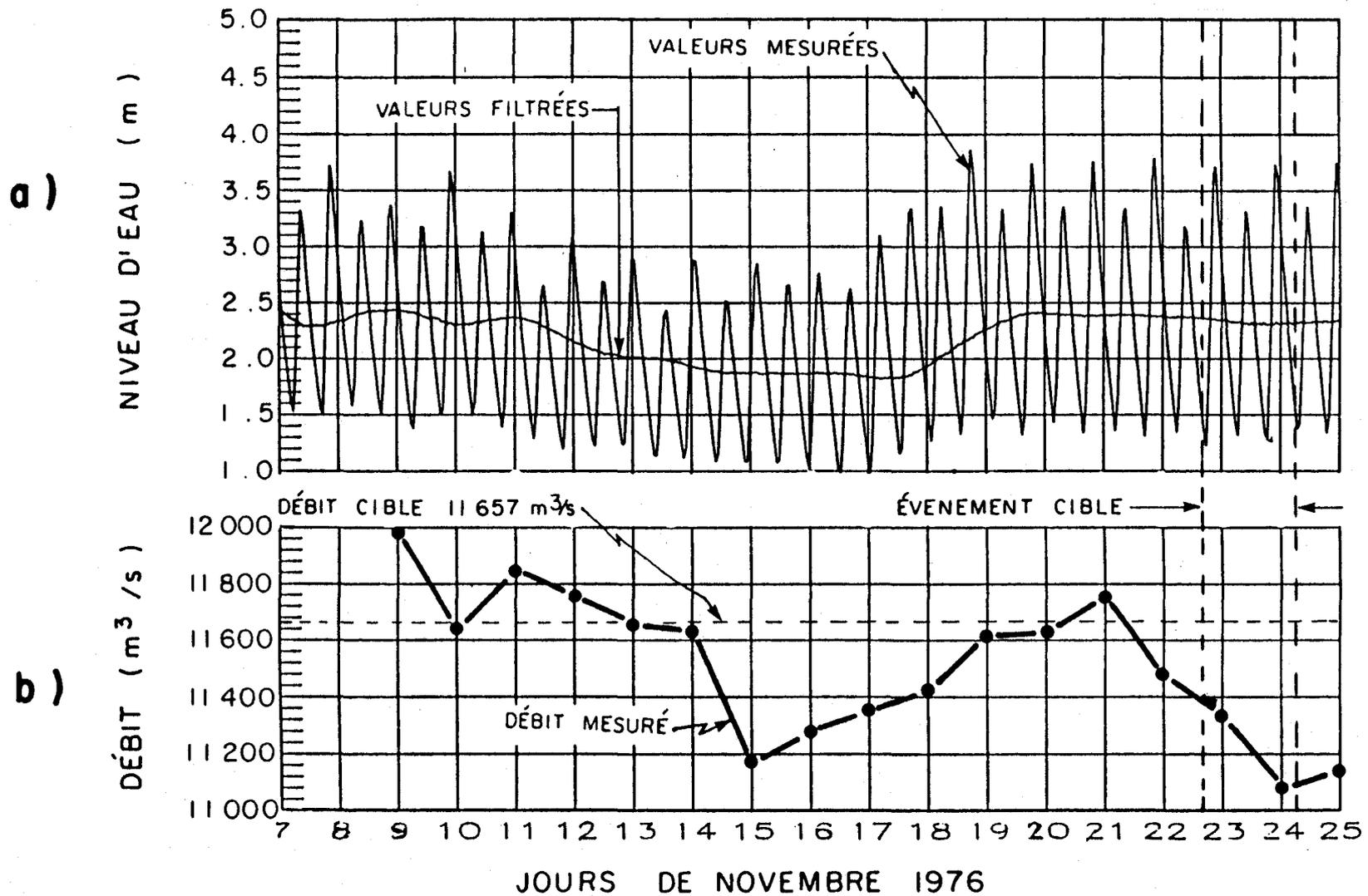


Figure 4.6: Épisodes hydrologiques et marégraphiques du fleuve Saint-Laurent candidats au choix d'un événement de référence pour le module d'automne

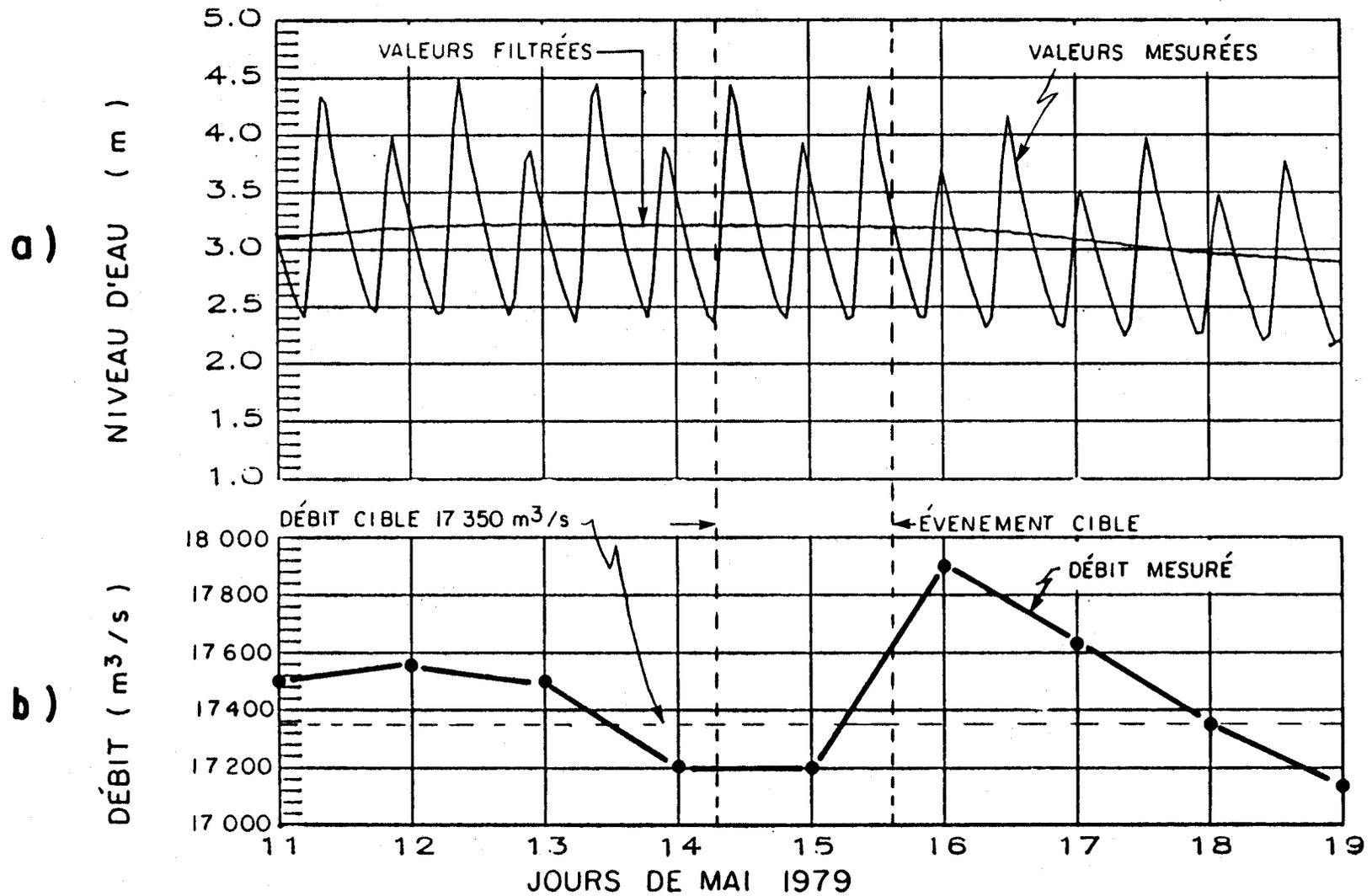


Figure 4.7: Épisodes hydrologiques et marégraphiques du fleuve Saint-Laurent candidats au choix d'un événement de référence pour crue moyenne de printemps

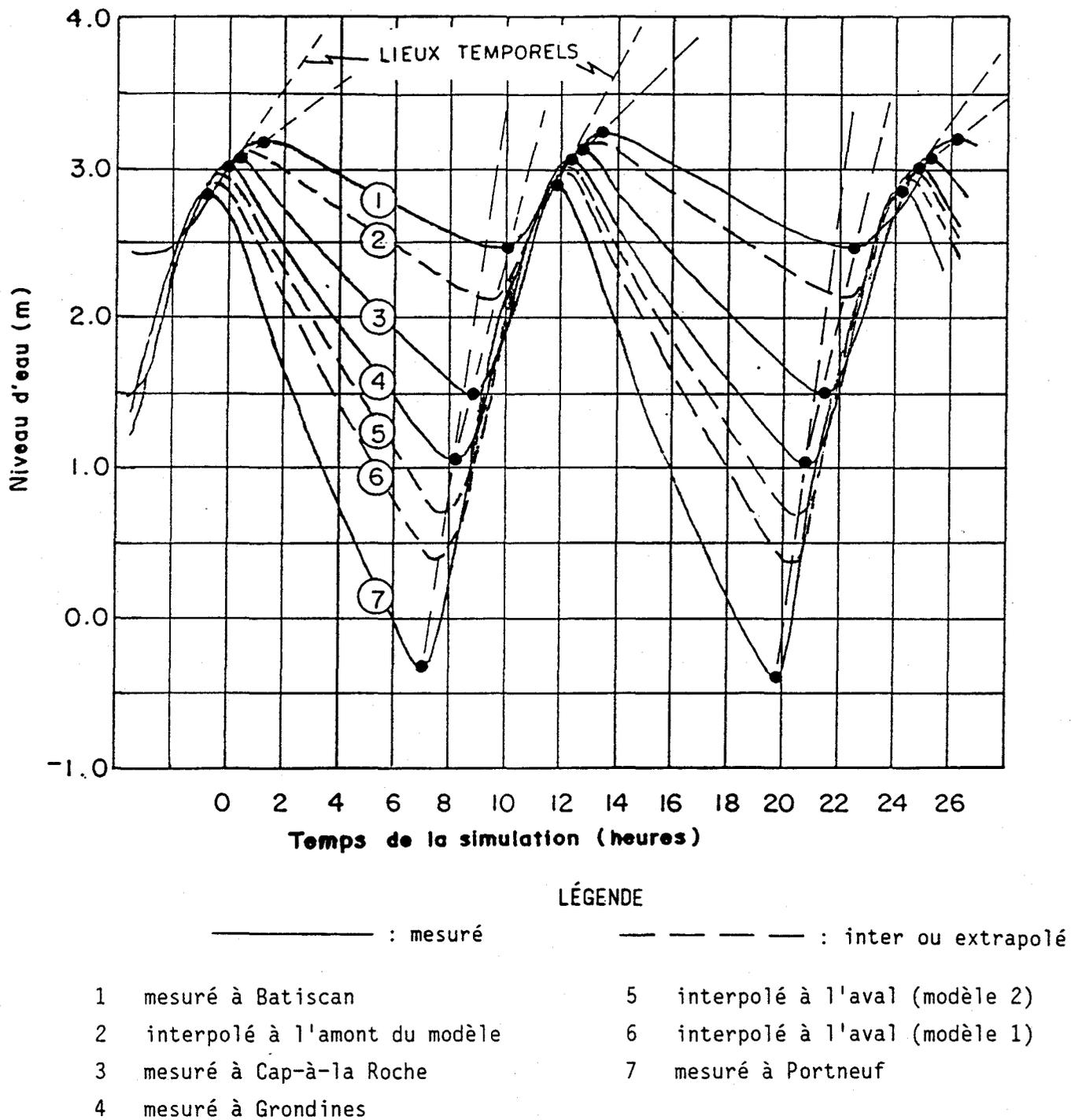
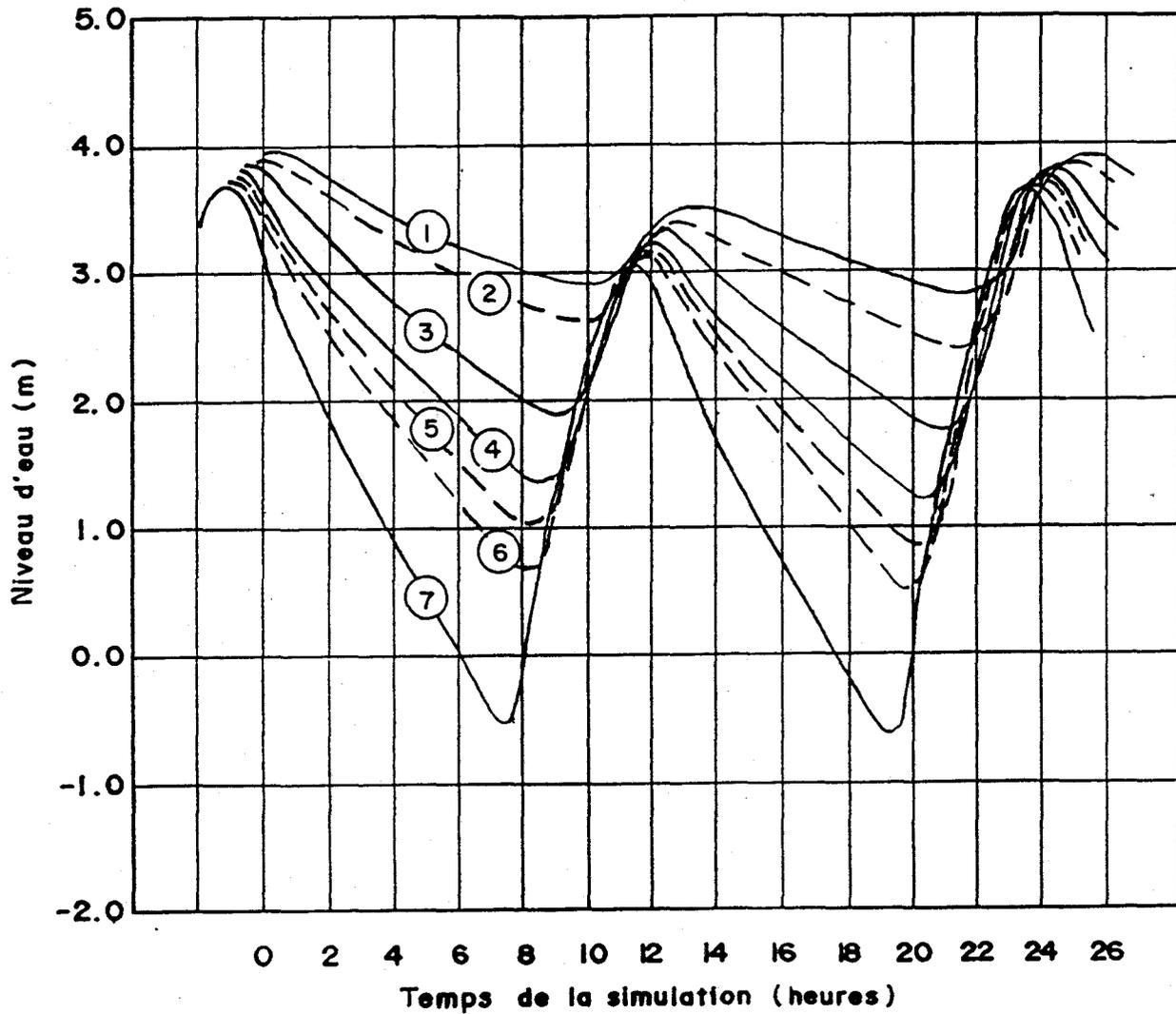


Figure 4.8: Marégrammes observés ou interpolés dans le fleuve Saint-Laurent entre Portneuf et Batiscan (15 novembre 1968) - débit moyen d'étiage d'automne



LÉGENDE

————— : mesuré

- - - - - : inter ou extrapolé

1 Batiscan

4 Grondines

2 Amont du modèle

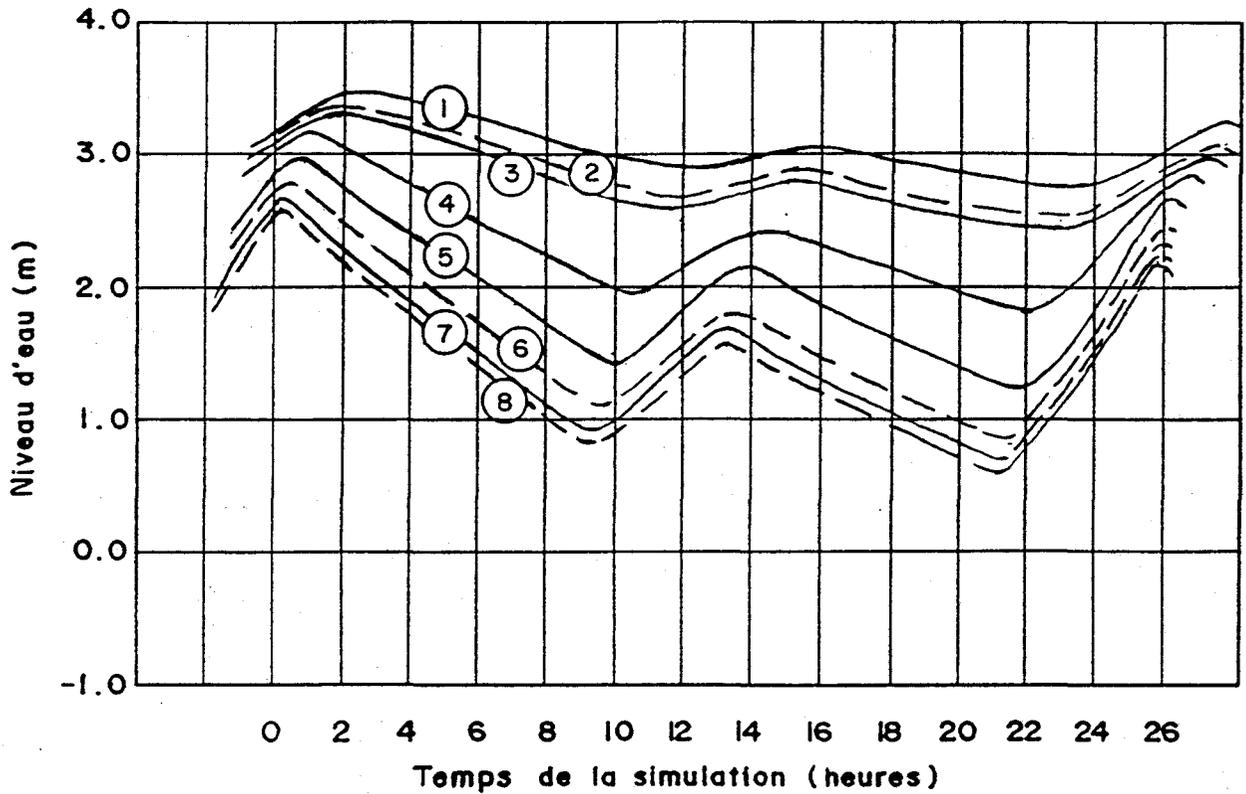
5 Aval (modèle 2)

3 Cap-à-la-Roche

6 Aval (modèle 1)

7 Portneuf

Figure 4.9: Marégrammes observés ou interpolés dans le fleuve Saint-Laurent entre Portneuf et Batiscan (23 novembre 1976) - module d'automne



LÉGENDE

————— : mesuré

- - - - - : inter ou extrapolé

1 Batiscan

4 Grondines

2 Amont du modèle

5 Aval (modèle 2)

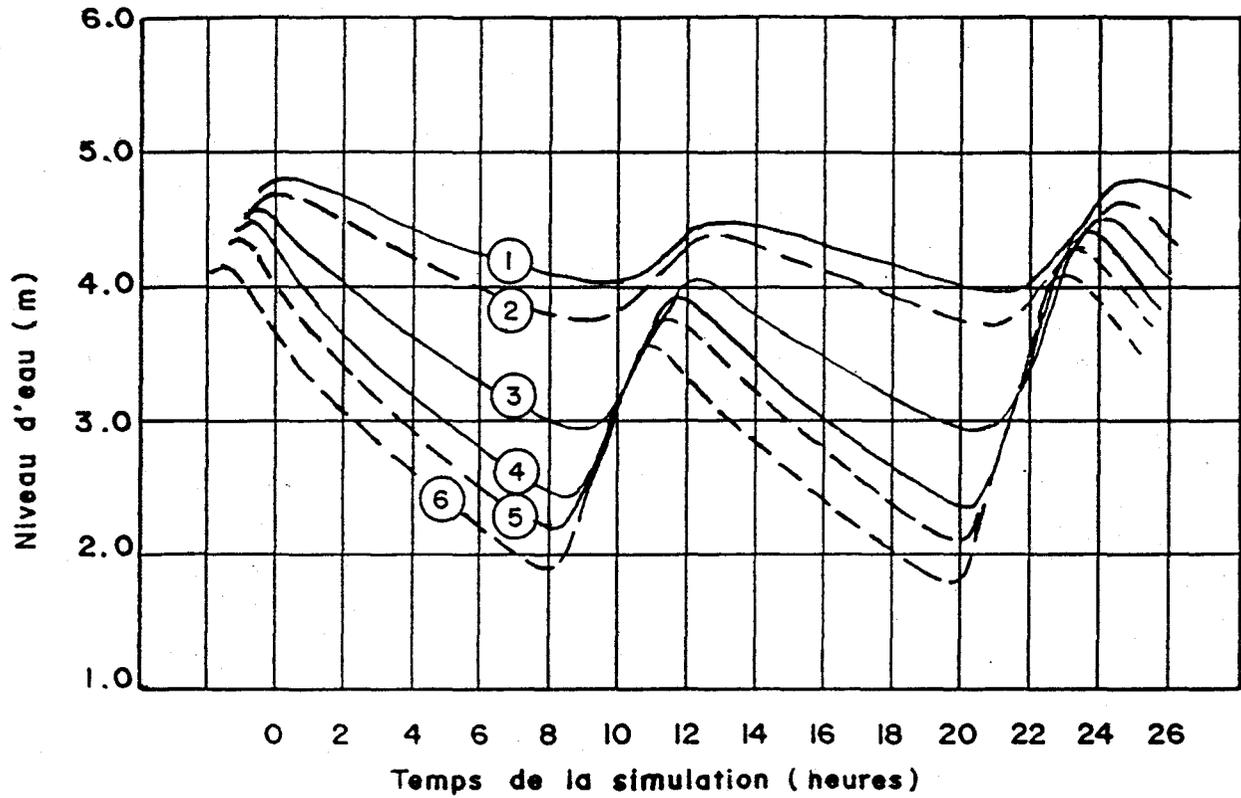
3 Cap Lévrard

6 Lotbinière

4 Cap-à-la-Roche

7 Aval (modèle 1)

Figure 4.10: Marégrammes observés ou interpolés dans le fleuve Saint-Laurent entre Portneuf et Batiscan (25 octobre 1986) - crue moyenne d'automne



LÉGENDE

- | | |
|-------------------|--------------------------------|
| ————— : mesuré | - - - - - : inter ou extrapolé |
| 1 Batiscan | 4 Grondines |
| 2 Amont du modèle | 5 Aval (modèle 2) |
| 3 Cap-à-la-Roche | 6 Aval (modèle 1) |

Figure 4.11: Marégrammes observés ou interpolés dans le fleuve Saint-Laurent entre Portneuf et Batiscan (14-15 mai 1979) - crue moyenne de printemps

4.2.3 Interpolation de la marée aux frontières du modèle

La marée est une onde de gravité dont la propagation de l'aval vers l'amont d'un estuaire s'accompagne d'une déformation graduelle dans le temps et dans l'espace.

En général, au fur et à mesure qu'on progresse vers la partie purement fluviale d'un estuaire, la période de jusant a tendance à s'allonger et dépend de la période de flot au cours d'un cycle de marée. Dans la mer profonde, ces deux phénomènes ont en principe la même durée. Ce phénomène s'explique par une vitesse de propagation de la marée supérieure à marée haute. En effet, la "célérité" de l'onde de marée est proportionnelle à la racine carrée de la profondeur d'eau totale ($c = \sqrt{gH}$) ce qui explique les différences de propagation aux divers moments du cycle.

L'amplitude de la marée diminue à mesure qu'elle se propage vers l'amont, l'onde étant amortie par les phénomènes de perte de charge qui accompagnent tout écoulement turbulent. Enfin, si le débit fluvial net en provenance du bassin versant est important, l'évacuation de ce volume d'eau imprime au cours d'eau une pente nette vers l'aval. L'onde de marée est donc propagée sur une ligne d'eau (d'énergie) inclinée et, par conséquent, les niveaux de marée basse et de marée haute auront tendance à s'élever graduellement à mesure qu'on se déplace vers l'amont.

La propagation de la marée dans le tronçon du fleuve à l'étude est typique des phénomènes que l'on vient de décrire. Ainsi, quand on considère la marée retenue pour l'étiage moyen d'automne (novembre 1968, figure 4.8, tableau 4.7), on observe la plupart des influences mentionnées. On constate d'ailleurs que la marée subit une déformation considérable dans le tronçon étudié.

L'interpolation de la marée aux frontières du modèle requiert donc une attention très spéciale pour chacun des aspects décrits précédemment.

Nous avons pour ce faire développé une technique empirique qui nous a permis de construire des marées "synthétiques" obéissant en phase et en amplitude aux taux de variation estimés de la marée dans la zone. Voyons brièvement cette procédure.

Tableau 4.7: Caractéristiques de propagation de la marée du 15 novembre 1968 dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Portneuf-Batiscan - étiage moyen d'automne

	Stations marégraphiques		
	Portneuf	Grondines	Batiscan
Amplitudes	3,1 m	1,95 m	0,70 m
Durée du flot (± 5 min)	4h15	4h00	3h45
Durée du jusant (± 5 min)	8h10	8h25	8h40
Niveau ¹ à marée haute	2,80 m	3,00 m	3,15 m
Niveau ¹ à marée basse	-,3 m	1,05 m	2,45 m
Durée ² de propagation à marée haute (± 5 min)	0h00	0h45	1h50

¹ Ce niveau est donné par rapport au zéro marégraphique de la zone hydrographique à l'aval du modèle.

² En prenant la station de Portneuf comme point de départ.

La forme de l'onde de marée est cadrée principalement par un ensemble de paramètres appartenant au niveau et à la phase. Dans l'analyse du niveau, neuf (9) paramètres sont retenus:

- trois niveaux consécutifs de pleine mer;
- deux niveaux consécutifs de basse mer;
- deux niveaux d'inflexion de jusant;
- deux niveaux d'inflexion de flot.

Dans le temps, les moments d'occurrence de chacune de ces valeurs sont également explicités. Chacune des caractéristiques du niveau a été portée en graphique en fonction d'une distance longitudinale dans le fleuve mesurée au milieu du chenal de navigation. La figure 4.12 nous montre un exemple de cette opération pour l'étiage moyen d'automne. Seuls sont ici représentés les niveaux de pleine mer et de basse mer. Il s'avère à l'observation de cette courbe que les paramètres de niveau analysés évoluent quasi-linéairement en fonction de la distance, sauf dans le tronçon commençant à l'aval du modèle jusqu'au marégraphe de Portneuf, pour lequel on observe un accroissement de la perte de charge en particulier à marée basse. Cette situation est causée par la présence des rapides Richelieu dans ce tronçon. L'évolution linéaire dans le reste de la zone s'explique par la prédominance du chenal de navigation dans la structure bathymétrique du milieu. La profondeur du chenal étant relativement régulière, la propagation de la marée s'effectue de la même façon avec cependant de légères variations qu'on peut attribuer à la largeur variable de la section et à la présence de chenaux secondaires.

Dans le temps, la propagation de la marée est sensiblement linéaire entre Batiscan et Grondines et s'accélère à l'aval de cet endroit sans doute à cause de l'approfondissement du chenal dans cette zone. Cette constatation s'effectue quand on observe la figure 4.8. Celle-ci, rappelons-le, nous montre les courbes marégraphiques observées à Batiscan, Cap-à-la Roche, Grondines et Portneuf le 15 novembre 1968 (débit d'étiage d'automne). Nous avons réuni ensemble les points correspondants aux pleines mers et aux basses mers, la résultante étant des lignes représentant l'évolution temporelle de la marée. Ces lignes sont désignées par l'expression "lieux temporels". Quoique cette approche ne soit pas indissociable du niveau lui-même, elle constitue une méthode d'approximation efficace de la propagation de la marée.

La méthode d'interpolation utilisée procède de la précédente analyse combinée avec une technique de traçage manuelle. La figure 4.8 nous donne un exemple d'interpolation par cette technique. Les niveaux

interpolés dans la figure 4.12 sont ici reportés sur les lieux temporels identifiés précédemment. Il en est de même des inflexions de la marée. Ces points sont ensuite réunis manuellement en respectant le principe d'évolution linéaire en fonction de la distance.

Cet exercice a été répété pour chacune des marées utilisées dans les simulations. Les figures 4.8, 4.9, 4.10 et 4.11 illustrent les résultats de l'interpolation aux frontières des divers modèles appliqués. (Nous allons voir plus loin, aux chapitres 6 et 8 les diverses délimitations du domaine qui définissent les modèles 1 et 2)¹.

Dans le cas de la crue moyenne d'automne, nous disposons en plus de données marégraphiques mesurées par les Consultants Saint-Laurent à Lotbinière et Cap Levrard. Ces données une fois rattachées au référentiel d'analyse ont été étudiées dans le but de valider notre approche d'interpolation. Le résultat de cette démarche nous a confirmé la valeur de la méthode retenue et nous a permis d'en apprécier la précision. À notre avis, la précision temporelle inhérente à cette approche se situe aux alentours de ± 5 min et ± 10 min à la pleine mer. La précision à la basse mer est moins grande étant donné l'importance relative supérieure des singularités bathymétriques dans cet état. Nous estimons alors la précision à ± 15 min et ± 15 min. pour l'interpolation de la basse mer.

¹ Le modèle 2 s'appliquait à un tronçon plus court du fleuve se terminant à la hauteur de Grondines. Ce modèle développé pour un scénario d'implantation à Cap Charles n'est pas rapporté dans le présent texte.

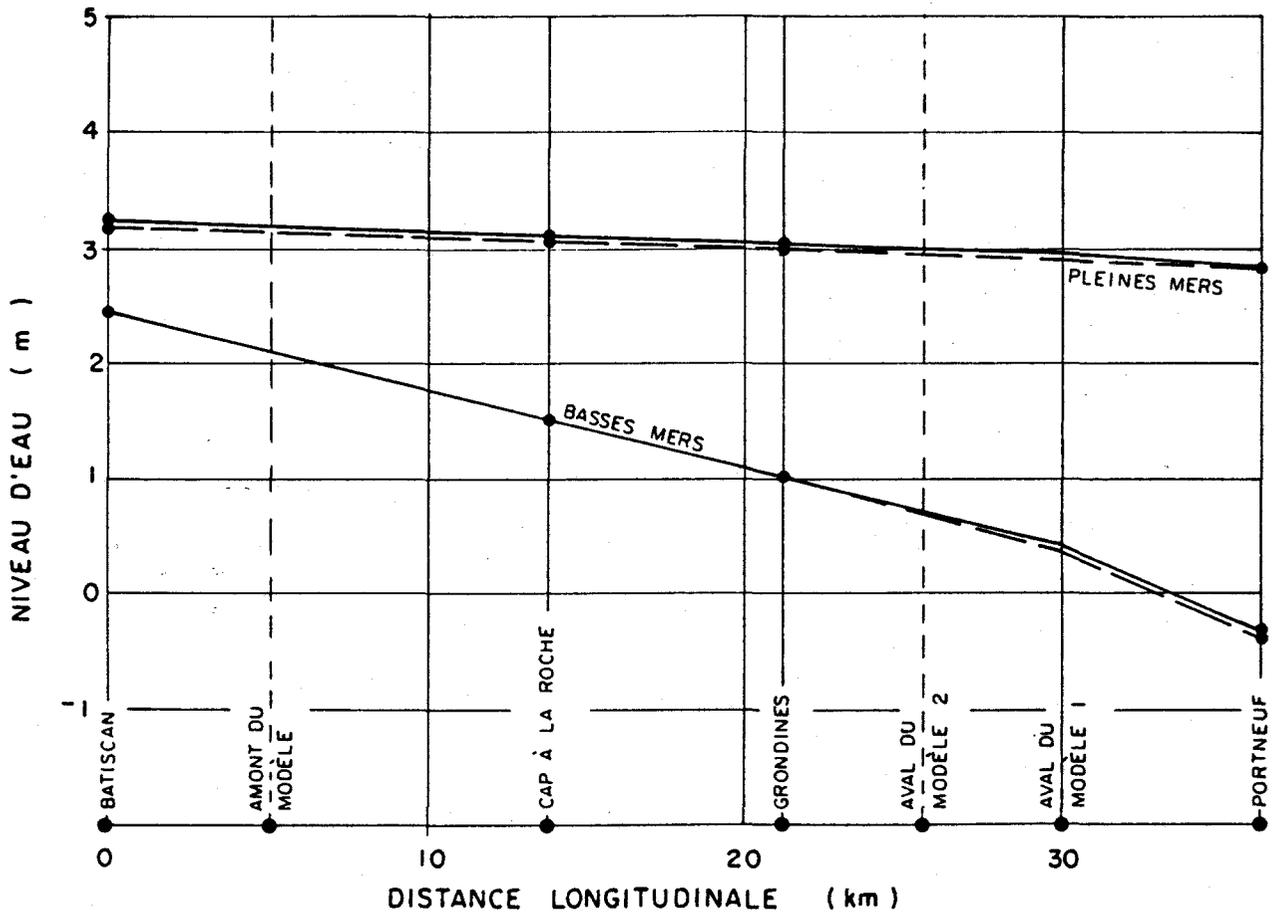


Figure 4.12: Interpolation des niveaux extrêmes caractéristiques de la marée entre Portneuf et Batiscan le 15 novembre 1968 - étiage moyen d'automne

CHAPITRE 5

CALIBRATION ET VALIDATION DU MODÈLE

5. CALIBRATION ET VALIDATION DU MODÈLE

5.1 Démarche

La calibration consiste à ajuster les différents paramètres du modèle afin d'obtenir les simulations les plus représentatives de la réalité. Parce qu'il est constitué d'équations d'équilibre plutôt que de relations empiriques le logiciel MEFLU-2.0 est d'une nature purement déterministe et n'utilise que trois paramètres ajustables: le frottement du fond, la viscosité turbulente et le coefficient de diffusion turbulente.

La démarche poursuivie est de type itératif; on ajuste les valeurs des paramètres jusqu'à ce que les quantités calculées (débit, niveau, concentration) se rapprochent le plus près possible des valeurs mesurées "in situ". Cette démarche est fondamentale et doit s'accompagner d'un maximum de rigueur car elle influence directement la qualité des simulations ultérieures (les autres états de référence, extrapolation du modèle au milieu futur).

La "validation" d'un modèle est une opération corollaire de la calibration. Elle permet de vérifier la valeur du modèle sur des ensembles distincts de données (éventuellement les autres états de référence) sans intervention nouvelle sur la valeur des paramètres. Il s'agit donc d'une contre-vérification du modèle qui nous assure que les ajustements opérés sur celui-ci demeurent valides pour un ensemble de données qui n'ont pas été prises en compte à la première étape.

Dans le cas de MEFLU-2.0, les ajustements opérés sur un sous-modèle (exemple: modèle géométrique) peuvent découler de l'inadéquation des résultats obtenus par un autre sous-modèle à une étape ultérieure (exemple: modèle de transport-diffusion). Ainsi, des ajustements peuvent être apportés à la bathymétrie pour mieux simuler la trajectoire des écoulements et ainsi, obtenir une meilleure estimation du transport.

En général, les ajustements possibles aux paramètres du modèle sont contenus dans une gamme relativement étroite étant donné la nature très déterministe de la formulation. Cette caractéristique du modèle des "eaux peu profondes" (équations de Saint-Venant) lui confère un degré de fiabilité relativement exceptionnel puisque peu de manipulations paramétriques sont possibles.

Dans ce chapitre, nous allons décrire le modèle géométrique (maillage et bathymétrie), le choix d'un événement de référence pour la calibration, les données disponibles, le choix des paramètres, les résultats obtenus pour la calibration, la validation du modèle et enfin les conclusions qu'on peut tirer sur la valeur du modèle et les possibilités de l'extrapoler à des états modifiés du milieu.

5.2 Modèle géométrique - discrétisation du milieu

La discrétisation du milieu doit tenir compte de plusieurs facteurs:

- la bathymétrie;
- la durée maximale des calculs;
- la direction générale des écoulements;
- la précision recherchée.

Pour la calibration du modèle et l'élaboration des états de référence actuels - pour fin de comparaison ultérieure - , un maillage de 487 éléments T-6 (1948 éléments T-3 pour le modèle de transport) comprenant 1065 noeuds a été développé (figure 5.1).

Ce maillage est généralement orienté dans le sens de l'écoulement, la longueur des éléments pouvant aller jusqu'à 5 fois leur largeur. Cette distorsion est permise étant donné l'approximation quadratique des vitesses et la direction du maillage.

Nous avons utilisé abondamment l'option de bathymétrie discontinue offerte par MEFLU-2.0 afin de mieux prendre en compte les variations

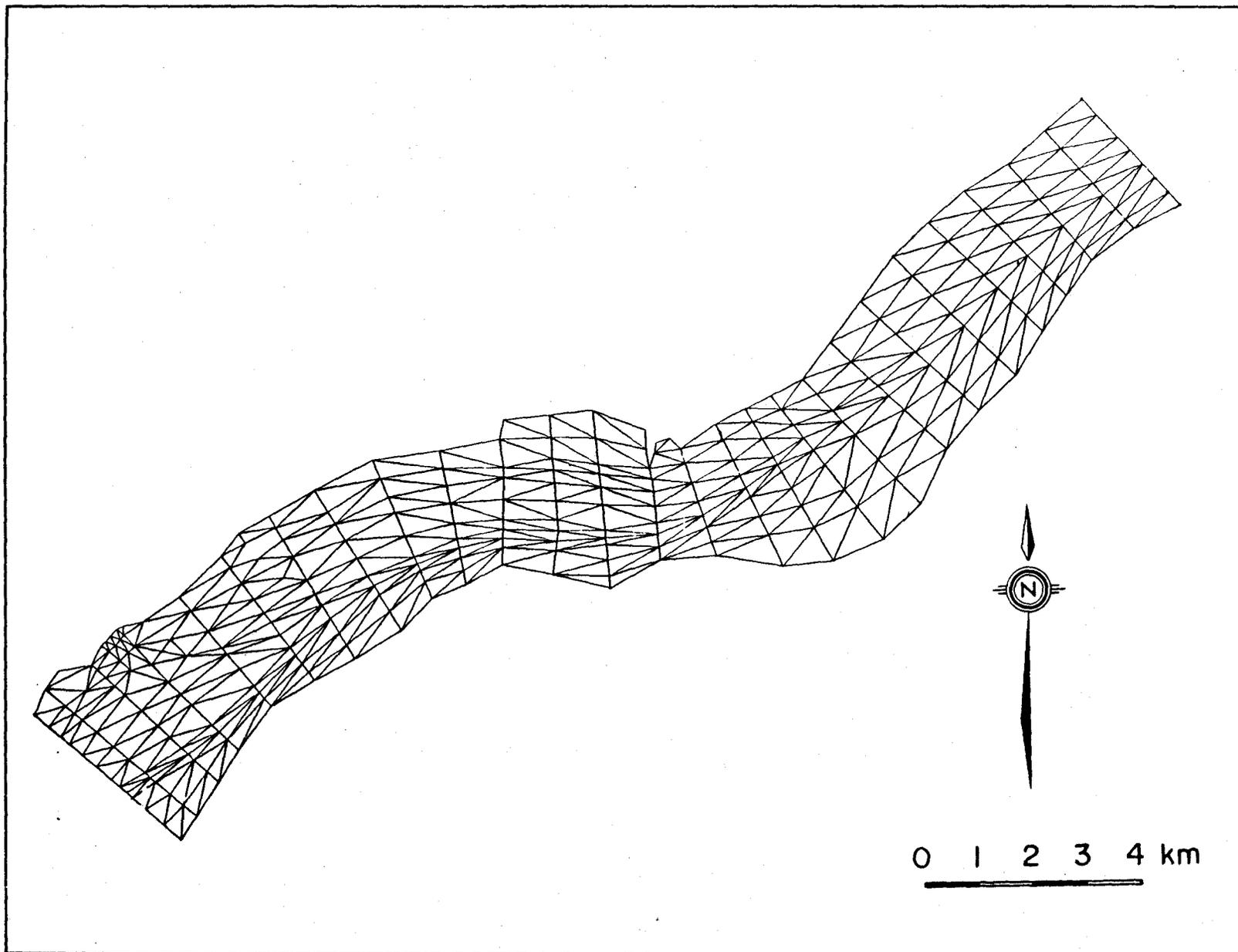


Figure 5.1: Discrétisation du milieu dans l'état actuel

rapides de profondeur dans le fleuve (les abords du chenal maritime, les chenaux secondaires).

La frontière amont du domaine a été placée à l'amont de la rivière Sainte-Anne afin de pouvoir modéliser la propagation des eaux de cette rivière dès leur entrée dans le fleuve. Autrement, nous aurions été confrontés à un sérieux problème d'indétermination des conditions limites amont pour le modèle de transport diffusion. De plus, le maillage a été configuré plus dense à l'embouchure de la rivière de manière à bien intégrer l'apport de cette dernière au modèle.

5.3 Choix d'un état-cible pour la calibration

Les résultats du modèle doivent être comparés avec un état de référence pour lequel on dispose d'un maximum d'information. La pertinence des observations disponibles dépend des conditions prévalant lorsqu'elles ont été recueillies. Ainsi, comme l'influence de vents violent, ou la présence d'un couvert de glace n'est pas prise en compte par la présente étude, il est important de s'assurer que ce facteur ne joue pas un rôle significatif dans l'événement retenu car alors, la pertinence de la calibration serait douteuse.

La journée du 25 octobre 1986 a été retenue pour documenter l'état de calibration. L'équipe de travail des "Consultants Saint-Laurent" a réalisé alors des mesures de vitesses et de conductivité. Le niveau de la marée a été mesuré à l'aide de deux marégraphes enregistreurs implantés près du chenal à Lotbinière et Cap Lévrard. Les mesures de trois marégraphes permanents de Pêches et Océans Canada ont aussi été utilisées. Le groupe de télédétection et de traitement d'images de l'INRS-Eau a procédé à une campagne de survols en vue de localiser le "panache" de la rivière Sainte-Anne. Notons que la journée du 25 octobre était caractérisée par de faibles vents du sud-ouest et un ciel d'une clarté exceptionnelle. Ce dernier facteur a d'ailleurs permis l'obtention d'images de très grande qualité.

Les conditions d'hydraulicité du fleuve pour cette journée correspondent à celles d'une crue moyenne d'automne. La Direction du Milieu hydrique du ministère de l'Environnement du Québec nous a rapporté une valeur du débit fluvial (débit résiduel) de 13 500 m³/s. Les eaux de la rivière Sainte-Anne s'évacuaient à un taux de 355 m³/s, ce qui correspond à une crue exceptionnelle dans ce cas.

La durée de l'événement cible est de 24h50 ce qui correspond à deux cycles semi-diurnes complets de la marée. Le 25 octobre 1986, la marée était dans une phase de vive-eau caractérisée par la succession de pleines mers et de basses mers très contrastées (voir la figure 4.10). Dans ce genre de marée, la composante diurne est alors en phase avec la composante semi-diurne ce qui amplifie les différences d'amplitude d'un cycle à l'autre.

5.4 Données disponibles pour l'état-cible

Nous allons donner ici les informations disponibles sur les prises de données relatives à la calibration.

5.4.1 Niveaux d'eau

Les données de cinq marégraphes ont été utilisées pour la journée de référence. Les données de trois marégraphes permanents de Pêches et Océans Canada (Grondines, Cap-à-la Roche et Batiscan) et deux autres, temporaires, opérés par les Consultants Saint-Laurent ont été colligées. Nous tenons ici à remercier les personnes responsables des données marégraphiques à Pêches et Océans Canada (Rimouski) pour la diligence dont ils ont su faire preuve dans la fourniture de ces informations.

L'intervention des Consultants Saint-Laurent visait le comportement de la marée aux extrémités du modèle, dans le but de vérifier la possibilité d'interpoler efficacement celle-ci pour les événements de références historiques. Il s'agissait également de minimiser les facteurs d'erreur au niveau de la calibration du modèle.

Deux marégraphes Aanderaa ont donc été mouillés aux extrémités du domaine modélisé. Les appareils ont pris des mesures du 18 au 29 octobre 1986. Pour chacun des appareils, on a utilisé un mouillage ne comportant qu'une ligne de fond, sans aucune bouée de surface en permettant le repérage.

Près de la limite amont du domaine, un WLR-5 a été mouillé au Cap Lévrard. Il a fourni des mesures à une fréquence de 15 minutes. Cet appareil était muni d'une sonde 0-130 m. À la limite aval du domaine, on a mouillé un TG-4 qui a mesuré les niveaux à une fréquence de 30 minutes. Cet appareil était muni d'une sonde 0-20 mètres ayant une plus grande sensibilité que celle du WLR-5. En pratique, la précision des capteurs est de l'ordre du millimètre. Afin de réduire l'influence des vagues, les mesures sont intégrées pendant environ 27 secondes sur le TG-4 et pendant 40 secondes sur le WLR-5. La plus forte perturbation de la mesure peut provenir du courant, si celui-ci influence la pression, de façon positive ou négative, au niveau du capteur. Pour réduire cette éventualité, les marégraphes étaient couchés sur le fond et non pas maintenus verticalement par leur mouillage.

Pour le marégraphes TG-4 placé à Lotbinière, on dispose de vérifications nombreuses afin de le rattacher au niveau géodésique. Pendant les périodes de terrain, on a effectué des lectures du niveau d'eau sur une échelle de marée installée au quai. L'altitude de cette échelle a été rattachée aux niveaux de référence du GSC. Au Cap Lévrard, un rattachement identique a été fait mais on ne dispose que d'un seul contrôle des niveaux. Cette mesure a été prise au moment de la récupération de l'appareil.

Les données pertinentes au 25 octobre 1986, jour de la calibration, sont décrites au chapitre 4 (figure 4.10).

5.4.2 Vitesse des courants

Une campagne spéciale de mesure des courants a été réalisée le 23 octobre 1986. Quoique cette campagne de mesures n'était pas prévue au

devis d'étude, nous avons jugé utile voire, indispensable de bien établir la valeur du modèle en ce qui concerne les vitesses des courants, en particulier sur l'estran et à la proximité du chenal de navigation. Il est en effet nécessaire de démontrer la fiabilité du modèle dans la zone visée par les changements projetés. Il s'agit ici d'une procédure de validation du modèle.

Quatre points de mesures ont été choisis sur un transect situé du côté nord du chenal de navigation vis-à-vis du quai de Lotbinière (figure 5.2). Deux de ces points sont sur l'estran, un à la limite de l'estran et le dernier dans le chenal du côté nord.

Des mesures ont été prises à quatre moments du cycle de la marée: à mi-baissant, à marée basse, à marée montante et à marée haute. Les mesures ont été prises à partir d'une embarcation amarrée et avec un courantomètre Aanderaa RCM-4S. Les détails concernant la précision de cet instrument ainsi que les données brutes de cette campagne sont données à l'annexe 2. Dans le but de rendre ces données compatibles au modèle, nous avons effectué une intégration verticale sur celles-ci. Les résultats sont présentés au tableau 5.1.

5.4.3 Conditions de mélange

Obtenir des données fiables et utilisables sur la destination des eaux de la rivière Sainte-Anne une fois introduites dans le fleuve Saint-Laurent représente un problème de taille qui, s'il était résolu uniquement par des méthodes traditionnelles de terrain, occasionnerait des coûts considérables. La difficulté est associée à la variabilité des écoulements induits par la marée. En effet, le lieu de démarcation des eaux de différentes provenances, évolue alternativement vers le littoral puis vers le chenal central d'écoulement avec la marée montante et baissante.

Les mesures de terrain, quoique précises sur un transect donné ne peuvent fournir qu'une image locale (limitée au transect) et pseudo-

Tableau 5.1: Données de vitesse du courant dans un transect du fleuve Saint-laurent vis-à-vis Lotbinière le 23 octobre 1986

		Temps relatif du modèle									
		3h30	4h00	9h30	10h00	10h30	14h00	14h30	15h00	23h30	24h00
Numéro ¹ du point	Variable mesurée	Numéro du pas de temps									
		7	8	19	20	21	28	29	30	47	48
1	$ V ^2$ [m/s]	-	1,07	1,36	-	-	.68	-	-	.52	-
	θ	-	56°	60°	-	-	55°	-	-	55°	-
2	$ V $	-	.46	-	-	.56	-	.54	-	.30	-
	θ	-	44°	-	-	50°	-	44°	-	30°	-
3	$ V $.27	-	-	.27	-	-	.31	-	.10	-
	θ	37°	-	-	25°	-	-	34°	-	0°	-
4	$ V $.27	-	-	-	.13	-	-	.34	-	.04
	θ	39°	-	-	-	18°	-	-	41°	-	349°

mi-baissant basse mer supérieure pleine mer inférieure mi-montant

$|V|$: module de la vitesse [m/s]; θ : angle horaire p/r au vrai nord

¹ Voir la figure 5.2 pour la position de ces points.

² Ces valeurs sont intégrées dans la verticale (voir l'annexe 2) pour les mesures brutes.

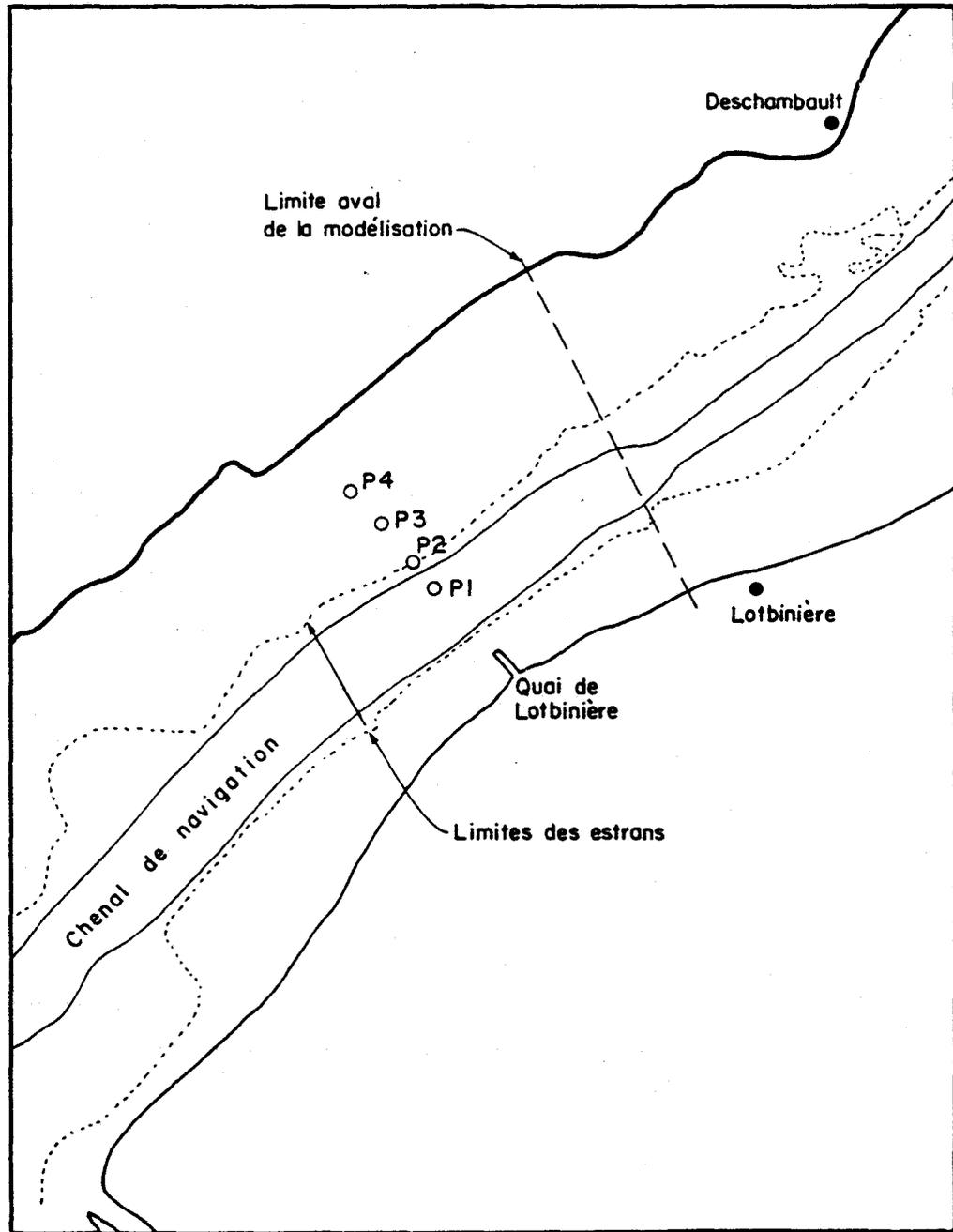


Figure 5.2: Positions des mesures de vitesses sur la section du quai de Lotbinière le 23 octobre 1986

instantanée (la durée du transect, c'est-à-dire, 1-2 heures) du milieu à l'étude. Pour un événement donné, par exemple, la marée du 25 octobre 1986, l'obtention de données synoptiques sur l'ensemble du milieu est nécessaire pour calibrer adéquatement le modèle de mélange des eaux. Des vues d'ensemble sont nécessaires à différents moments du cycle de la marée. Une excellente manière d'obtenir à la fois une vue d'ensemble d'un milieu et sa variabilité temporelle nous est fournie par la télédétection par survols accompagnée de contrôles "in situ" et suivie d'un traitement d'images. C'est l'approche adoptée pour la présente étude. La télédétection et le traitement d'images ont été confiés à une équipe spécialisée de l'INRS-Eau et les contrôles ont été effectués par les "Consultants Saint-Laurent".

Quatre moments du cycle de la marée ont été retenus pour documenter l'événement du 25 octobre: la basse mer, les marées mi-montante et mi-baissante et la pleine mer. Notons que la journée retenue s'est imposée par des contraintes de visibilité et de disponibilité des appareils du Centre canadien de télédétection. À priori, il était souhaitable de mesurer une marée de forte amplitude afin de contraster les phénomènes observés. En pratique, c'est une marée de faible marnage qui a fait l'objet de prises de données. Heureusement, la journée des survols, une visibilité exceptionnelle a permis d'obtenir des images d'une très grande qualité et ce pour les quatre phases d'intérêt du cycle de la marée.

On trouvera à l'annexe 4 l'information complète sur les caractéristiques des survols et la méthode des traitements des images. Les images elles-mêmes sont présentées sur support diapositive et sur papier à l'annexe infographique numéro 1 (partie E).

Les survols ont été réalisés à une altitude de 8 230 m approximativement. Deux capteurs ont été mis à contribution: MEIS pour le spectre visible (bandes 0 à 7) et Daedalus pour l'infra-rouge (bandes 11 et

12). La bande 12 nous a fourni l'information thermique, celle qui a été retenue pour démarquer les eaux en provenance de la rivière Sainte-Anne. Chacun des pixels (picture element) des images ainsi obtenues représente une surface de terrain de 10 m et 17 m de côté pour MEIS et Daedalus respectivement. Les données ont été traitées sur le système de traitement numérique des images ARIES III de DIPIX relié à un ordinateur-hôte VAX-VMS/780, à l'INRS-Eau. Elles ont ensuite été transférées à un micro-ordinateur IBM-PC/AT pour impression sur papier avec une imprimante-couleur (reprographe) IBM Color Jet Printer 3852.

Quoique les images dans le visible n'aient pas été exploitées pour l'identification du panache de la rivière Sainte-Anne, elles ont servi, à titre indicatif, à délimiter la zone de littoral à marée basse. Cette information s'est avérée utile pour améliorer quelque peu les données bathymétriques fournies au modèle. Malheureusement, le faible marnage de la marée observée associée au fort débit transitant dans le fleuve (crue d'automne) n'a pas permis d'exploiter cette information à son maximum. En effet, un fort marnage accompagné d'un faible débit du fleuve permet de découvrir considérablement les estrans à marée basse. La limite maximale de découverture aurait pu constituer une précieuse information pour compléter les cartes hydrographiques de Pêches et Océans, Canada.

Les images dans l'infra-rouge thermique ont permis de dresser des cartes synoptiques de la température de surface. Lorsque ces images sont corrélées avec des mesures de terrain prises simultanément (voir plus loin), la précision des données ainsi obtenues est du même ordre que celle des instruments de terrain ($0,1^{\circ}\text{C}$). Il suffit alors d'un faible écart de température (typiquement $0,5$ à 1°C) entre deux masses d'eau pour bien les distinguer. Dans le cas présent, les écarts entre le chenal maritime et la rivière Sainte-Anne étaient en moyenne de 4° (10° pour le fleuve, 6° pour la rivière) et de $0,5$ à 1°C par rapport aux eaux littorales d'amont (principalement, celles de la rivière Batiscaan).

Les mesures de terrain se caractérisent par ailleurs par une forte corrélation entre les données de température et celle de conductivité (voir plus loin). Ainsi, la conductivité varie graduellement de 30-40 μmhos à plus de 200 μmhos lorsque la température passe de 5,5° à 10°C. Cette variation de conductivité est le principal facteur permettant d'associer des eaux de températures différentes à diverses provenances.

Les résultats obtenus par cette méthode seront présentés et discutés à la section 5.6.4.

5.5 Choix des paramètres

Le choix des paramètres du modèle a comme premier but de reproduire le comportement de la marée en divers endroits du domaine. On porte alors notre attention sur l'amplitude et la phase de la marée. La calibration doit également assurer l'obtention d'un débit résiduel comparable à celui observé. En effet, on peut aisément comprendre que lorsqu'un volume d'eau est transporté dans une période donnée et au travers d'une section d'écoulement estimée correctement, alors la vitesse de courant qui en découle est en moyenne valide. Seuls des écarts différentiels de vitesse au travers de la section d'écoulement peuvent laisser subsister un besoin supplémentaire d'ajustement des paramètres. On effectue alors une vérification des profils de vitesses sur des sections en travers pour mettre une touche finale à l'ajustement.

5.5.1 Viscosité turbulente (ν_T)

Un léger ajustement sur le débit et les niveaux peut être obtenu en variant la valeur de la viscosité turbulente. Ainsi une diminution de ν_T conduit généralement à une relaxation des vitesses conjuguée à un taux de vidange (jusant) et de remplissage (flot) accélérés (synchronisme). Cependant, des essais cherchant à évaluer l'influence de ce

paramètre nous ont conduit à conclure qu'il pouvait difficilement être utilisé comme outil de calibration et ce pour les raisons suivantes:

1. Les effets d'une diminution de v_T se font surtout sentir autour d'une valeur critique. Son influence devient alors difficile à contrôler;
2. Une analyse de sensibilité de v_T est très exigeante en temps calcul;
3. La valeur de v_T doit être suffisante pour assurer la convergence de la solution. Plus souvent qu'autrement, la valeur minimale de v_T vérifiant cette condition est supérieure à la valeur critique introduite en 1. Dans ce cas, l'influence de v_T n'est pas vraiment importante.

À la lumière de ces observations, nous avons choisi d'opter pour la valeur de v_T la plus faible conduisant à une norme de convergence $\Delta U/U$ de 1%. En pratique, v_T se situe aux alentours de 25 m²/s, ce qui est conforme aux valeurs présentées dans la bibliographie.

5.5.2 Coefficient de frottement: "n" de Manning

Le coefficient de Manning constitue le seul paramètre soumis à une procédure d'ajustement systématique. Son effet sur la perte de charge et les vitesses peut être estimé en première approximation par la formule de Manning (valide en régime permanent uniforme)

$$\Delta H = L \left(\frac{\bar{V}n}{H^{2/3}} \right)^2$$

où

ΔH : exprime la dénivellation associée à la perte de charge;

L : la longueur du tronçon considéré;

\bar{V} : la vitesse moyenne du tronçon

\bar{H} : la profondeur moyenne

À titre d'exemple, considérons le cas où le débit résiduel calculé est trop faible par rapport à la valeur observée. Si ΔH est imposé, la carence du débit est corrigée en diminuant "n", ce qui aura pour effet de rehausser les vitesses. En régime non-permanent, on observera également:

- une augmentation d'amplitude de la marée associée à une diminution de la perte de charge à marée basse;
- une accélération de la vidange de l'estuaire (décalage du marégramme vers l'origine).

Une correction des vitesses sur une échelle plus locale peut être obtenue en modifiant le frottement associé à une zone spécifique. L'examen du substrat fournit alors des indications pertinentes pour ce faire.

En effet, la perte de charge est directement reliée à la nature (granulométrie) des sédiments formant le lit d'écoulement. Une carte sédimentologique (figure 5.3) a été constituée à partir de la bibliographie (chapitre 3) et des relevés effectués lors de la reconnaissance sédimentologique (chapitre 7). Six classes de sédiment différentes correspondant chacune à une valeur de "n" ont été définies. La calibration a été réalisée en conservant les superficies relatives à chacune des classes. Les valeurs retenues sont données au tableau 5.2.

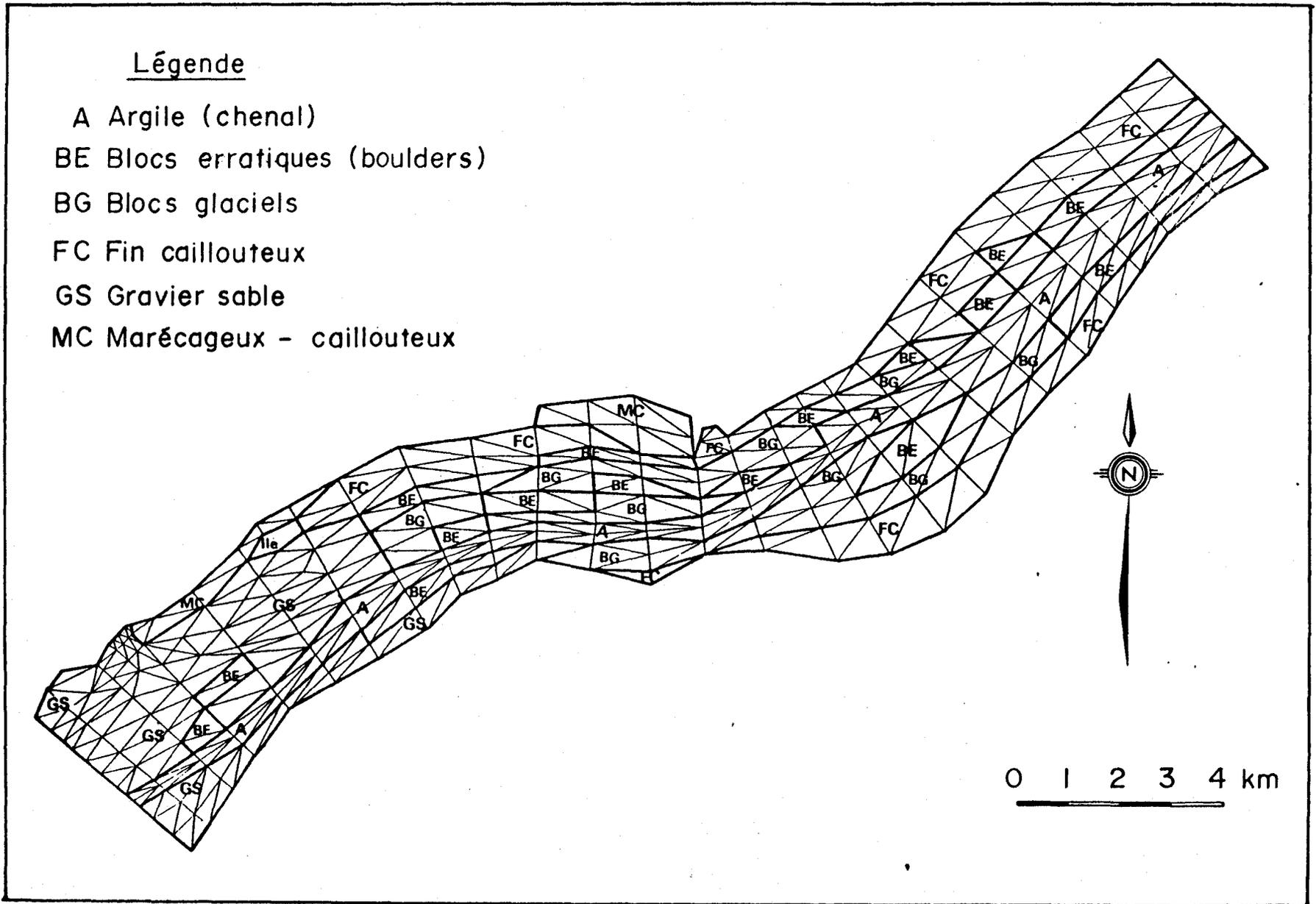


Figure 5.3: Délimitation dans le modèle des zones sédimentologiques

Tableau 5.2: Choix des coefficients de frottement dans le modèle

Classes de sédiment	"n" de Manning
- Blocs erratiques (Boulder)	0,043
- Blocs glaciels (Drop stones)	0,038
- Marécage	0,038
- Cailloux	0,033
- Sable et gravier	0,028
- Argile et autre (chenal)	0,016

5.5.3 Coefficient de dispersion (K_i)

Le phénomène de diffusion nécessite le choix d'un coefficient qui exprimera l'intensité de cet aspect dans l'ensemble de la répartition des masses d'eau de qualités différentes ainsi que le degré de mélange dans l'ensemble du domaine. Il est généralement admis que ce phénomène est dominé par l'effet dispersif de l'irrégularité spatiale des profils de vitesse. Ainsi, des expressions empiriques permettent de relier les caractéristiques de l'écoulement à l'intensité de la diffusion. Nous utiliserons ici la formule de Taylor modifiée:

$$K_i = K_n |v_i| H^{5/6}$$

où K est un coefficient d'ajustement de l'ordre de 60 dans les estuaires.

En principe, un ajustement pourra donc être obtenu en modifiant ce dernier coefficient de façon à reproduire le plus fidèlement possible le comportement naturel du "panache" de mélange. Dans le cas présent, le transport par convection étant prépondérant, ce coefficient sera annulé compte tenu que le schéma numérique présente une diffusion résiduelle faible qu'il ne convient pas d'augmenter.

5.6 Comparaison des résultats du modèle avec les mesures

Dans cette section, nous allons comparer les résultats du modèle avec les données de calibration. Nous considérerons dans l'ordre, le débit du fleuve, les niveaux de la marée, les vitesses et enfin le mélange des eaux.

5.6.1 Débit

a) Résultats pour l'état de calibration

La figure 5.4 illustre la variation du débit calculé en divers endroits du domaine pour la crue moyenne d'automne: à l'amont du modèle, à la hauteur de Grondines et à l'aval. Dans cette figure, une valeur négative du débit correspond à un apport au domaine. Une valeur positive est attribuée à l'intérieur et à la sortie du modèle.

La comparaison d'un débit variable influencé par la marée avec une valeur constante résiduelle est difficile à cause des effets dynamiques d'accumulation. Cependant, on constate que le débit obtenu par le modèle reflète assez bien le débit-cible estimé par le MENVIQ pour la journée du 25 octobre 1986. La précision atteinte pour cette simulation est de l'ordre 5 à 10%, soit une valeur comparable à la précision du débit mesuré (estimé en l'occurrence).

b) Validation avec les autres états

La validation, rappelons-le, a pour but de confirmer la valeur des paramètres en comparant les résultats du modèle avec un ou des ensembles indépendants de mesure. Elle n'a pas pour but d'ajuster les paramètres. Les figures 5.5, 5.6 et 5.7 montrent les débits obtenus par le modèle pour les autres états-cibles de référence soient, l'étiage moyen et le module d'automne et la crue moyenne du printemps. Ces états sont décrits en détail au chapitre 4. Comme nous l'avons vu alors, les débits correspondants aux événements historiques représentatifs des états-cibles sont successivement 9 550, 11 200 et 17 200 m³/s. Pour

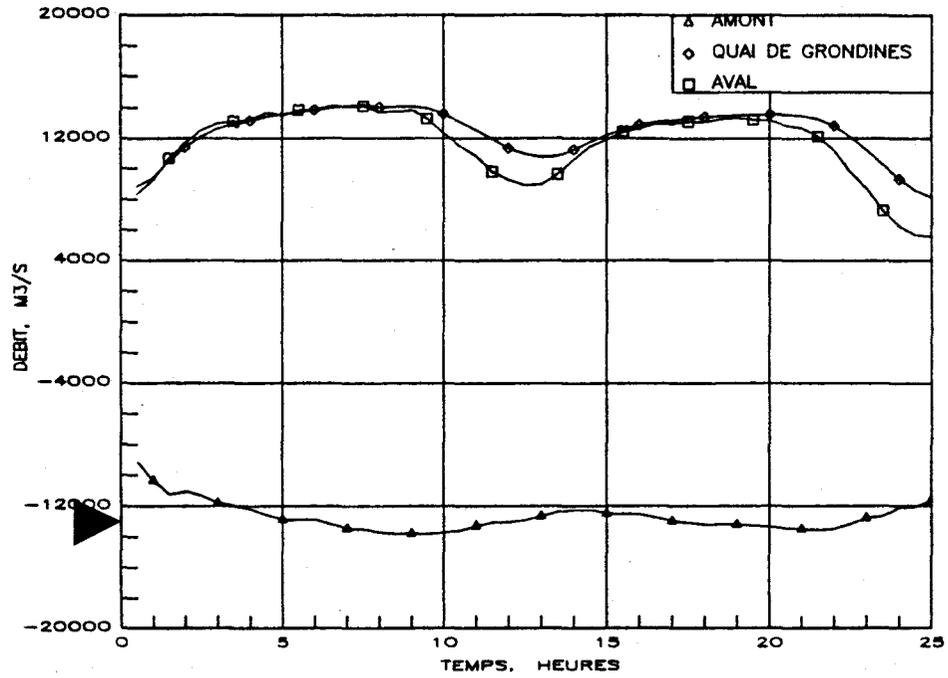


Figure 5.4: Crue moyenne d'automne - débit simulé en conditions actuelles en divers endroits du modèle

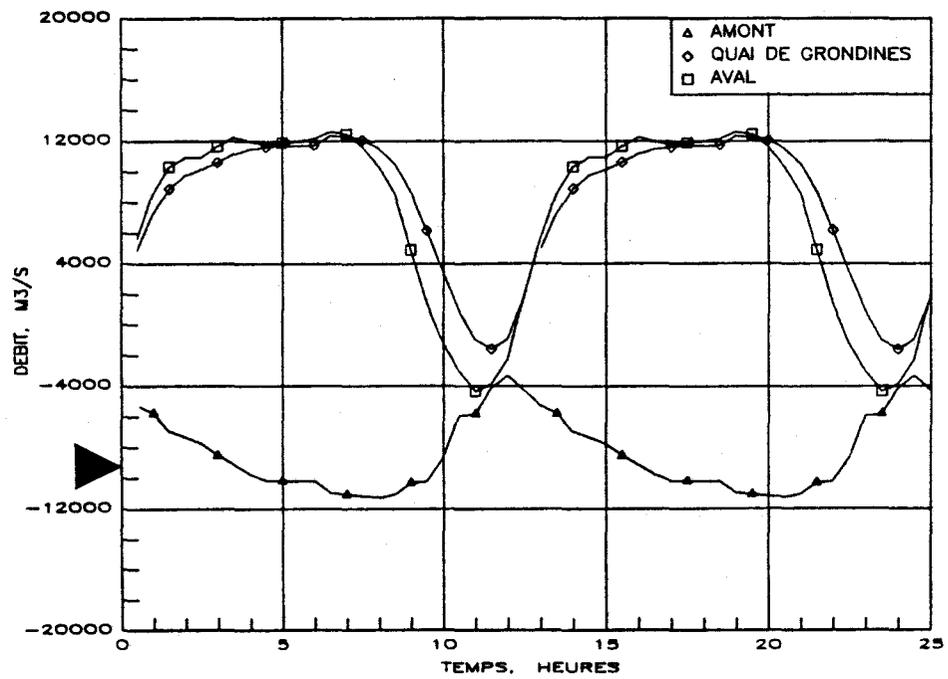


Figure 5.5: Étiage moyen d'automne - débit simulé en divers endroits du modèle - conditions actuelles

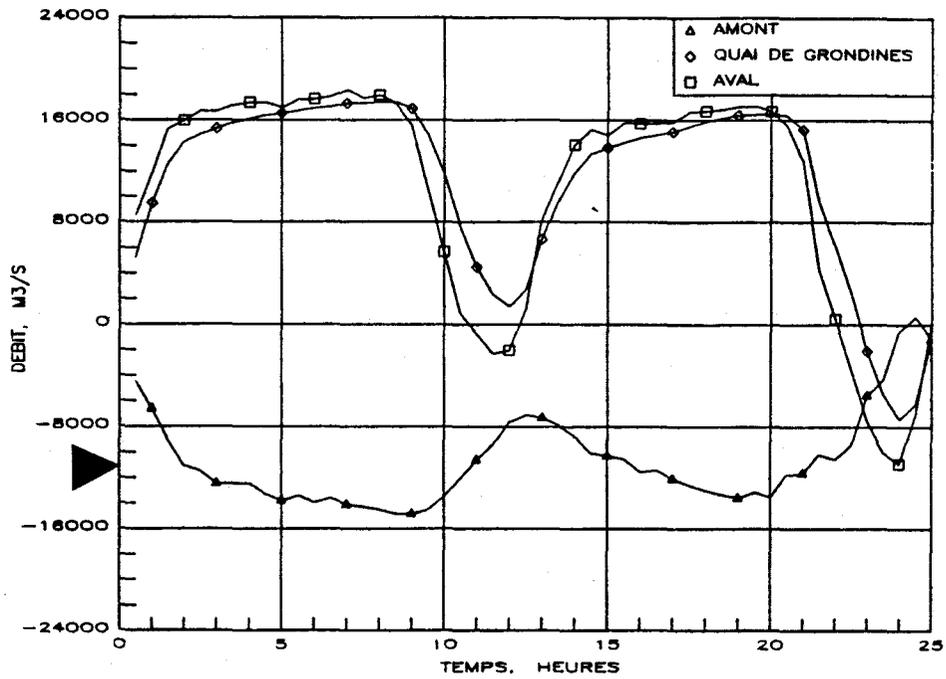


Figure 5.6: Module d'automne - débit simulé en divers endroits du modèle - conditions actuelles

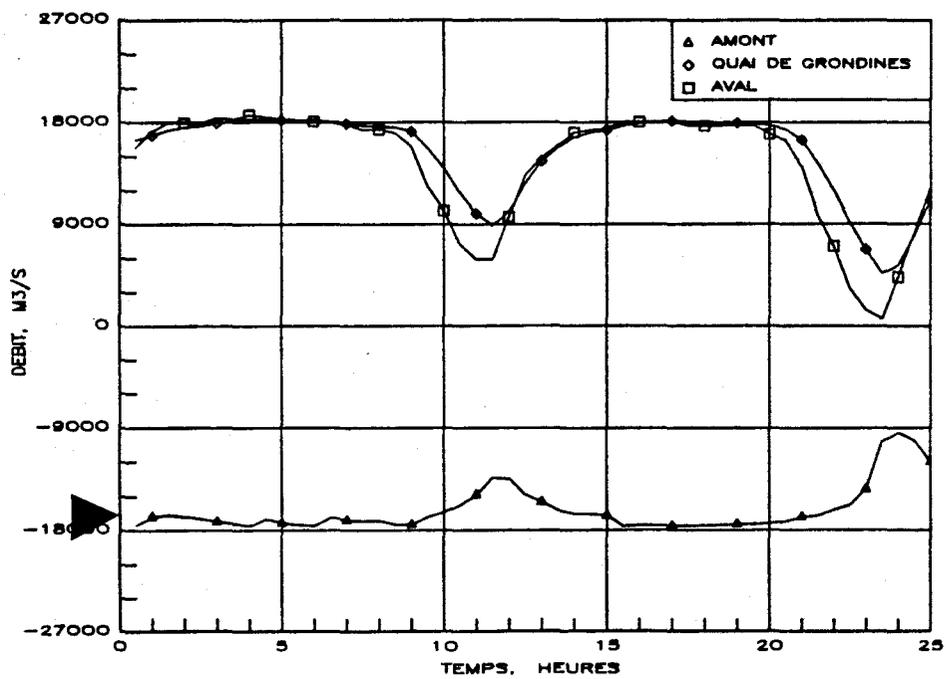


Figure 5.7: Crue moyenne du printemps - débit simulé en divers endroits du modèle - conditions actuelles

ces trois cas, les résultats obtenus sont à nouveau excellents, la précision se situant en moyenne autour de 5%.

5.6.2 Niveau d'eau

a) Résultats pour l'état de calibration

Les marégrammes des figure 5.8 a, b et c indiquent les niveaux d'eau observés et calculés à Cap-à-la Roche, Grondines et Lotbinière pour la journée du 25 octobre 1986. Dans les trois cas, on remarque une correspondance presque parfaite au niveau du synchronisme. Les écarts d'ajustement qu'on observe sur les différentes courbes aux pleines mers et aux basses mers sont en moyenne de l'ordre de 10 cm en plus ou en moins selon la phase.

Cet écart, quoique relativement minime, paraît relativement plus important étant donné la faible amplitude de la marée le 25 octobre 1986.

b) Validation avec les autres états

Les figures 5.9 a et b, 5.10 a et b et 5.11 a et b montrent la comparaison des résultats du modèle et des valeurs mesurées à Cap-à-la Roche et Grondines pour chacun des autres états-cibles de référence successivement. Les résultats sont en général très acceptables les écarts se situant autour de 0 à 5 cm pour l'étiage et le module d'automne et 15 à 20 cm pour la crue de printemps. Dans ce dernier cas, des phénomènes négligés par le modèle pour les fins de cette étude comme le vent peuvent expliquer cet écart.

En résumé, en ce qui concerne le niveau, les résultats du modèle sont suffisamment précis, tant pour l'état calibré que pour la validation, pour que l'on puisse considérer l'ajustement du modèle comme optimal en considérant les caractéristiques combinées d'amplitude et de phase.

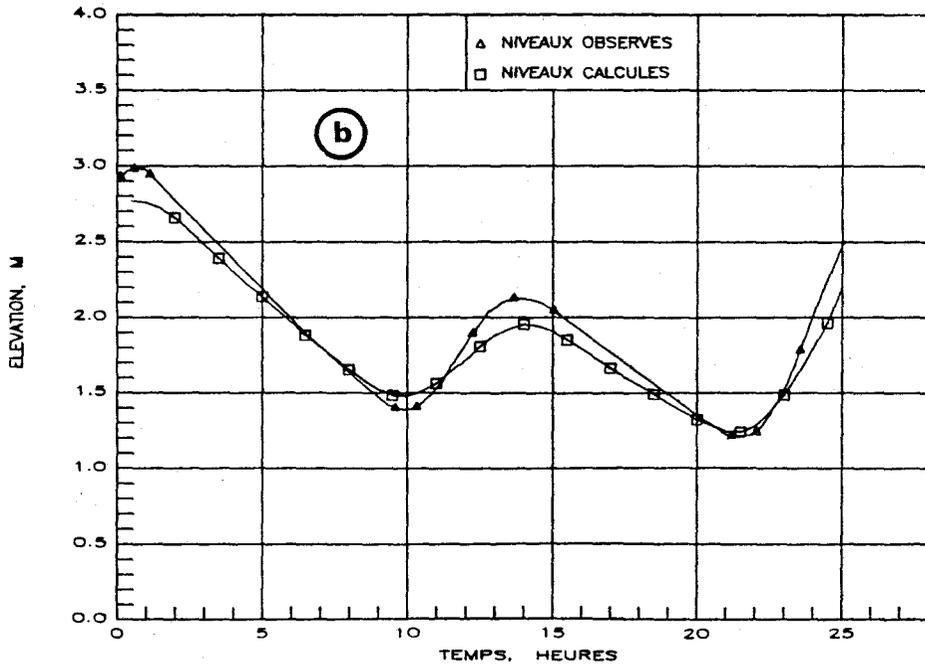
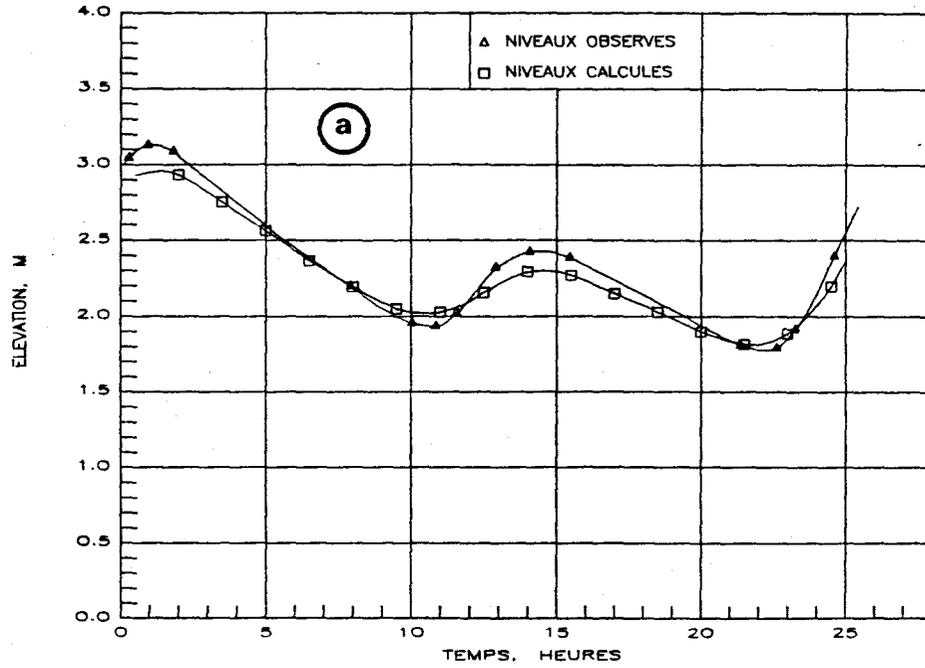


Figure 5.8: Crue moyenne d'automne - marégrammes observés et calculés -
a: Cap-à-la-Roche; b: Grondines

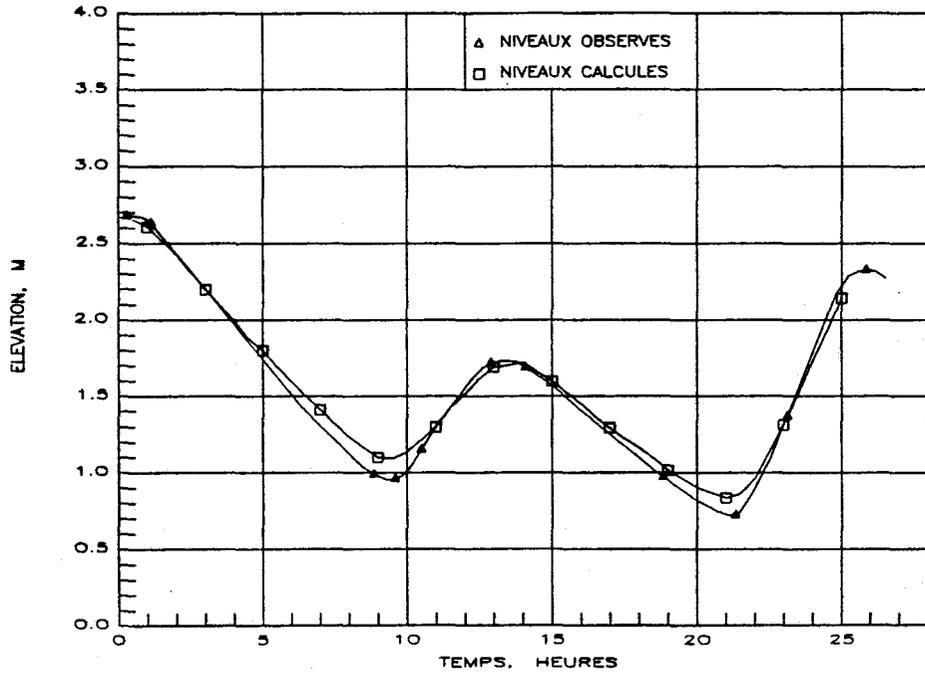


Figure 5.8(suite): Crue moyenne d'automne - marégrammes observés et calculés à Lotbinière

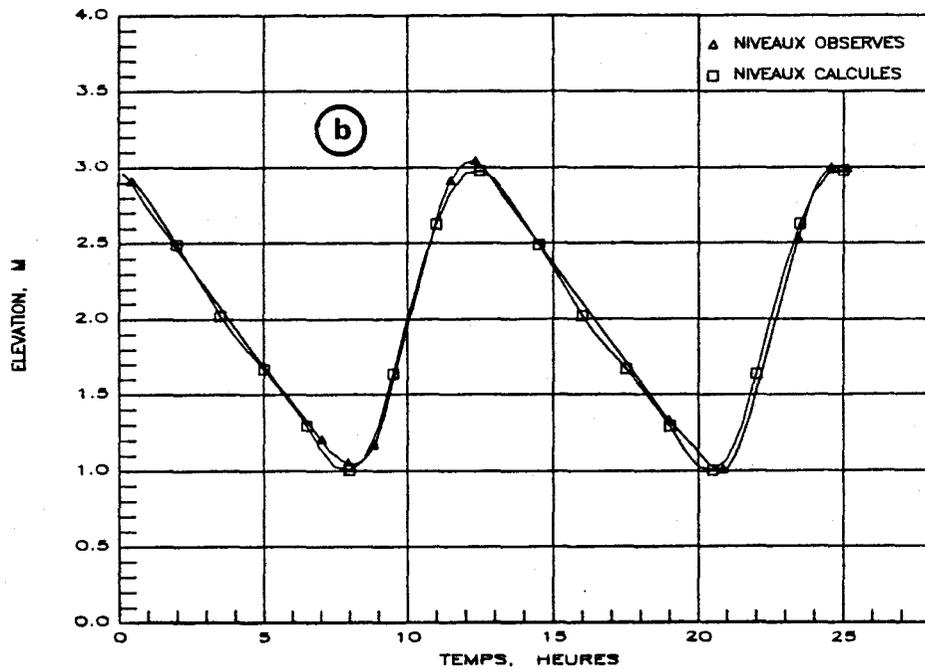
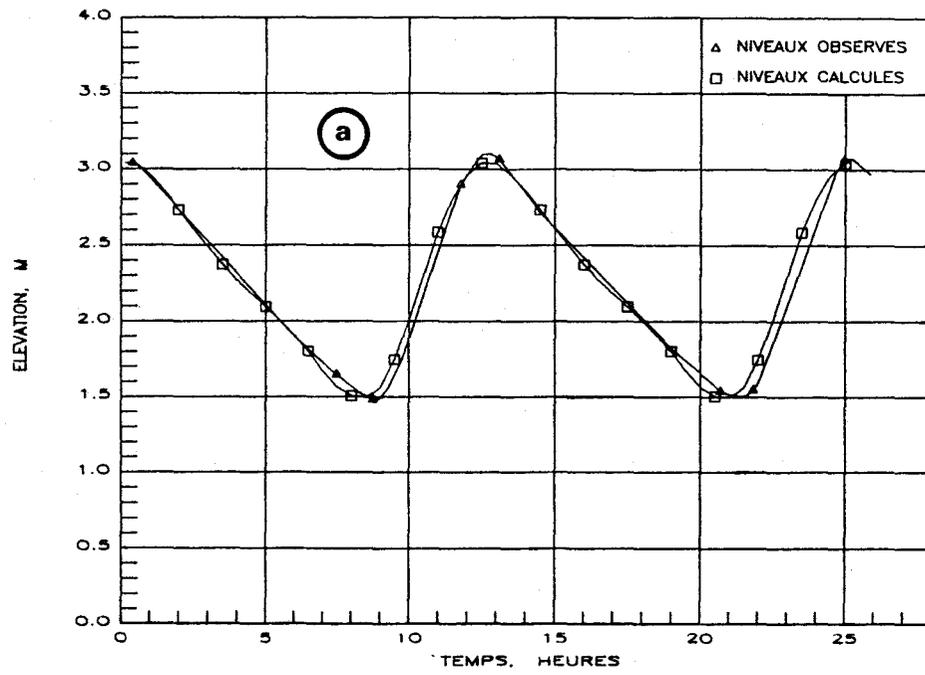


Figure 5.9: Étiage moyen d'automne - marégrammes observés et calculés -
a: Cap-à-la-Roche; b: Grondines

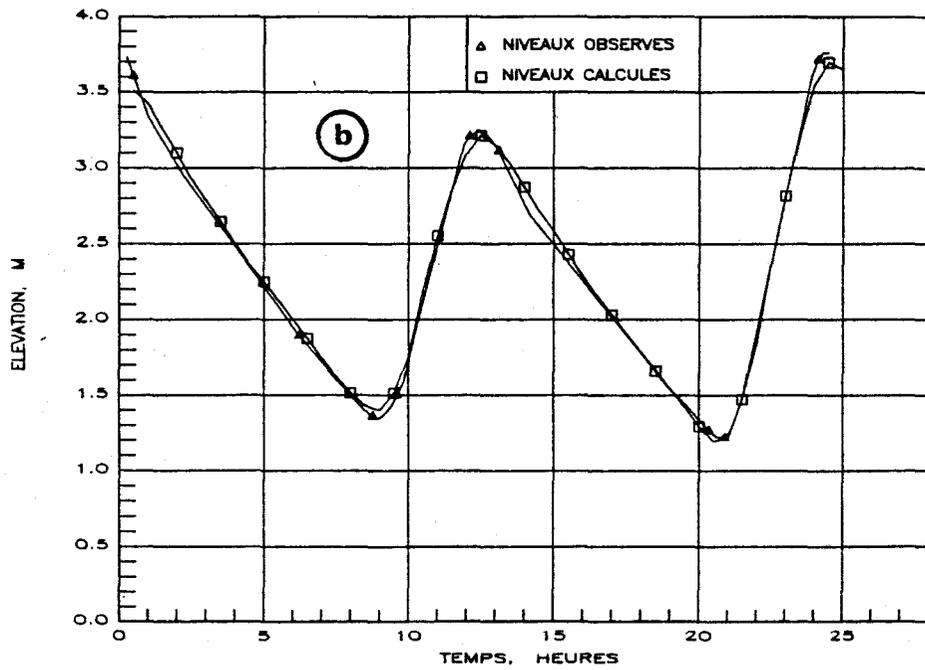
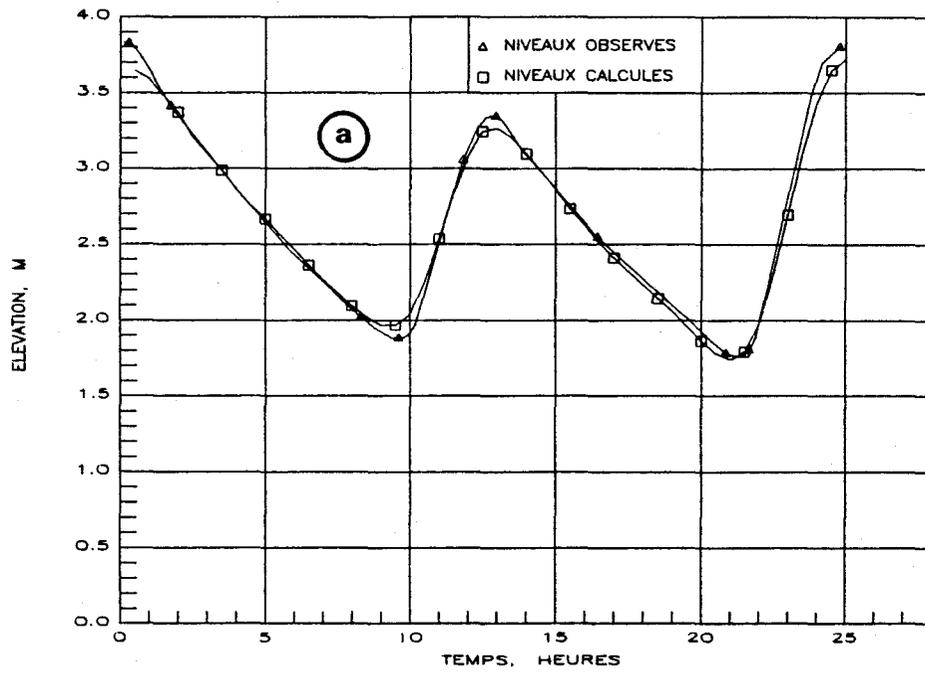


Figure 5.10: Module d'automne - marégrammes observés et calculés -
a: Cap-à-la-Roche; b: Grondines

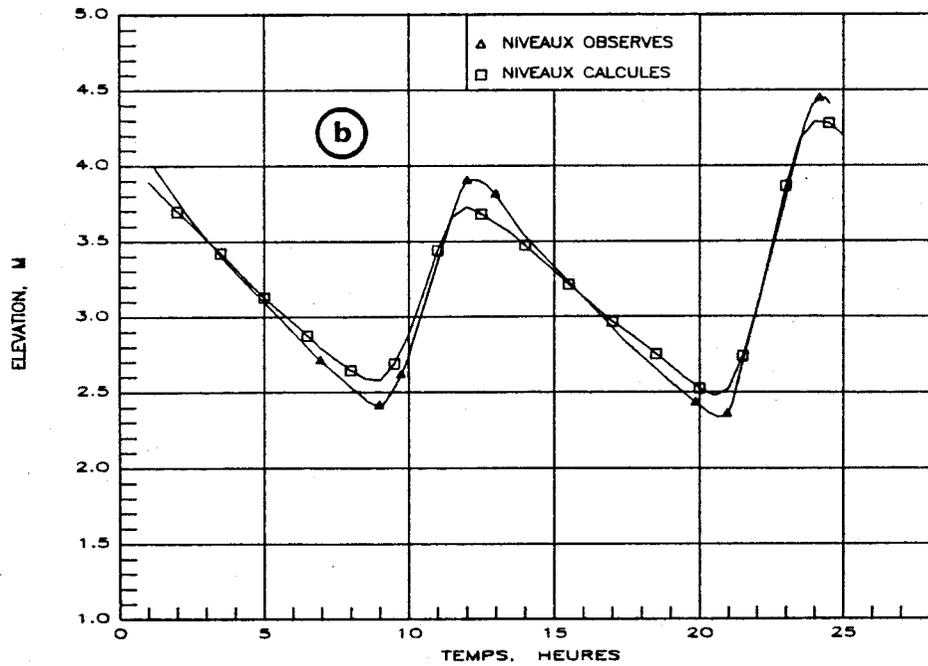
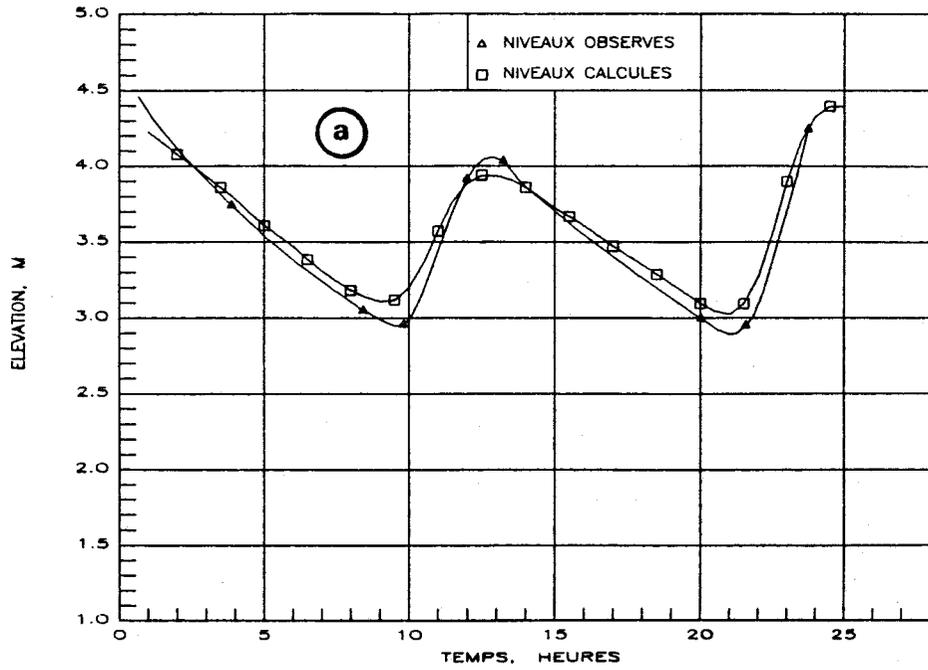


Figure 5.11: Crue moyenne du printemps - marégrammes observés et calculés -
a: Cap-à-la-Roche; b: Grondines

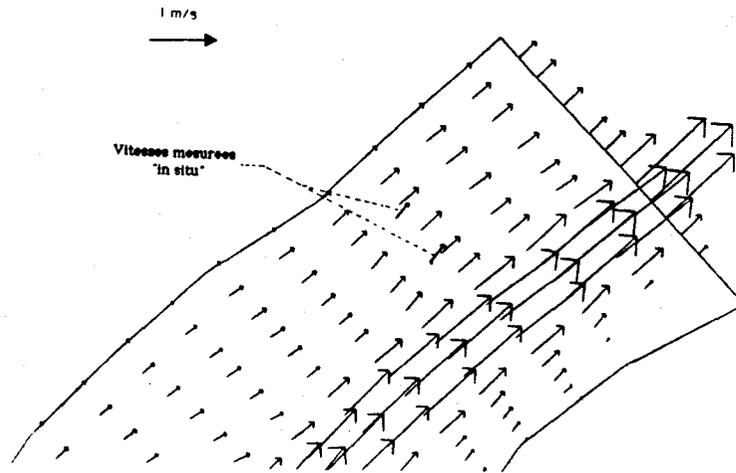
5.6.3 Les vitesses

On trouvera aux figures 5.12, 5.13, 5.14 et 5.15 la représentation des vitesses simulées et observées pour la journée de référence du 25 octobre 1986. Il doit être rappelé au préalable que les valeurs mesurées sont, en fait, celles du 23 octobre 1986 soit, deux jours précédant la journée-cible pour la calibration. Deux facteurs peuvent entraîner des différences de comportement hydrodynamique: le débit et la marée. L'influence du débit du fleuve sur une si courte période est relativement faible ($\pm 2\%$) et peut être négligée "à priori". Quant à la marée, son évolution dans le cycle lunaire est plus rapide mais certains épisodes sont très comparables. Nous avons donc procédé à la conciliation de phase des données mesurées et des simulations avant de procéder à la comparaison. À l'examen des résultats, on remarque une excellente correspondance des résultats du modèle avec les valeurs mesurées tant en intensité qu'en orientation des courants. Cette remarque est particulièrement évidente à l'examen de la séquence correspondant au mi-montant. En effet, dans cette séquence (référence: figures 5.12 i et j), on observe un comportement nettement différencié entre le chenal de navigation et la batture. Les vitesses calculées sont totalement corroborées par les mesures.

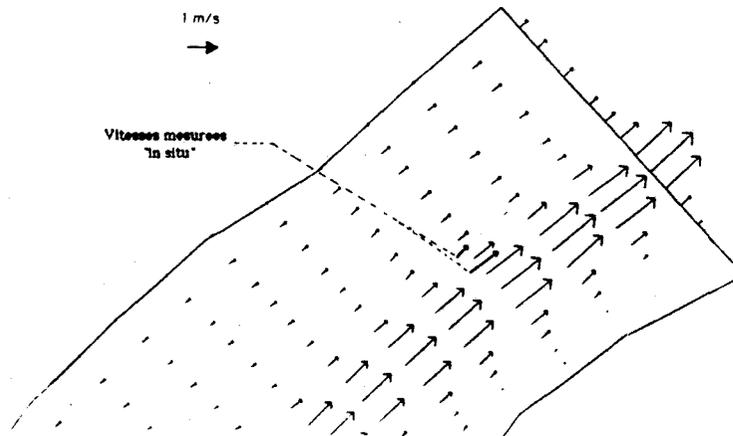
Cette dernière constatation est particulièrement importante dans le contexte de cette étude puisque la zone de l'estran est celle privilégiée par le poulamon atlantique comme voie migratoire. On comprend dès lors l'importance de la qualité des résultats obtenus par le modèle pour cet aspect particulier de la question.

5.6.4 Mélange des eaux

Comme nous l'avons vu précédemment, les données disponibles pour calibrer le modèle de mélange des eaux ont été obtenues lors d'une campagne de télédétection "ad hoc". Rappelons aussi que le contrôle "in situ" des conditions de mélange (voir la section 3.3 et aussi l'annexe 3) a révélé une absence de stratification thermique sur la verticale ce qui correspond à la principale hypothèse des modèles intégrés dans la verticale.

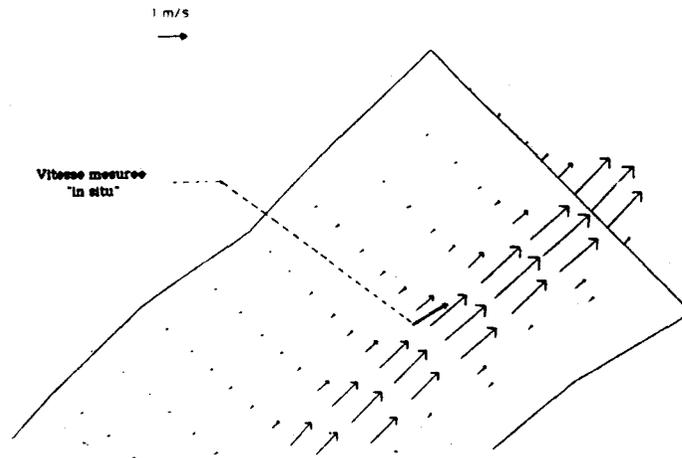


3H30

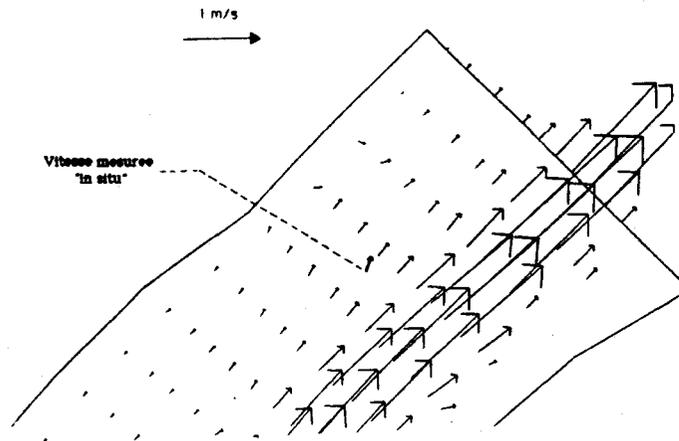


4H00

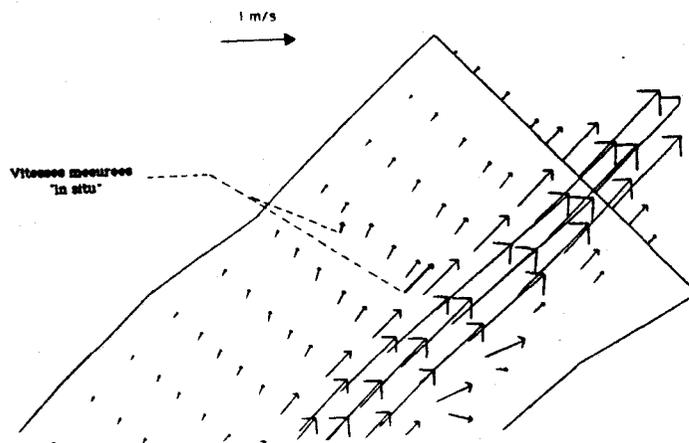
Figure 5.12: Comparaison des vitesses mesurées et calculées par le modèle - État de référence pour la calibration - temps relatif du modèle - mi-baissant (voir aussi les données brutes au tableau 5.1)



9H30

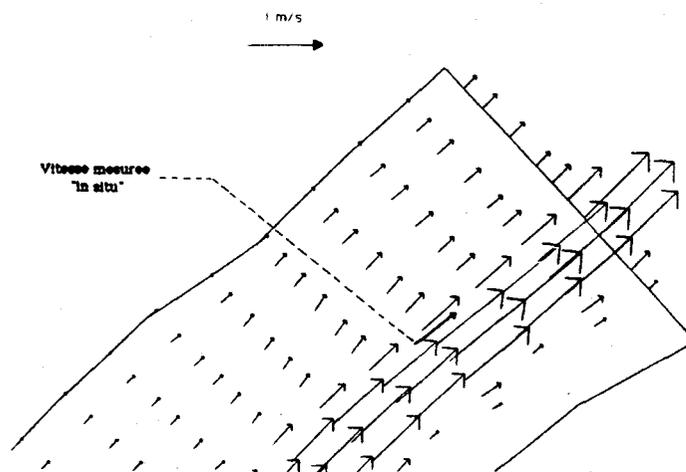


10H00

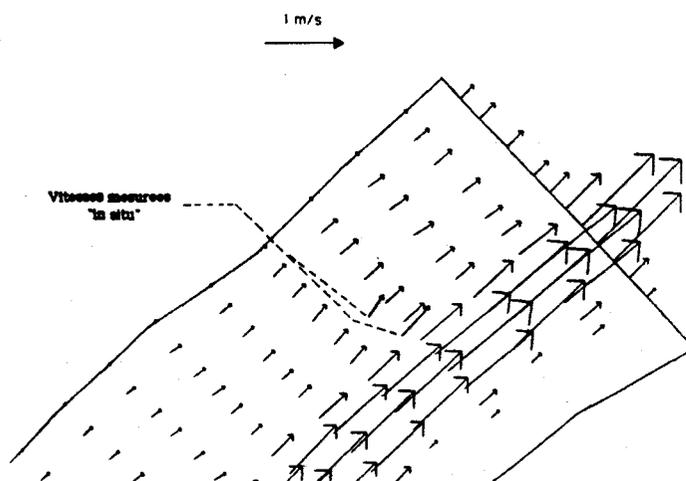


10H30

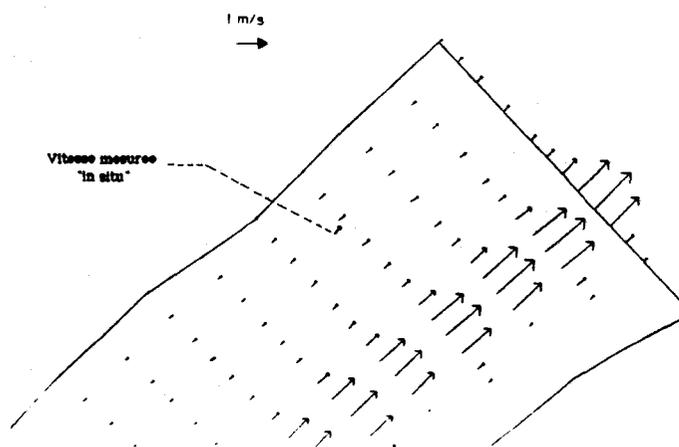
Figure 5.13: Comparaison des vitesses mesurées et calculées par le modèle - État de référence pour la calibration - temps relatif du modèle - basse mer supérieure



14H00

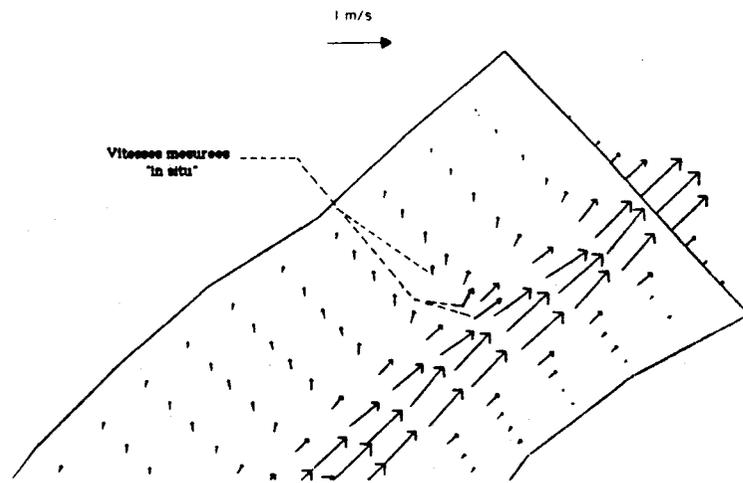


14H30

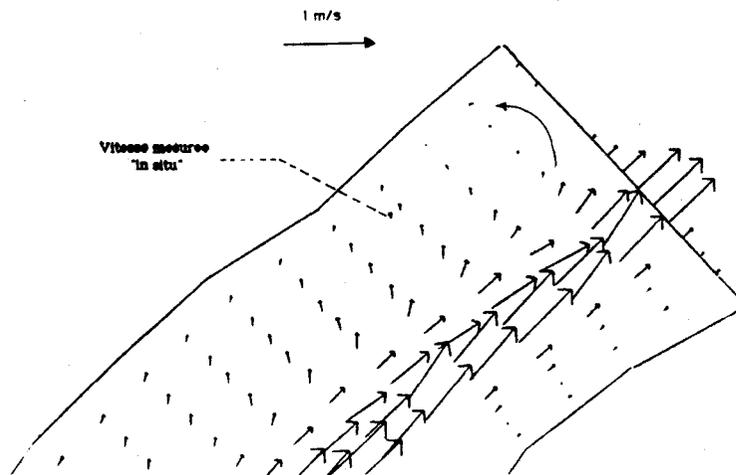


15H00

Figure 5.14: Comparaison des vitesses mesurées et calculées par le modèle - État de référence pour la calibration - temps relatif du modèle - pleine mer inférieure



23H30



24H00

Figure 5.15: Comparaison des vitesses mesurées et calculées par le modèle - État de référence pour la calibration - temps relatif du modèle - mi-montant → pleine mer supérieure

On trouvera aux figures 5.16, 5.17, 5.18 et 5.19 une comparaison des résultats du modèle avec les images. Voyons d'abord comment les courbes présentées ont été traduites en une forme compatible. D'une part, nous avons des images représentant un champ de température et d'autre part, nous disposons des cartes d'isovaleurs calculées de la conductivité. Nous avons jugé que la position moyenne de la frontière du panache de la rivière Sainte-Anne était la seule donnée facilement comparable à partir de ces deux ensembles de données.

Dans le cas des images thermiques, nous avons choisi pour chacune l'isotherme permettant de délimiter dès leur entrée en contact les eaux de la rivière Sainte-Anne et celles du "panache" de la rivière Batiscan. Les échanges turbulents entre ces deux masses d'eau ne devraient pas influencer notablement la position moyenne de l'interface. Le seul facteur susceptible de jouer un rôle serait la dérive thermique de cycle diurne (de l'ordre de $0,5^{\circ}\text{C}$ d'amplitude dans notre cas). On peut admettre cependant que toutes les eaux observées à un instant donné ont été soumises au préalable à des conditions météorologiques comparables. Dans l'ensemble, la dérive thermique devrait être relativement en phase pour l'ensemble du domaine.

D'autre part, la position moyenne du panache obtenue par le modèle correspond au facteur de dilution 50% des eaux de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve.

Dans l'ensemble, on remarque une excellente correspondance des résultats du modèle et des images. La position réelle du "panache" dans le milieu adopte cependant une trajectoire plus sinueuse que celle du modèle en particulier, dans la section de l'île de la Batture. Notons d'abord que ces écarts ne portent pas à conséquence pour l'interprétation puisque la position du panache est bien captée en général par le modèle. Les différences sont de nature locale et peuvent être imputées à la carence d'information bathymétrique dans les zones de battures et au pas de discrétisation qui ne permet pas de rendre compte très précisément des sinuosités du fond. Une meilleure prise en compte

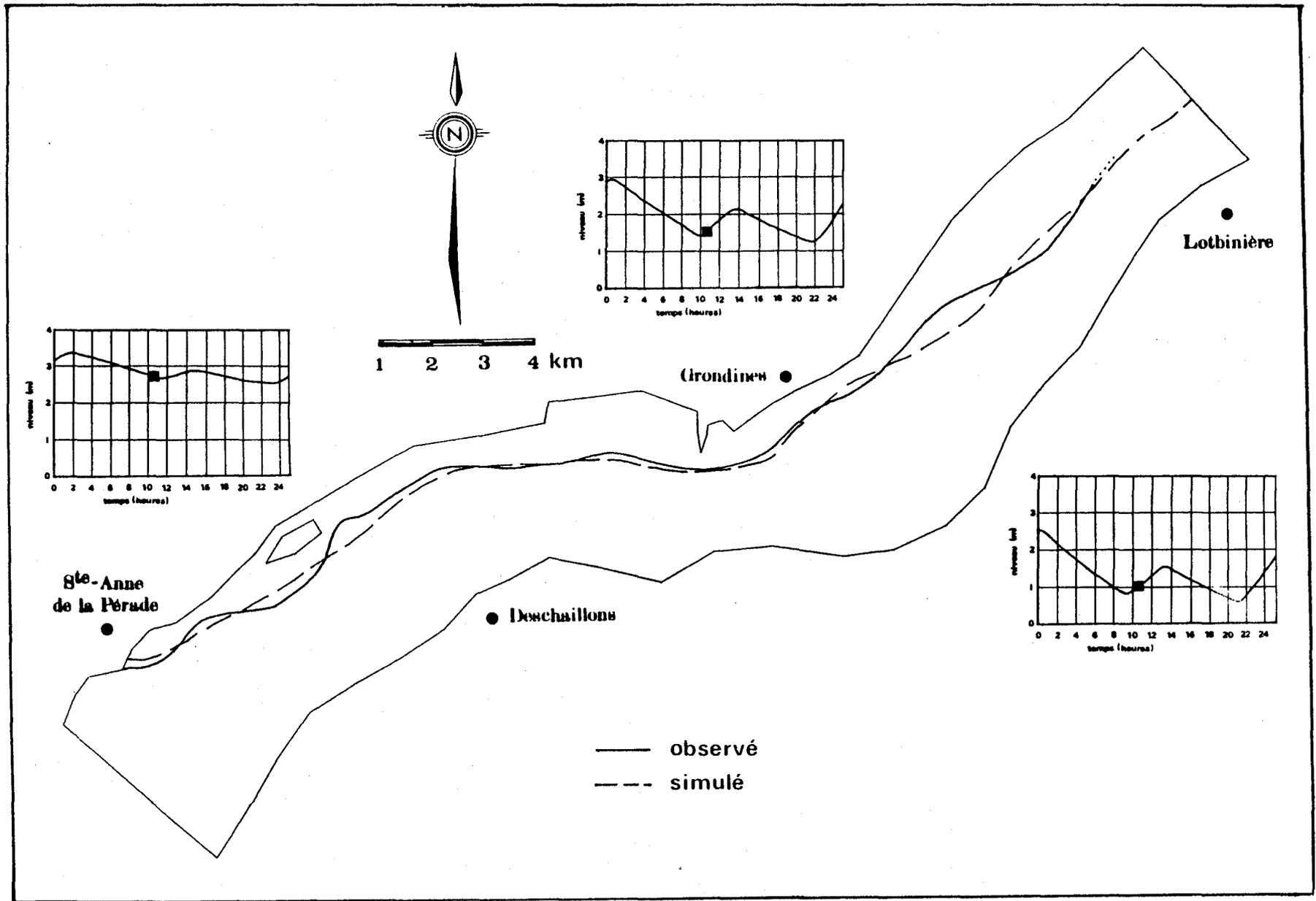


Figure 5.16: Zone moyenne de mélange de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve Saint-Laurent - basse mer supérieure du 25 octobre 1986

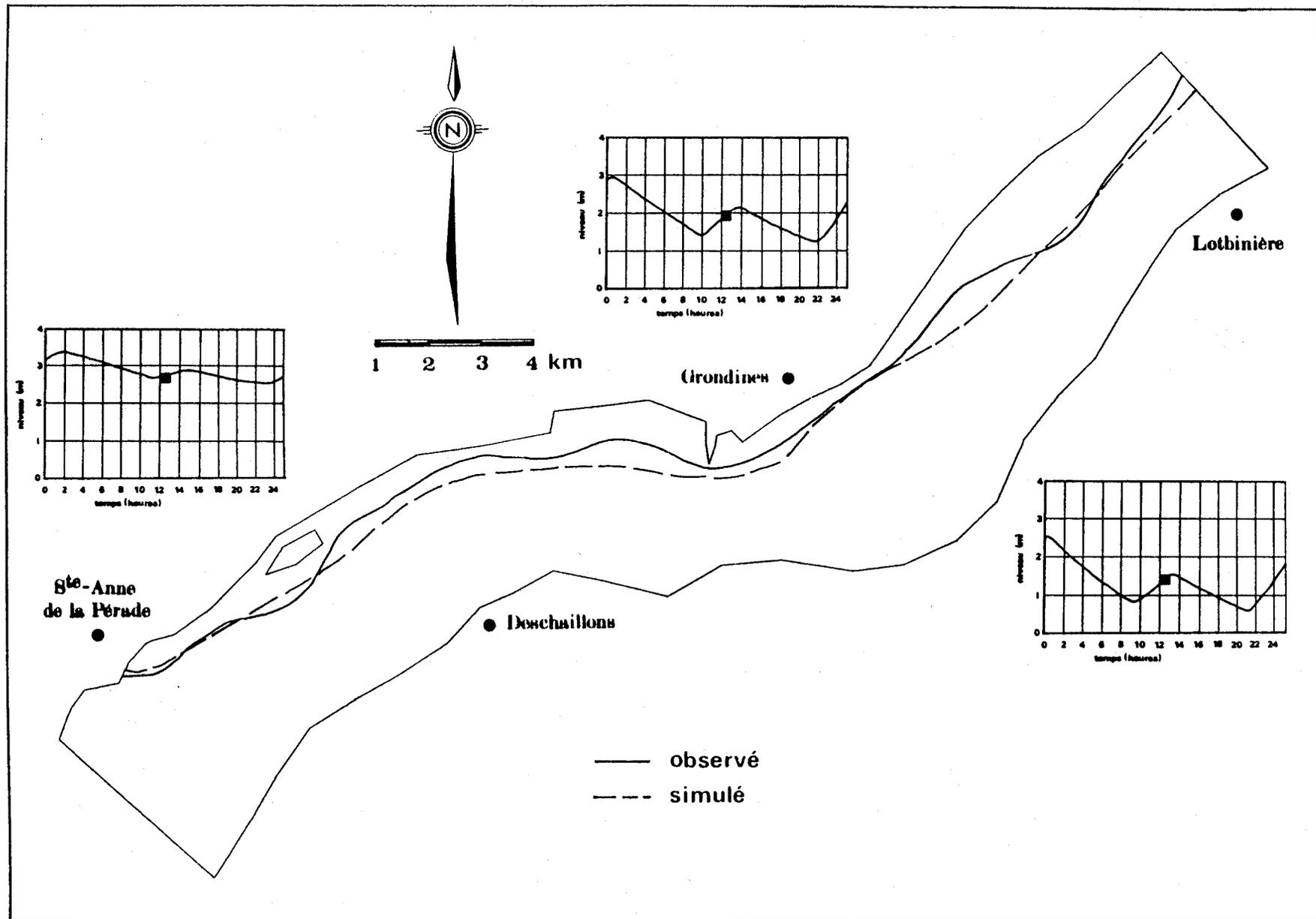


Figure 5.17: Zone moyenne de mélange de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve Saint-Laurent - marée montante → pleine mer inférieure du 25 octobre 1986

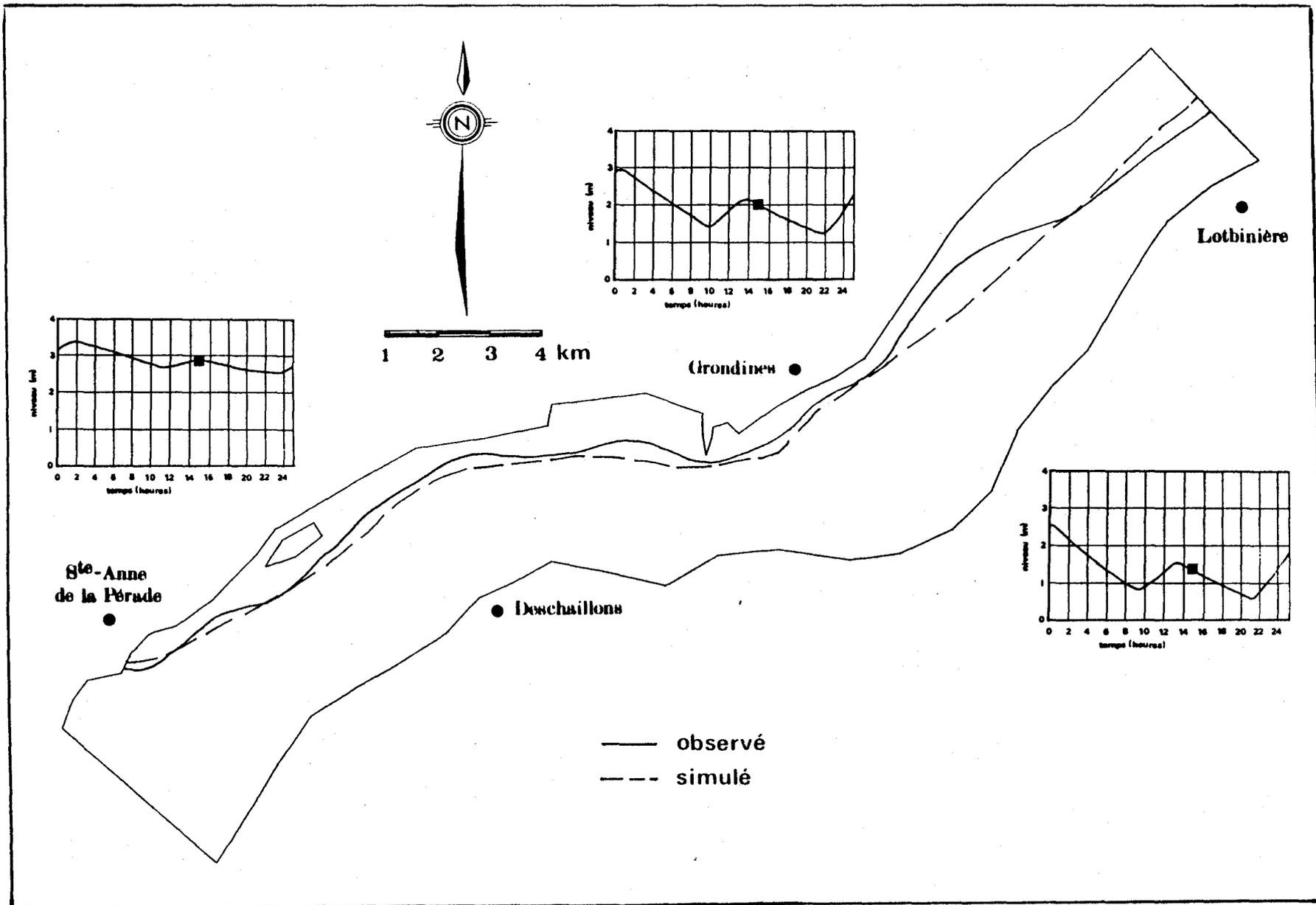


Figure 5.18: Zone moyenne de mélange de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve Saint-Laurent - pleine mer inférieure du 25 octobre 1986

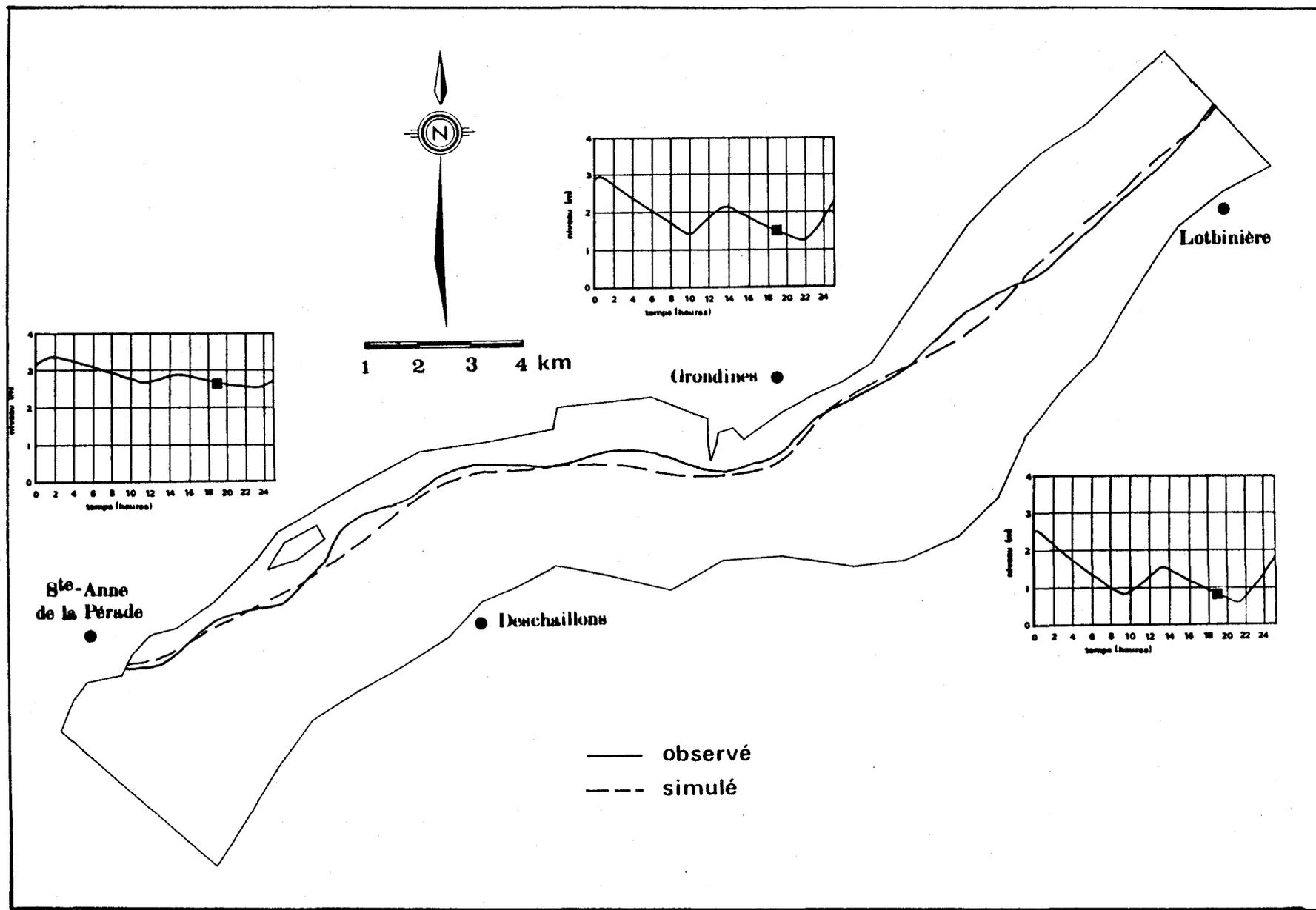


Figure 5.19: Zone moyenne de mélange de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve Saint-Laurent - marée baissante → basse mer inférieure du 25 octobre 1986

alourdirait considérablement les calculs. Un compromis est toujours nécessaire de ce point de vue. Rappelons que ces données servent à définir le modèle géométrique et que la qualité des résultats y est très étroitement liée. On comprendra également qu'une imprécision bathymétrique de 0,5 m dans un chenal de 13 m ne prête pas à conséquence. Dans une zone de battures qui, de surcroît, est susceptible de se découvrir à la basse mer, une telle imprécision serait nettement plus ressentie sur les résultats. C'est pourquoi, les profils obtenus par le modèle peuvent être qualifiés de très représentatifs.

5.7 Conclusion

L'événement de référence du 25 octobre 1986 a été retenu pour calibrer le modèle MEFLU-2.0. Des données nombreuses et variées ont été colligées pour cette journée: niveau de la marée en divers sites, débit moyen, courants, mélange des eaux de la rivière Sainte-Anne.

Les résultats du modèle ont été comparés aux mesures disponibles; l'ensemble de la démarche permet d'affirmer la valeur du modèle pour représenter la structure générale des phénomènes étudiés de même que leur évolution temporelle et ceci pour l'événement de référence de la calibration soit, la crue moyenne d'automne.

Une opération de validation a également été menée sur les autres états de référence de l'étude: étiage et module d'automne et crue moyenne du printemps. Dans ce cas, les résultats du modèle ont été comparés à un sous-ensemble de données: niveau de la marée, débit moyen du fleuve Saint-Laurent. De nouveau, la démarche s'est révélée concluante. On en conclue que le modèle s'avère apte à représenter également un ensemble varié de conditions d'écoulement.

Nous verrons dans les chapitres suivants une analyse comparative des états de référence actuels et futurs du milieu à l'étude.

CHAPITRE 6

SCÉNARIO BOIS-DES-HURONS: COMPARAISON DES
CONDITIONS ACTUELLES ET PROJETÉES

6. SCÉNARIO BOIS-DES-HURONS: COMPARAISON DES CONDITIONS ACTUELLES ET PROJETÉES

6.1 Introduction

Le modèle MEFLU-2.0 a été ajusté et validé sur le milieu actuel. Du point de vue de la technique de modélisation, les changements projetés au milieu actuel sont compris dans une gamme acceptable. Ceci signifie que l'ajustement effectué sur l'état de référence demeure valide pour les conditions futures.

La démarche présentée ici comprend d'abord une étape de restructuration du modèle géométrique, c'est-à-dire, l'inscription dans le maillage des changements qu'apportent les ouvrages. La deuxième étape consiste à reprendre l'ensemble des simulations avec ce nouveau support géométrique. Enfin, vient l'étape finale, celle qui se situe au coeur même de la problématique, la comparaison des résultats obtenus avec les données de référence actuelles.

C'est pourquoi pour le présent chapitre nous allons concentrer notre attention sur la portion du domaine plus directement affectée par le projet de traversée de Bois-des-Hurons, c'est-à-dire, la partie en aval du modèle.

6.2 Modèle géométrique - discrétisation du milieu

Les critères de discrétisation sont approximativement les mêmes en conditions dans le cas futur que pour le milieu actuel. L'effort de calibration ayant été accompli au préalable, un nombre réduit de simulations est nécessaire dans le cas des scénarios futurs. On peut donc se permettre d'accroître la densité de l'information recherchée même s'il en coûte plus en temps-calcul pour chaque simulation. En outre, la nécessité de décrire adéquatement les écoulements à l'échelle locale des ouvrages est une contrainte importante influençant la densité de la discrétisation.

À cette fin, un maillage de 771 éléments T-6 (487 pour l'état actuel) comprenant 1 689 noeuds a été développé. On trouvera aux figures 6.1 et 6.2 respectivement une vue d'ensemble du maillage et une vue détaillée de celui-ci dans la région immédiate des ouvrages projetés.

6.3 Paramètres retenus

La calibration du modèle ayant pour but d'étalonner les paramètres pour le milieu à l'étude, ceux-ci doivent conserver la valeur retenue alors pour toute la suite de l'étude. Aucun changement n'a donc été apporté à ces paramètres pour les scénarios futurs. On peut donc se référer à la section 5.5 du rapport pour connaître les valeurs utilisées.

6.4 Analyse comparative - démarche

L'analyse comparative des résultats sur le milieu futur projeté - versus le milieu actuel doit être menée en considérant plusieurs points de vue, en particulier:

- les changements envisagés dans l'espace;
- les changements dans le temps;
- la résultante au niveau de l'habitat du poulamon atlantique.

En ce qui concerne l'analyse spatio-temporelle, nous avons voulu mettre en évidence, d'une part l'influence des structures projetées sur la structure spatiale des écoulements dans la région immédiate de celles-ci, et d'autre part les changements en intensité et en fréquence des courants dans la région située, soit sur l'estran actuel (dans l'axe des jetées), soit à l'extrémité des jetées.

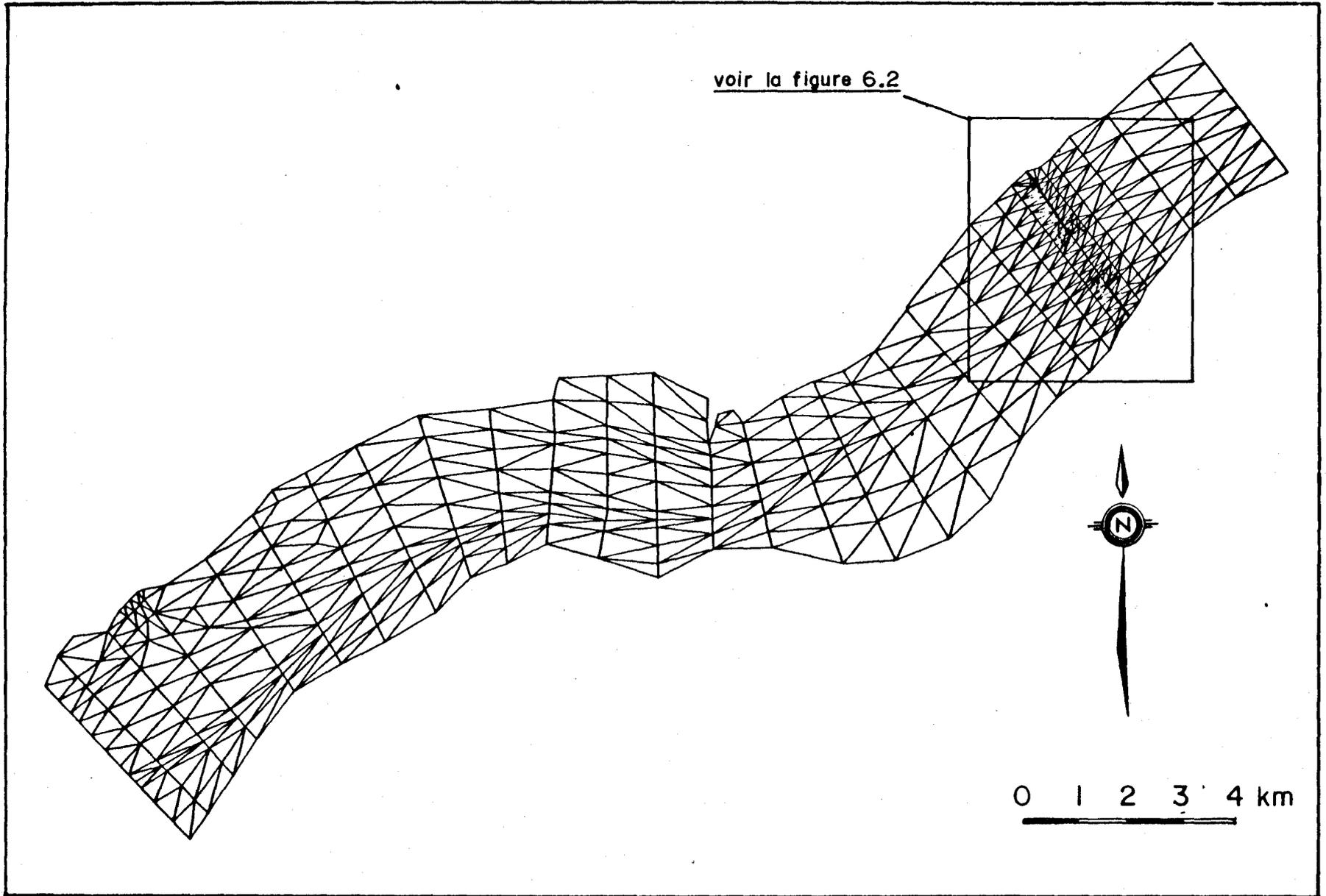


Figure 6.1: Discrétisation du milieu à l'étude (771 éléments T-6) pour l'étude du scénario Bois-des-Hurons

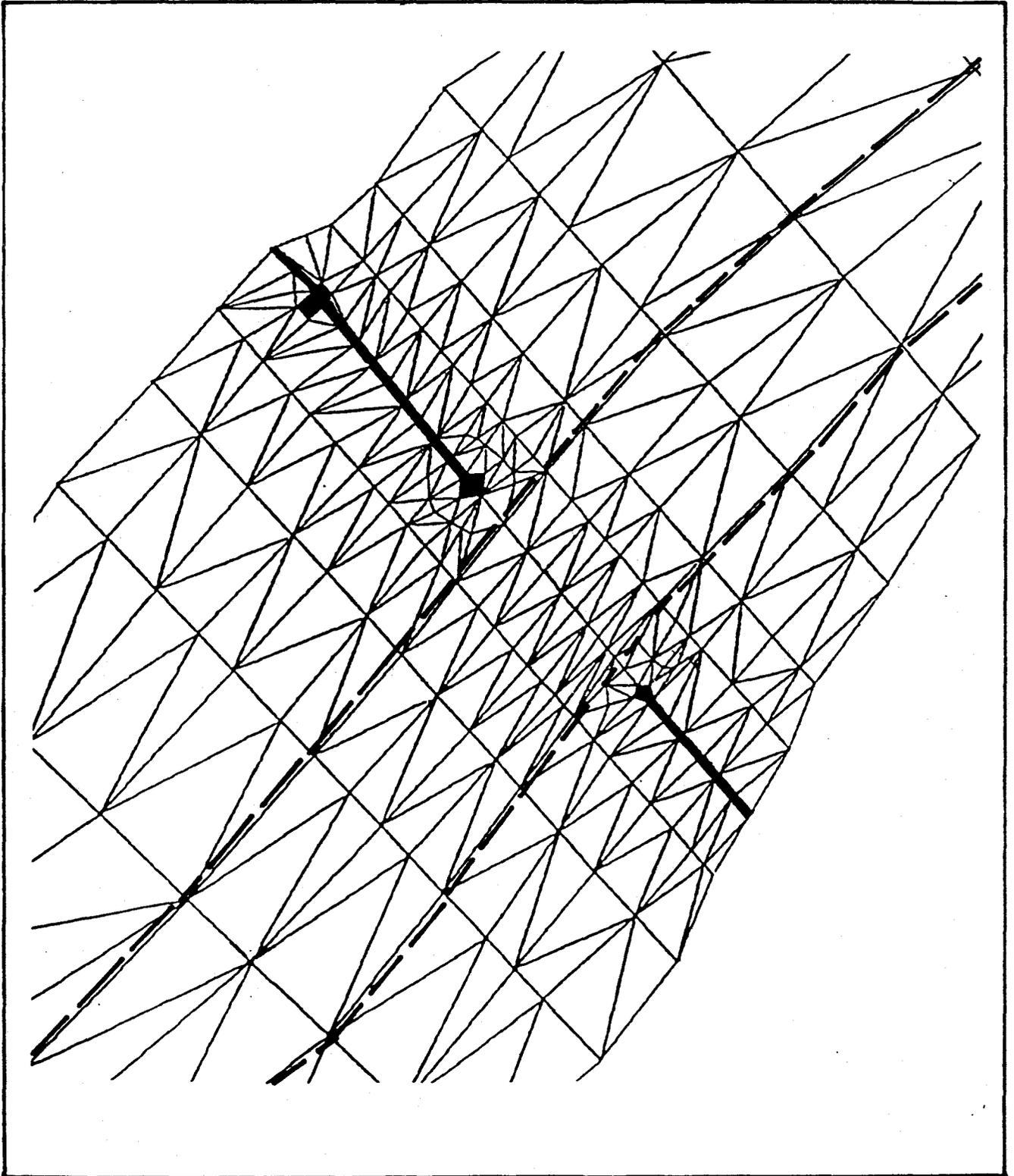


Figure 6.2: Discrétisation du milieu dans la région des ouvrages - scénario Bois-des-Hurons

Il s'agit dans les deux cas d'apprécier la nature et de quantifier les changements en ayant à l'esprit qu'on est en présence de lieux physiques servant de voies migratoires au Poulamon. Les critères présentés à la fin du chapitre 2 relatifs à la capacité natatoire de ce poisson seront systématiquement mis à contribution pour bien démarquer les conditions propices à la montaison de celles qui ne s'y prêtent pas. Des modifications dans la structure des écoulements du genre, tourbillons stationnaires à l'aval des ouvrages, seront également examinées en ayant à l'esprit l'interférence que celles-ci pourraient exercer sur le processus d'avalaison au printemps.

L'analyse sera menée en considérant successivement chacun des états de référence.

6.5 Analyse spatiale

6.5.1 Présentation

On trouvera aux annexes infographiques 1 et 2 certains résultats obtenus avec le modèle pour le milieu actuel (parties A, B, C, D, E) et le milieu modifié par les ouvrages (parties G, H, I, J, K) respectivement. Comme mentionné au chapitre 2, on présente pour chacun des moments-cibles retenus du cycle de la marée:

- les directions des vitesses;
- le module des vitesses;
- le taux de dilution des eaux de la rivière Sainte-Anne;
- les intersections de vitesse et de profondeur (critère poulamon);
- les intersections de vitesse et de dilution de la rivière Sainte-Anne (critère poulamon);
- la profondeur totale.

Ces résultats, présentés sur support papier et sur diapositive, ont été produits graphiquement à l'aide du logiciel HYGRAF développé conjointement par l'Université Laval et TAO-Simulations inc.

Quatre moments du cycle de la marée ont été retenus pour illustrer l'influence spatiale des ouvrages:

- une marée haute;
- une marée mi-baissante;
- une marée basse;
- une marée mi-montante.

6.5.2 Comportement général - milieu actuel

Nous allons considérer ici les changements au milieu communs à l'ensemble des états et qu'on peut observer à l'échelle d'ensemble du milieu étudié.

Dans le milieu actuel, les écoulements se produisent principalement dans le chenal central. En présence d'estrans importants, on estime à plus de 90% la fraction typique du débit qui transite en moyenne dans la section centrale. Évidemment, ce pourcentage peut varier selon le moment du cycle et le niveau moyen du fleuve lequel dépend du vent et du débit résiduel. Il reste donc une fraction très réduite du débit qui transite sur les estrans (4-6% sur chacun).

À pleine marée baissante, les vitesses moyennes dans la section centrale se situent entre 1 et 2 m/s et dépassent souvent les 2 m/s dans la section située en face du quai de Lotbinière et un peu à l'aval de la pointe de Grondines. Cette force du courant s'explique par l'importance relative plus limitée des effets de couche limite turbulente dans les zones profondes.

Par opposition, les vitesses sur les estrans sont beaucoup plus faibles - nous allons traiter cet aspect de manière beaucoup plus détaillée en 6.5.4 - variant typiquement entre 0 m/s lors du découverture et 0,3-0,4 m/s à marée baissante. Il est à noter d'ailleurs que c'est dans l'axe des jetées projetées de Bois-des-Hurons qu'on trouve les courants les plus faibles sur une distance qui s'étend sur plus de trois kilomètres longitudinalement.

La transition des vitesses lentes vers les courants plus forts du chenal s'effectue plus ou moins rapidement (100-300 m) selon la pente transversale du lit d'écoulement. C'est encore dans l'axe Bois-des-Hurons que la transition est la plus abrupte.

Un peu à l'amont de l'axe du quai de Grondines, l'élargissement de la zone profonde du fleuve a pour effet de créer des courants relativement rapides dans une zone qui se rapproche beaucoup plus près du littoral. Les courants peuvent même atteindre des valeurs de 0.5-0.7 m/s dans les forts débits à marée baissante. Il en est de même à l'amont de la pointe de Grondines.

Le retournement occasionnel des courants à marée montante est un des aspects les plus importants de la structure générale des écoulements du fleuve dans la région étudiée. En effet, dans certaines circonstances particulières (débit d'étiage du fleuve, marée de grande amplitude), il se produit un basculement de la pente du fleuve suffisamment important pour que l'écoulement soit renversé de l'aval vers l'amont (flot).

La cause (pente négative) est directement liée au niveau maximum atteint par la marée et à son temps de propagation. Ainsi, en considérant à titre d'exemple la figure 4.9 (chapitre 4), on remarque un épisode de marée (22h00 à 24h00) où le niveau à Portneuf est supérieur à celui prévalant à l'amont du modèle. La différence de pression hydrostatique qui résulte de cet écart de niveau provoque d'abord un ralentissement des courants (décélération) puis, si cette sollicitation persiste suffisamment longtemps, un étalement de marée (courant nul) et enfin, un renversement du courant.

Plusieurs phénomènes hydrodynamiques particuliers se produisent en conjonction avec cette phase de renversement. Avec une stricte préoccupation d'approfondissement des connaissances, nous avons voulu exploiter les résultats obtenus pour mettre en évidence ces phénomènes. On trouvera à la section 6.8 une description détaillée des phénomènes

identifiés. L'annexe 5 présente également une séquence hydrodynamique complète d'une marée (état de référence: module d'automne) où un renversement de courant se produit. Mentionnons seulement les phénomènes susceptibles de se produire en de telles circonstances:

- tourbillons non-stationnaires à l'échelle de 1 km précédant les étales de la marée haute et de la basse mer;
- courants opposés dans le chenal et sur les estrans;
- renversement du courant jusqu'à l'amont du domaine ou de la zone d'étude du modèle;
- courants transversaux sur les estrans (vidange et remplissage des battures).

Sans insister davantage sur ces structures transitoires d'écoulement, notons que le phénomène de renversement occasionnel des courants est un facteur susceptible d'aider le processus migratoire du poulamon atlantique puisque celui-ci peut alors profiter du sens favorable des courants pour s'acheminer vers son lieu de fraie.

En ce qui concerne le mélange des eaux de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve, on remarque qu'en général, le "panache" occupe une portion très variable du littoral dépendant surtout de la vitesse des courants qui y prévalent. Ainsi, entre la pointe de Grondines et le lieu indiqué Grondines sur nos illustrations, le panache a tendance à "s'étirer" en raison des vitesses accrues qu'on y retrouve. Le taux de dilution à également tendance à augmenter rapidement autour de la pointe de Grondines. Ce changement rapide est dû aux fortes variations de vitesse (en direction et en intensité, circulations secondaires) dans cette zone. La crue moyenne d'automne, comme nous le verrons plus loin, est un cas particulier puisqu'on retrouve jusqu'à l'aval du domaine des eaux pures de la rivière Sainte-Anne.

Dans la zone aval du modèle, c'est-à-dire, dans l'axe Bois-des-Hurons, la présence des deux côtés du fleuve de larges battures sur 2-3 km longitudinalement provoque localement un ralentissement considérable des vitesses. Il s'ensuit automatiquement un élargissement du

"panache" de la Sainte-Anne sur l'ensemble de cette zone (coté nord). Cet élargissement est assimilable à un phénomène d'accumulation. Nous verrons plus loin qu'un ralentissement accru des vitesses par l'implantation d'ouvrages tel des jetées peut encore accroître cet effet.

6.5.3 Comportement général - milieu futur

Notons d'abord, à l'examen des illustrations produites dans les annexes infographiques 1 et 2 que les ouvrages proposés n'ont pas d'influence sensible à l'échelle d'ensemble du domaine étudié. Cette observation est surtout applicable à l'hydrodynamique et à la propagation de la marée. En ce qui concerne le mélange des eaux de la rivière Sainte-Anne, les ouvrages provoquent systématiquement un effet d'accumulation de celles-ci en particulier entre l'axe Bois des Hurons et la pointe de Grondines. Cet effet se traduit par une superficie accrue d'occupation des estrans par ces eaux et également par une concentration relative supérieure.

Localement, dans l'axe Bois-des-Hurons, l'influence des ouvrages se traduit par une déviation importante des écoulements vers la pointe de ceux-ci. La déviation est ressentie sur les estrans sur une distance totale égale à deux fois la longueur des jetées (1 fois à l'amont, 1 fois à l'aval). Il s'ensuit une réduction importante des vitesses dans cette zone à mesure qu'on se rapproche de la berge et de la jetée.

Dans la zone comprise entre l'extrémité de la jetée nord¹ et le chenal de navigation, la vitesse du courant subira une augmentation générale de l'ordre de 10% et ce, quel que soit le débit résiduel du fleuve. Ceci ne veut pas dire que les conditions de migration du poulamon seront compromises par cette augmentation. À titre d'exemple, lors d'un renversement du courant (exemple: étiage et module d'automne), les conditions de migration pourraient même être améliorées puisque cette fois, le courant vers l'amont serait lui aussi augmenté localement.

¹ La jetée nord est privilégiée dans notre analyse car c'est ce côté du fleuve que le poulamon atlantique emprunte surtout lors de sa migration (voir le rapport de Shooner et associés, 1987).

Un traitement détaillé des conditions d'écoulement actuelles et futures à la pointe des jetées et dans l'axe de celles-ci et mettant l'emphase sur l'intensité et la fréquence des courants fait l'objet de la section suivante.

6.6 Analyse temporelle des écoulements dans l'axe Bois-des-Hurons

La principale influence des jetées est, nous l'avons vu, de dévier une partie des écoulements qui transitent normalement sur les estrans vers la pointe des jetées. Dans le but d'analyser le régime hydrodynamique le long d'un transect dans l'axe Bois-des-Hurons, un certain nombre de noeuds du modèle ont fait l'objet d'un suivi numérique.

On trouvera respectivement aux figures 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 et 6.8 une description technique du projet Bois-des-Hurons, un plan de localisation des noeuds du modèle géométrique qui ont retenu notre attention et les vitesses calculées pour l'ensemble des simulations actuelles et futures à chacun de ces noeuds.

En ce qui concerne le milieu actuel, une analyse préliminaire nous a révélé que deux noeuds sur l'estran (1 et 2 sur l'illustration 938 et 932 dans le modèle) pouvaient très bien représenter la variabilité transversale de l'écoulement. Le noeud 3 à la limite de l'estran (937) et le noeud 4 dans le chenal lui-même (930) permettent de compléter l'information. Les zones intermédiaires peuvent faire l'objet d'interpolation.

En présence de jetées, l'analyse nous a permis de retenir le noeud 5 (1 176) à la pointe extrême de la jetée nord, le noeud 6 (1 220) à la limite de l'estran, le noeud 7 (1 195) à mi-chemin entre ceux-ci et enfin, le noeud 8 (1 285) dans le chenal. Aucun noeud entre la pointe de la jetée et le littoral n'a été retenu et pour cause. Comparativement, le noeud 3 actuel se trouve situé à mi-chemin des noeuds 6 et 7 futurs dans l'axe d'analyse.

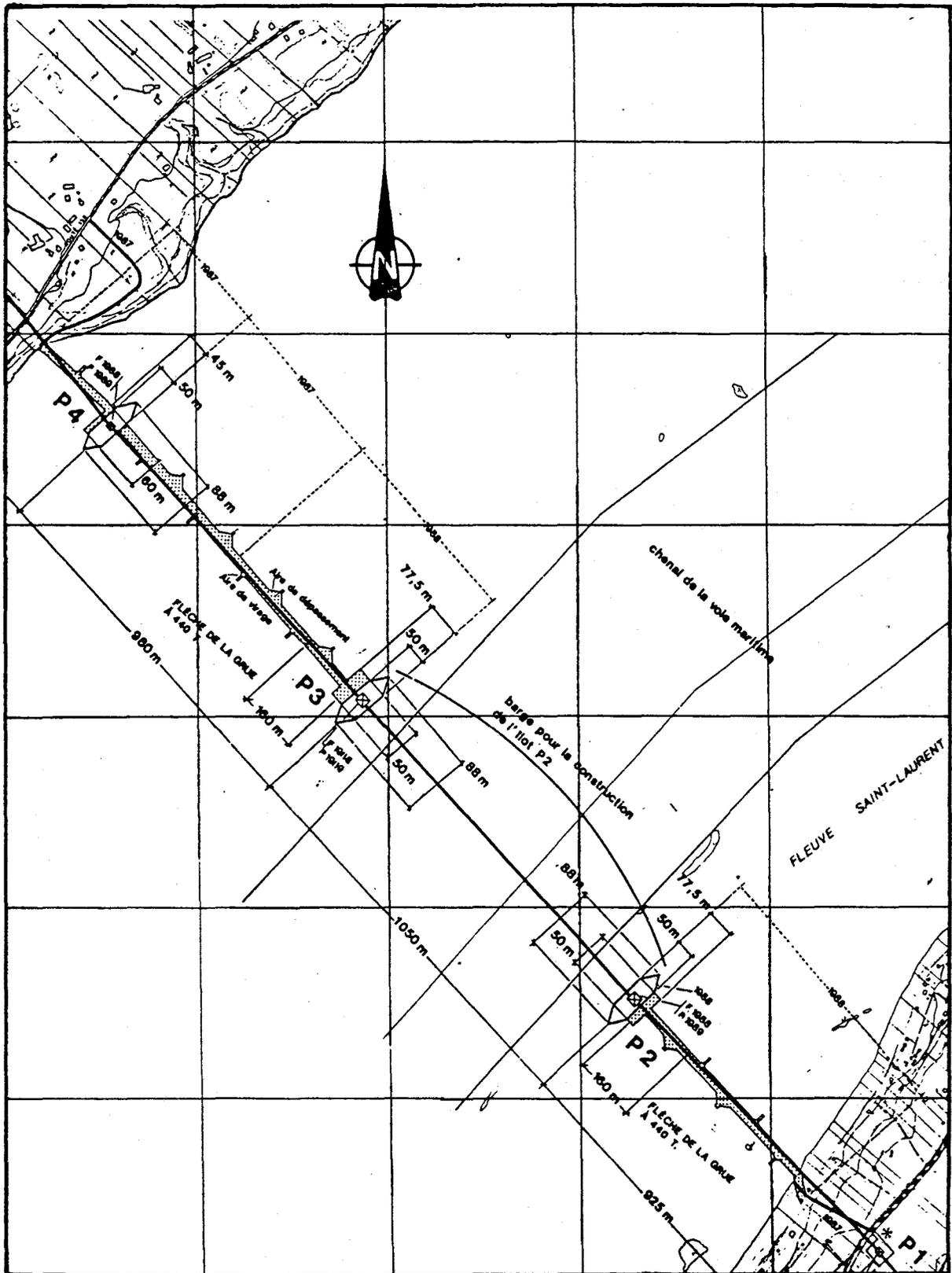
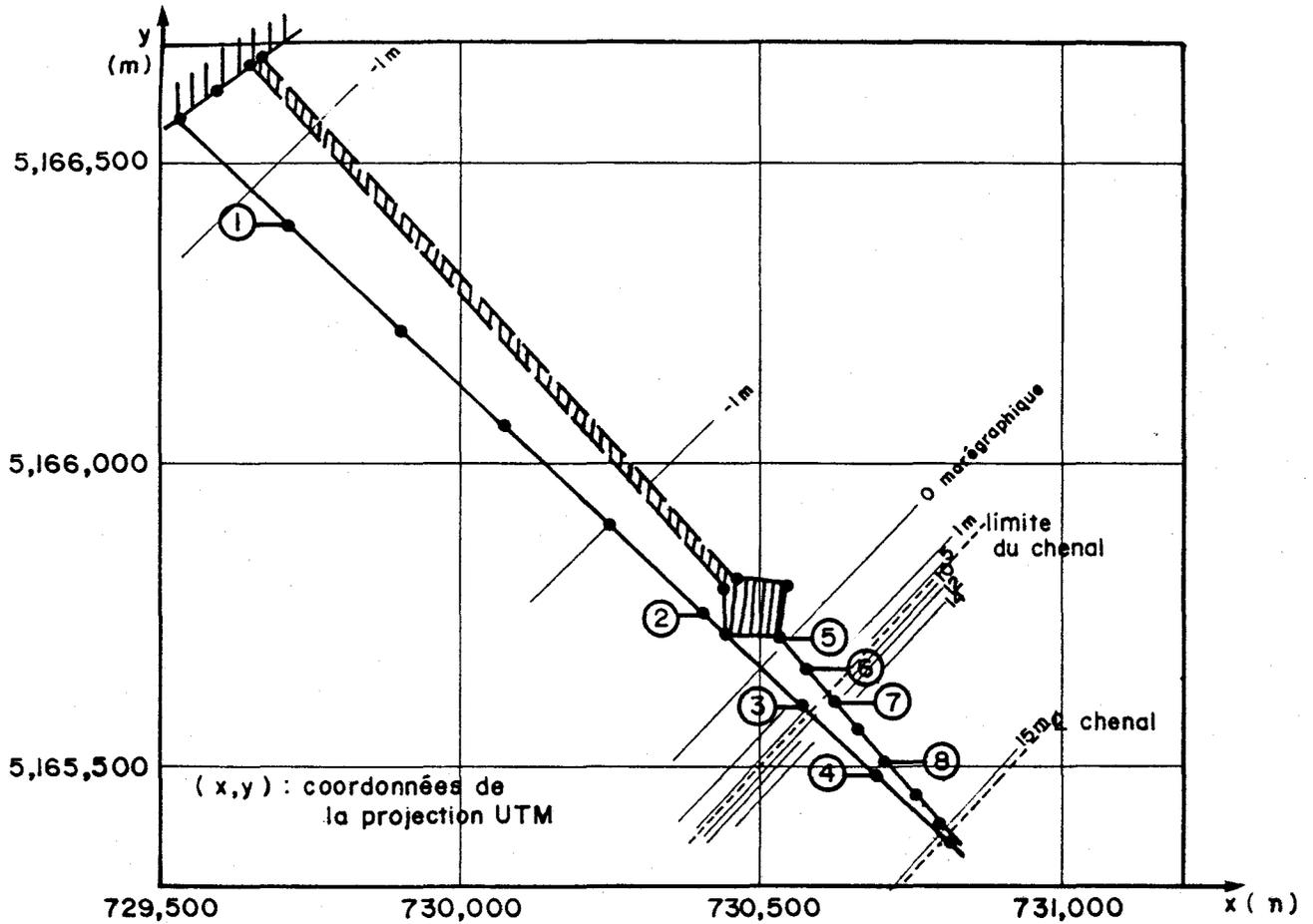


Figure 6.3: Description technique du projet - axe Bois-des-Hurons



Légende

- les points 1, 2, 3 et 4 sont situés approximativement à 250, 1200, 1400 et 1600 m respectivement du littoral (celui du modèle)
- les points 5, 6, 7 et 8 sont situés à 0, 75, 140 et 270 m de l'extrémité de la jetée nord

Figure 6.4: Plan de localisation des noeuds du modèle ayant fait l'objet d'une analyse temporelle

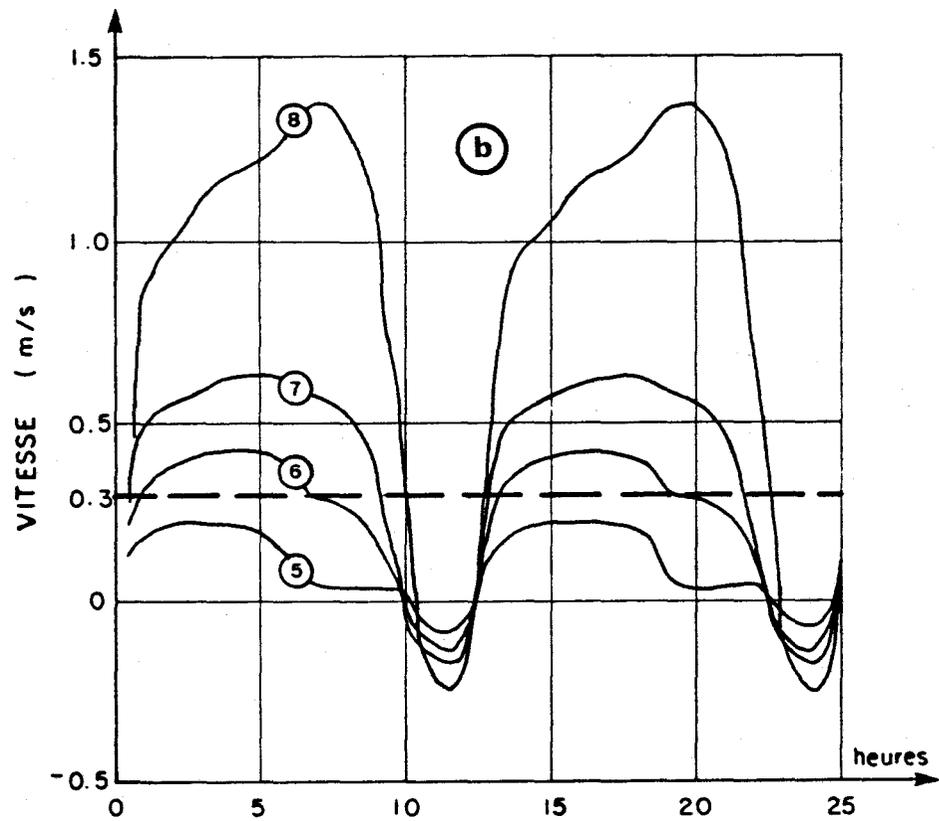
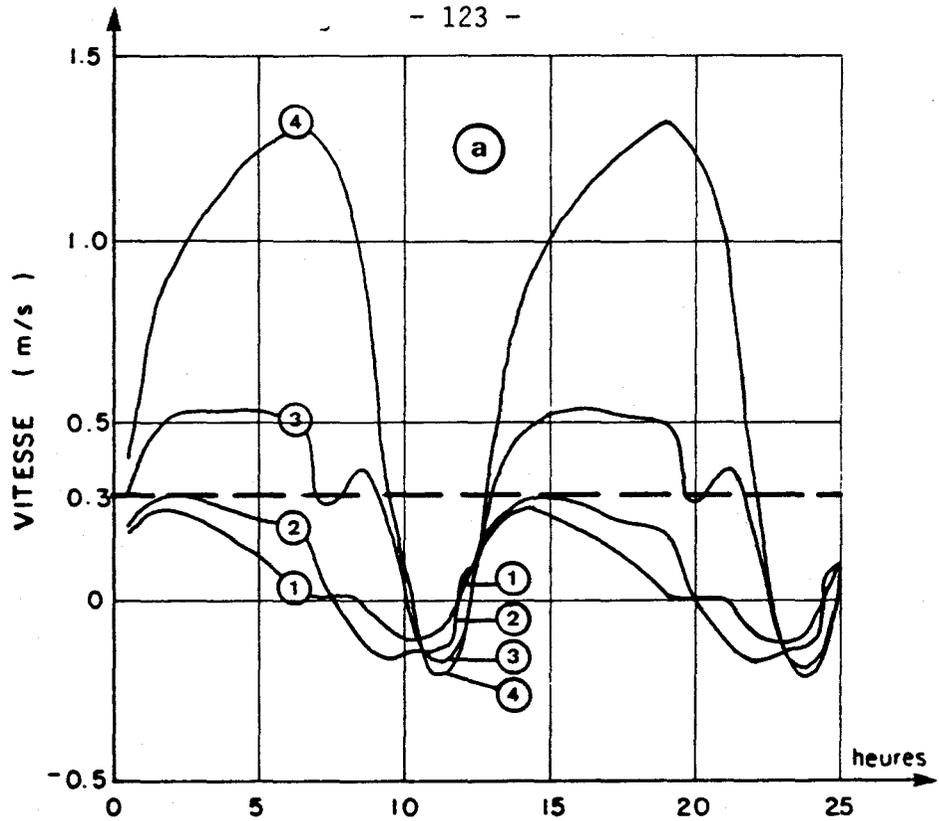


Figure 6.5: Conditions de vitesse dans l'axe Bois-des-Hurons - étiage moyen d'automne (voir la figure 6.4 pour la localisation des points 1 à 8).

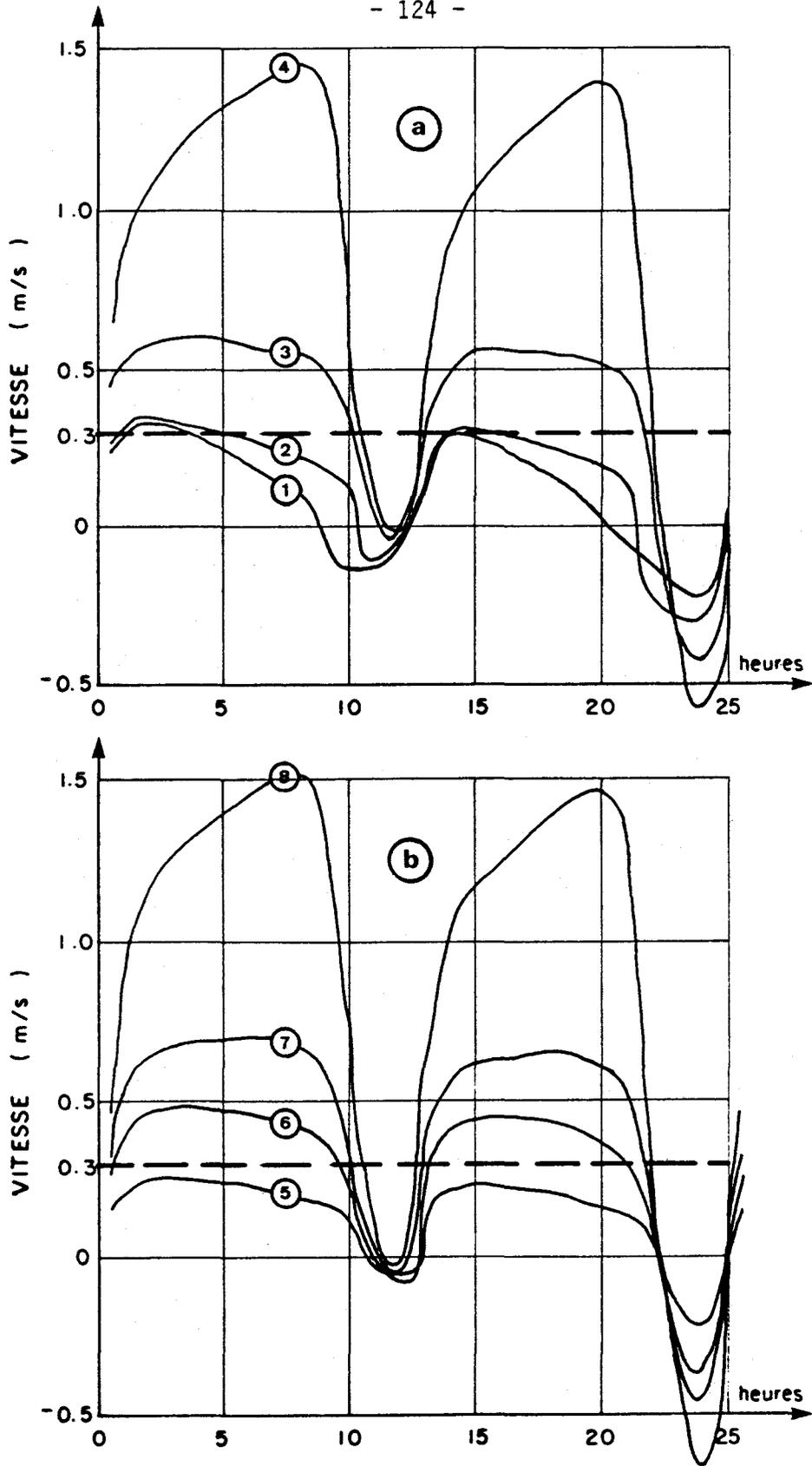


Figure 6.6: Conditions de vitesse dans l'axe Bois-des-Hurons - module d'automne - a: actuel; b: futur

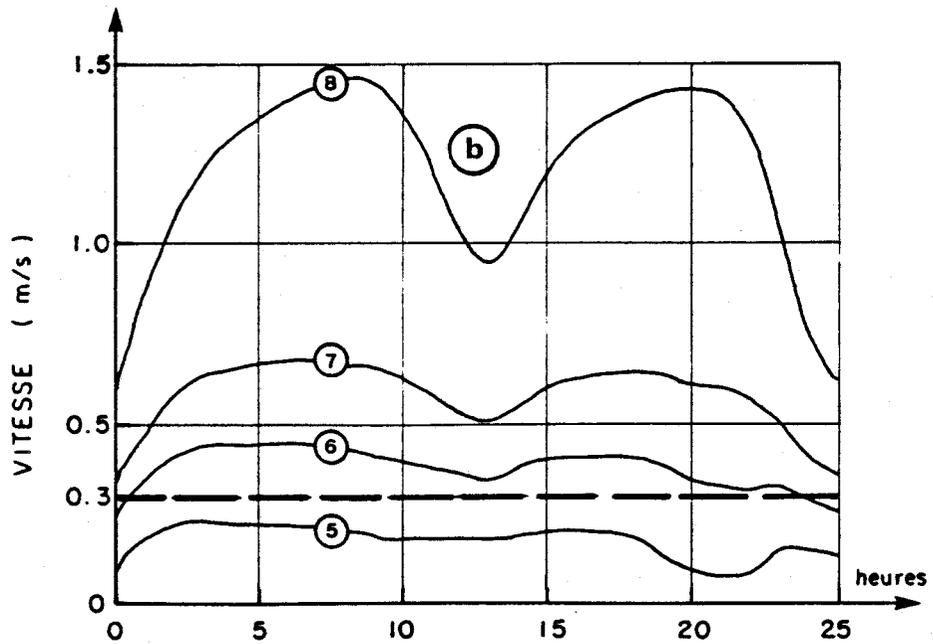
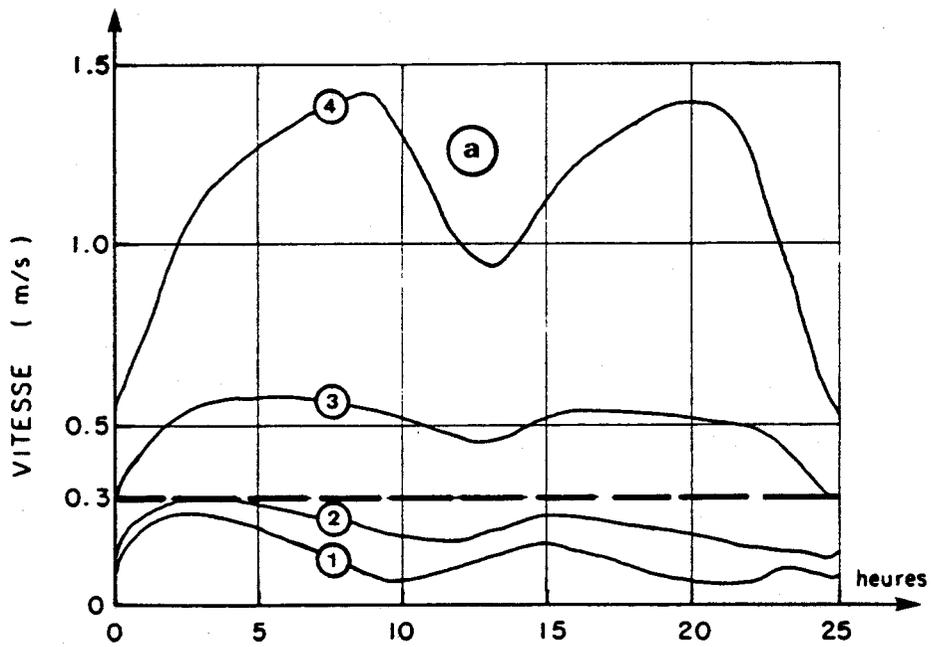


Figure 6.7: Conditions de vitesse dans l'axe Bois-des-Hurons - crue moyenne d'automne - a: actuel; b: futur

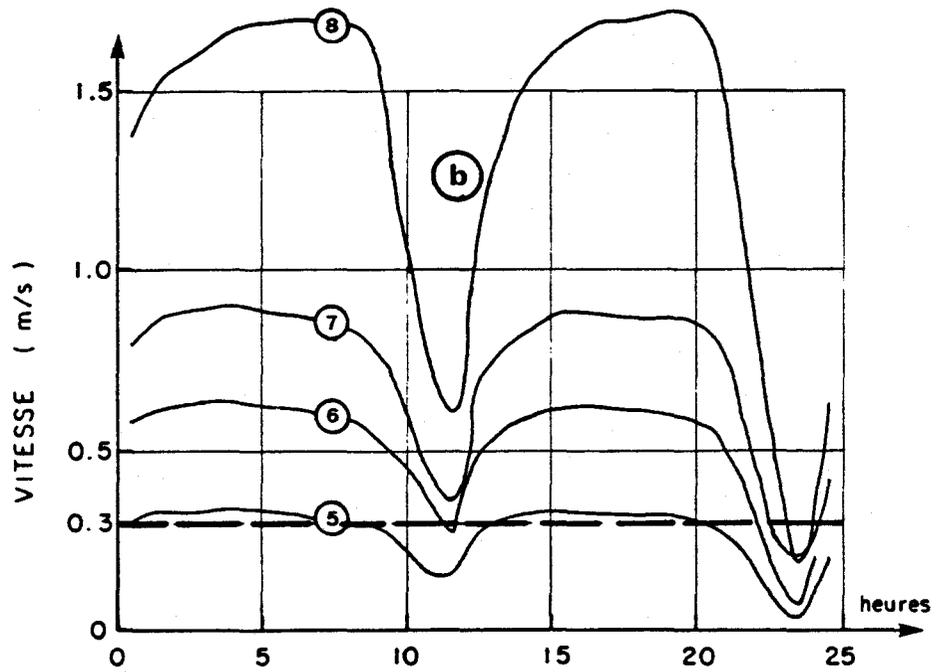
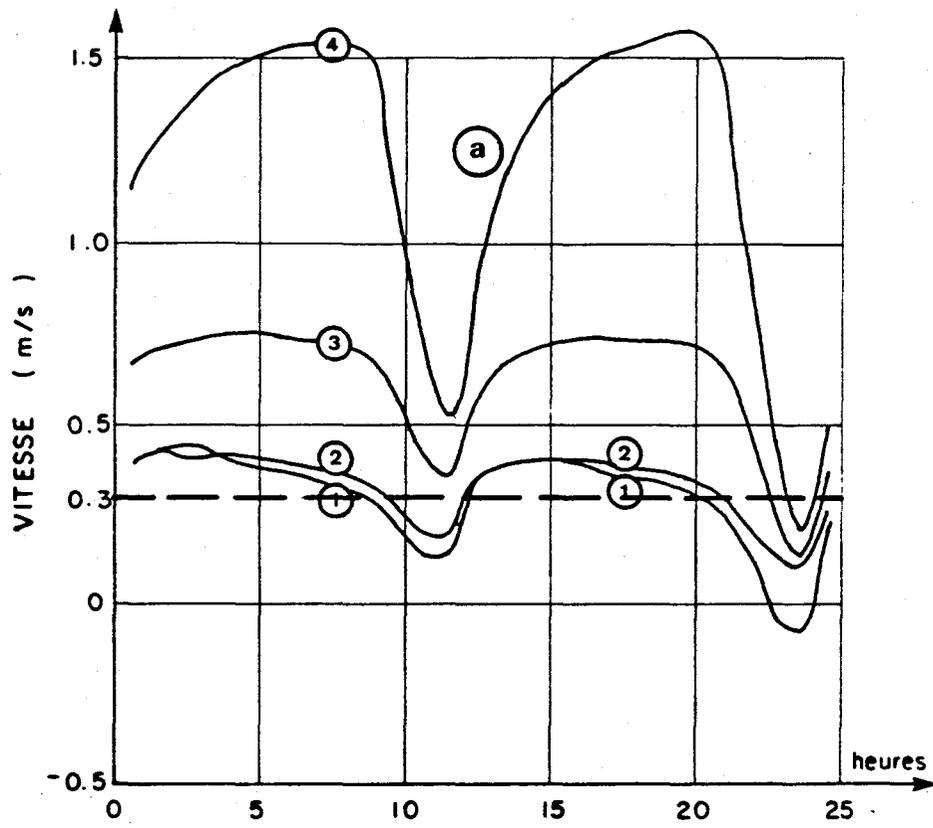


Figure 6.8: Conditions de vitesse dans l'axe Bois-des-Hurons - crue moyenne de printemps - a: actuel; b: futur

Les figures mentionnées précédemment sont constituées de la vitesses module de l'écoulement. Celle-ci est positive lors du jusant et négative pendant le flot (retournement de marée montante). La direction de l'écoulement correspond à l'axe du chenal de navigation.

6.6.1 Potentiel natatoire du Poulamon de l'Atlantique

Il avait été établi lors d'une étude préliminaire qu'un potentiel natatoire minimum de 0,3 m/s pouvait être attribué au poulamon atlantique par analogie avec la lotte¹. Des études ultérieures de G. Shooner et associés (1987), consultants biologistes, ont permis de confirmer ce seuil normatif à partir de pêches au verveux faites dans le fleuve.

C'est pourquoi sur les figures 6.5 à 6.8, le seuil normatif 0,3 m/s a été mis en évidence de sorte que l'on puisse chaque fois identifier et quantifier les phases de la marée propices à la migration ($V < 0,3$ m/s) de même que la distance (en mètres) depuis la berge (la pointe de la jetée pour le scénario futur) constituant ce que nous avons désigné "la section de passage".

Considérons maintenant chacun des débits simulés à tour de rôle.

6.6.2 Étiage moyen d'automne (figure 6.5)

Dans les conditions actuelles (figure 6.5a) et pour la marée étudiée, les vitesses sur l'estran se situent entre 0,2-0,3 m/s au jusant et -0,15 m/s au flot. Ces conditions représentent typiquement ce qui doit se produire sur l'ensemble de l'estran jusqu'à l'endroit où se situera la pointe de la jetée nord. À la limite de l'estran, la vitesse de flot atteint 0,5 m/s la moitié du temps.

¹ Communication personnelle avec N. Faubert de la Direction Environnement.

À mesure qu'on progresse dans le chenal, la vitesse augmente rapidement pour atteindre une valeur maximale de 1,35 m/s au jusant . Cependant, au renversement du flot, le courant change de direction même dans le chenal (-0,2 m/s).

Dans les conditions futures (figure 6.5b) les vitesses entre la pointe de la jetée nord et la limite du chenal varient de 0,22 m/s à 0,62 m/s au maximum du jusant. Dans le chenal, les vitesses de courant maximales (dans le temps) sont de l'ordre de 1,38 m/s dans les conditions actuelles. Cette valeur n'est pas significativement différente de celle des conditions actuelles étant donné que les noeuds 4 (actuel) et (futur) ne coïncident pas exactement.

Les conditions simulées de débit d'étiage ne permettent de mettre en évidence de difficultés notables en ce qui concerne la dynamique des courants à la pointe de la jetée projetée. En effet, dans la zone comprise entre le chenal et la structure le courant se renverse près de 20% du temps. De plus, 25% du temps le courant demeure en deçà du seuil 0,3 m/s considéré comme sécuritaire pour la migration du pou-lamon. Dans les conditions actuelles, la période propice (courant < 0,3 m/s) représentait également 25% du cycle de la marée. Seule la largeur de la section disponible subit un changement notable entre l'actuel et le futur. En effet, la largeur actuelle d'estran propice à la migration varie entre 1 200 m (80% du temps) et 1 400 m (25% du temps). Dans les conditions futures (figure 6.5), on trouve au moins 40 m (100% du temps), 75 m (45% du temps) et 140 m (30% du temps) et l'ensemble de la section (chenal de navigation) 20% du temps. Quoique cette différence de section soit considérable, il ne faudrait pas y voir un facteur susceptible de limiter nécessairement la migration. Dans le milieu actuel, le découverture des battures à marée basse (notable entre 6h30 et 9h00, temps de la simulation) interdit toute migration dans les zones exondées à ce moment. Il est intéressant également de comparer les conditions prévalant actuellement à la pointe de Grondines à celles qui résulteront de la construction des jetées. Nous reviendrons sur cet aspect à la section 6.7.

6.6.3 Module d'automne (figure 6.6)

Sur l'estran actuel (figure 6.6a) et pour les conditions de marée étudiées, les vitesses sont de l'ordre de 0,2-0,35 m/s la majorité du temps du jusant. Comme la marée de cette simulation est d'assez grande amplitude conduisant à un renversement très important du courant, les vitesses du flot culminent à -0,3 m/s lors du montant de la pleine mer supérieure.

À la limite du chenal et dans le chenal lui-même, les vitesses actuelles sont plus contrastées atteignant respectivement 0,60 et 1,45 m/s au jusant (noeuds 3 et 4) et -0,40 et -0,60 m/s au flot.

En comparant ce régime de vitesse au seuil de 0,3 m/s attribué au potentiel natatoire du poulamon, on trouve des conditions très favorables à la migration. En effet, sur l'ensemble de l'estran et pour presque tout le cycle de la marée simulée, les conditions de vitesse sont acceptables. En effet, les conditions sont favorables 80% du temps sur 1 200 m. De même, en incorporant les zones à proximité du chenal dans l'analyse, on trouve des conditions favorables sur 1 400 m 25% du temps et sur l'ensemble de la section du fleuve 15 à 20% du temps.

Dans les conditions étudiées, on comprendra que la présence des jetées ne peut pas être problématique en terme de vitesse de courant. Cependant, les conditions favorables sur l'estran n'étant plus disponibles, la période et la section propices s'en trouvent réduites d'autant. Ainsi, entre la pointe de la jetée nord et le chenal, les vitesses de jusant se maintiennent entre 0,25 m/s et 0,7 m/s ce qui représente près de 60% du cycle. En considérant la période où le courant est inférieur à 0,3 m/s (figure 6.4) l'examen des résultats du modèle permet d'identifier des conditions favorables sur 75 m 30% du temps, sur 140 m 20 à 25% du temps et sur l'ensemble de la section d'écoulement entre les jetées 15-20% du temps.

Plus loin, en 6.7, nous allons comparer ces conditions à celles prévalant à la pointe de Grondines.

6.6.4 Crue d'automne (figure 6.7)

La marée utilisée pour cette simulation est probablement parmi les plus défavorables à la migration du Poulamon pour une crue d'automne moyenne. En effet, la faible amplitude de marée, en particulier la pleine mer inférieure, n'a pas permis de simuler - ni d'observer d'ailleurs puisqu'il s'agit de l'événement de calibration - des renversements de courants notables. Au mieux, retrouve-t-on des conditions proches d'un étale à marée haute.

Résultant de ceci, on retrouve des conditions hydrodynamiques moins contrastées dans le cycle. Les vitesses maximales du cycle (jusant) sont d'ailleurs comparables à celles obtenues pour les débits d'étiage et module. Au flot cependant, les conditions sont très différentes puisque les vitesses se situent aux environs de 0,1 m/s (vers l'aval) en moyenne sur l'estran. Sur l'ensemble du cycle, les vitesses sur l'estran varient entre 0,05 et 0,3 m/s ce qui constitue des conditions toujours favorables en pratique (100% du temps sur 1 200 m). Par contre, plus on s'approche du chenal, plus les conditions s'éloignent - et très rapidement - du seuil de vitesse propice.

Dans les conditions futures, la section d'écoulement résiduelle entre la jetée nord et le chenal est la même que celle pour laquelle les vitesses deviennent vite défavorables dans le milieu actuel. À l'analyse des courbes de la figure 6.7b et en s'aidant de la figure 6.4, on observe que jusqu'à mi-chemin des noeuds 5 et 6 (40 m de section) les vitesses sont favorables 60% du temps; à 75 m les conditions ne deviennent favorables que 5% du temps.

On voit ici, rappelons-le, un comportement qui se distingue assez nettement des autres états de référence. En effet, tous les autres états comportent toujours une période, même minime, mais favorable sur l'ensemble de la section du fleuve entre les jetées. Dans le cas présent,

le phénomène ne se produit pas. Cela est dû à la marée de l'événement qui est trop faible pour provoquer un ralentissement suffisant du courant dans le chenal. Cet événement permet ainsi de mettre en évidence l'importance relative du facteur marée par rapport au débit dans le comportement hydrodynamique du fleuve à cet endroit.

6.6.5 Crue moyenne du printemps (figure 6.8)

Quoique cette simulation ait été d'abord conçue pour identifier des structures tourbillonnaires stationnaires à proximité des jetées au printemps, l'utilisation des résultats permet d'extraire des informations concernant le rôle de la marée dans le régime des vitesses et mettre en évidence des conditions potentiellement plus favorables à la migration pour cet événement que pour la crue d'automne. Commençons d'abord par cet aspect puis, nous verrons par la suite les points d'interprétation relatifs à l'avalaison du Poulamon (tourbillons).

On constate d'abord en observant la figure 6.8a que malgré un débit de crue moyenne de printemps, la marée simulée a résulté en des vitesses d'écoulement plus variées et plus favorables à marée montante que la crue d'automne. Les paramètres de section versus temps sont les suivants:

- 1 200 m - 30% du temps;
- 1 400 m - 10% du temps;
- ensemble de la section - 5% du temps.

On voit donc que des conditions propices se produisent de manière plus variée que lors de la crue d'automne. Dans le cas présent, même le chenal pourrait s'avérer praticable actuellement malgré le débit considéré et ce, à cause de la marée dont l'amplitude favorise un ralentissement appréciable du courant. Quoiqu'un tel débit soit rarement observé l'automne, on constate que, s'il se produisait en conjonction avec de fortes marées, les conditions de migration seraient encore favorables pendant un court laps de temps.

Les conditions d'écoulement futures sont influencées par le même processus de ralentissement au flot. Il en résulte des vitesses d'écoulement globalement plus favorables que la crue d'automne avec marée de faible amplitude. Les paramètres de section versus temps sont les suivants:

- 40 m - 20% du temps;
- 75 m - 10% du temps;
- 140 m - 5% du temps;
- ensemble de la section - 3% du temps.

6.6.6 Tourbillons stationnaires

Du côté sud de l'axe Bois-des-Hurons, les simulations ont permis de mettre en évidence une structure tourbillonnaire se produisant pendant le jusant à l'aval de la jetée en particulier lors des débits de crue. Il s'agit de structures relativement communes dans le fleuve en particulier lors des périodes de retournement du courant au début du flot ou du jusant. Ces tourbillons se produisent à l'échelle des structures physiques (jetée sud, élargissement du chenal à l'aval ou à l'amont de Grondines) qui y contribuent. Il est à noter que ces tourbillons induisent des courants relativement faibles (typiquement 0-0,15 m/s) et peu porteurs d'énergie.

Il n'a pas été possible de mettre en évidence de tourbillon stationnaire à grande échelle du côté de la jetée nord. Tout au plus, retrouve-t-on à l'occasion, des structures transitoires de courte durée (typiquement 0,5 heure) qu'on peut associer à des phases de retournement du courant.

6.6.7 Résumé

La figure 6.9 présente sur le même dessin une synthèse des courbes 6.5b à 6.8b (milieu futur). La section de passage (vitesses inférieures à 0,3 m/s ou orientées vers l'amont) en fonction de la durée dans le

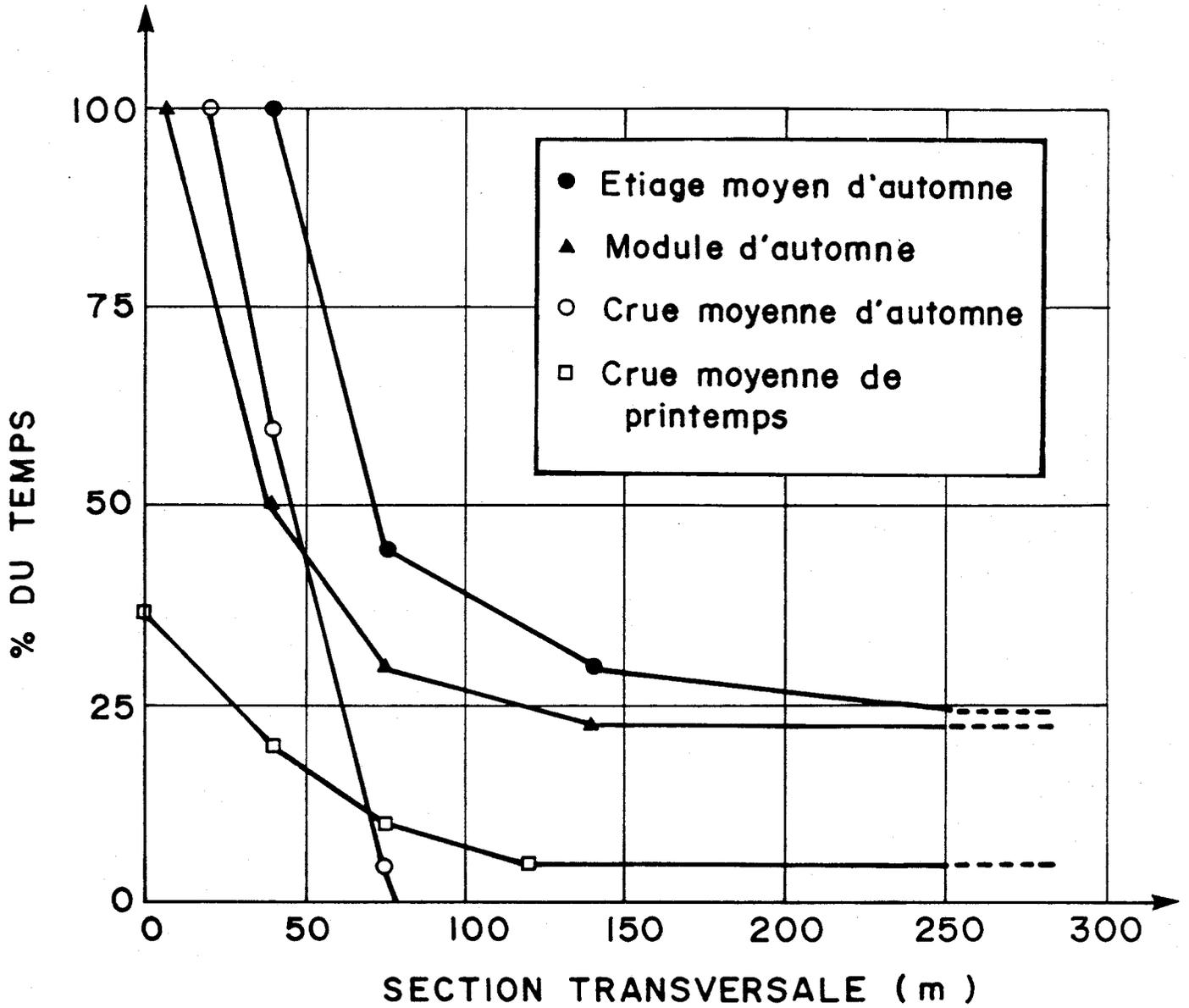
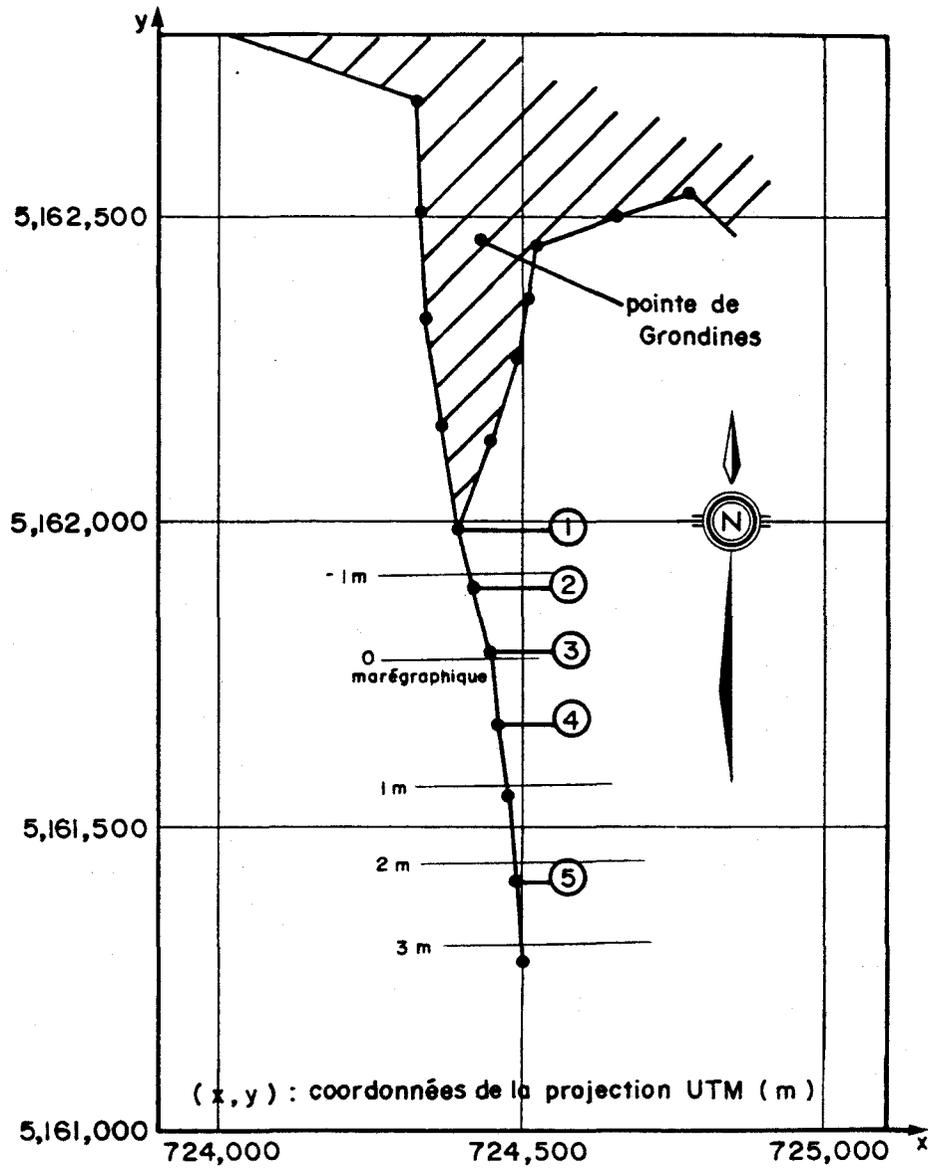


Figure 6.9: Section de passage en fonction du temps - critère 0,3 m/s - Pointe de la Jetée Nord de l'axe Bois-des-Hurons



Légende

- Les points 1, 2, 3, 4 et 5 sont situés respectivement à 0, 100, 210, 330 et 570 m de la pointe tel que définie dans le modèle.

Figure 6.10: Plan de localisation des noeuds du modèle à la pointe de Grondines

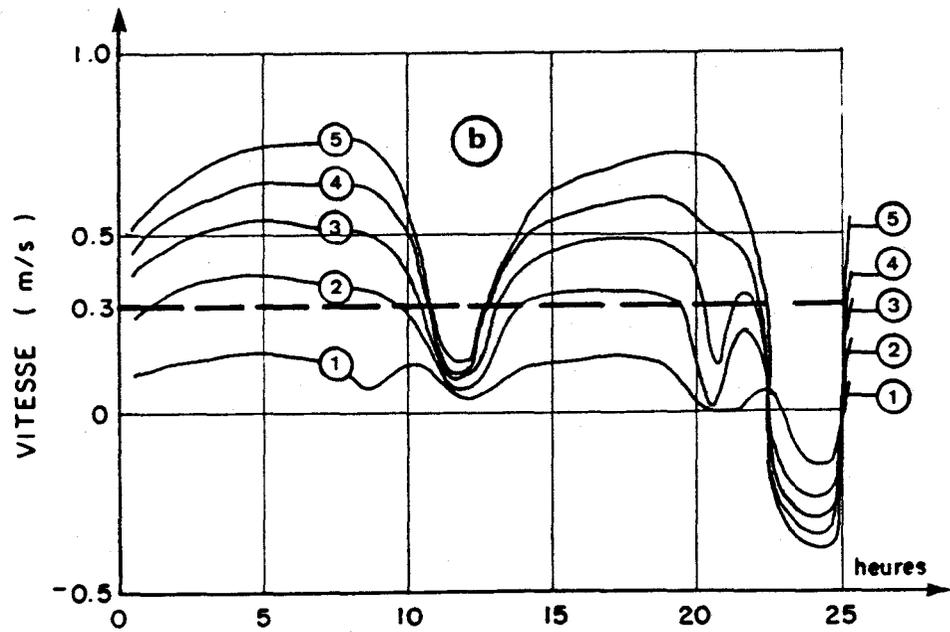
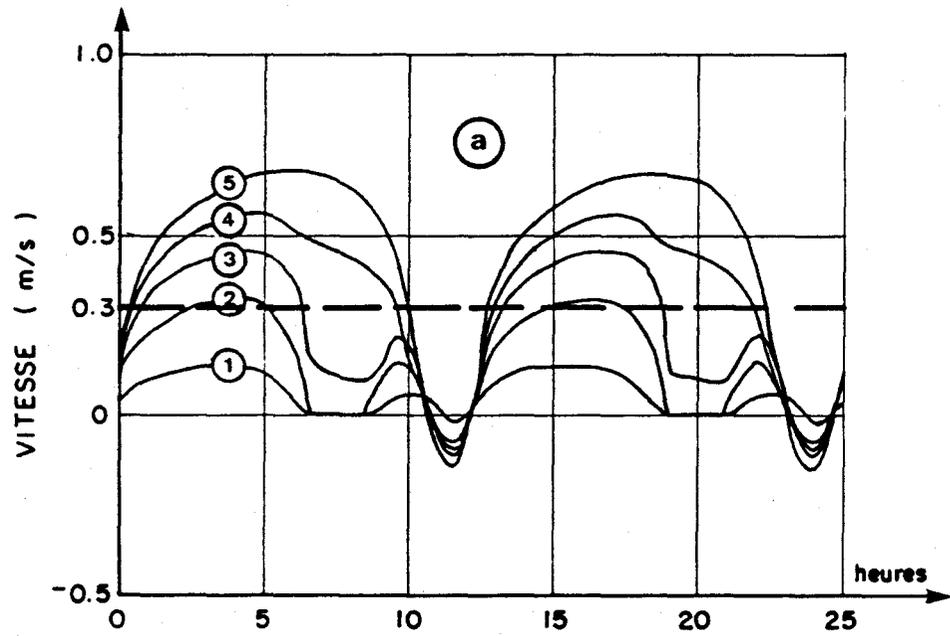


Figure 6.11: Conditions de vitesse à la Pointe de Grondines - a: étiage moyen d'automne; b: module d'automne (voir la figure 6.10 pour la localisation des points 1 à 5).

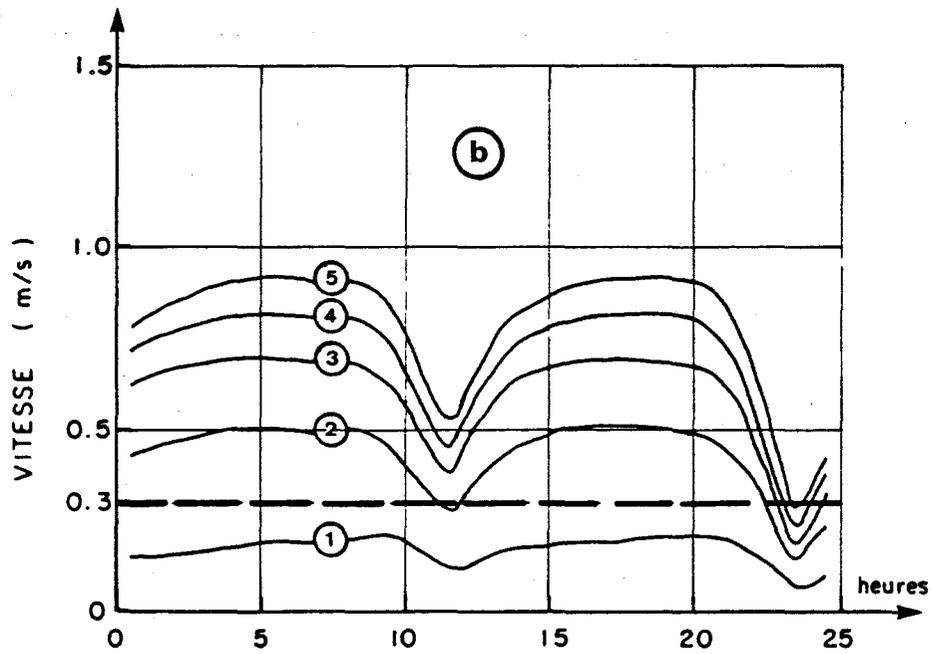
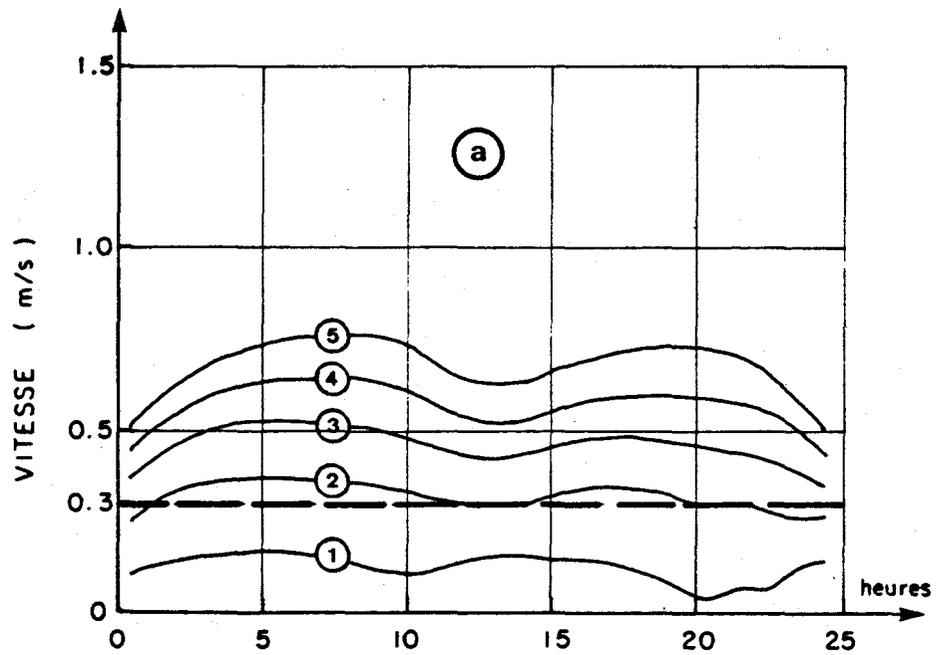


Figure 6.12: Conditions de vitesse à la Pointe de Grondines - a: crue moyenne d'automne; b: crue moyenne de printemps

cycle de marée étudié est illustrée ici. La section de passage, nous l'avons vu, est mesurée transversalement à partir de la pointe de la jetée.

On observe ici le comportement singulier des écoulements pour la crue moyenne d'automne. Cette observation nous confirme la sensibilité particulière du milieu à l'amplitude de la marée. En effet, la crue d'automne est le seul événement qui a été simulé avec une marée de faible amplitude.

6.7 Comparaison avec les conditions actuelles à la pointe de Grondines

Il nous est apparu pertinent de rechercher ailleurs dans la région étudiée des conditions physiques analogues à celles susceptibles de se produire dans le futur à la pointe des jetées. La pointe de Grondines (figure 6.10) nous est apparu comme une possibilité à cet égard. Nous avons porté en graphique les vitesses calculées en fonction du temps pour chacun des états de référence (figures 6.11 et 6.12) de l'étude. Cinq noeuds ont été retenus pour illustration: 631, 632, 633, 635 et 636 désignés respectivement par les nombres 1 à 5 et situés respectivement à 0, 100, 210, 330 et 570 m de la pointe (celle définie pour le modèle).

L'analyse des sections de passage en fonction du temps a été menée systématiquement en faisant ressortir à chacun des états de référence la section de passage (critère 0,3 m/s) en fonction du temps dans le cycle de marée. La figure 6.13 nous montre les résultats obtenus pour l'ensemble des états.

L'analyse des courbes de la figure 6.13 nous révèle que lors des forts débits, des conditions de passages favorables en durée (100% du temps) sont maintenues à la proximité de la pointe (25 à 50 m). Très vite cependant, les conditions de courant deviennent défavorables la plupart du temps (85%) dès qu'on s'éloigne à plus de 100 m de la pointe. À 200 m de celle-ci, il n'y a même plus de moment du tout où le courant tomberait à moins de 0,3 m/s.

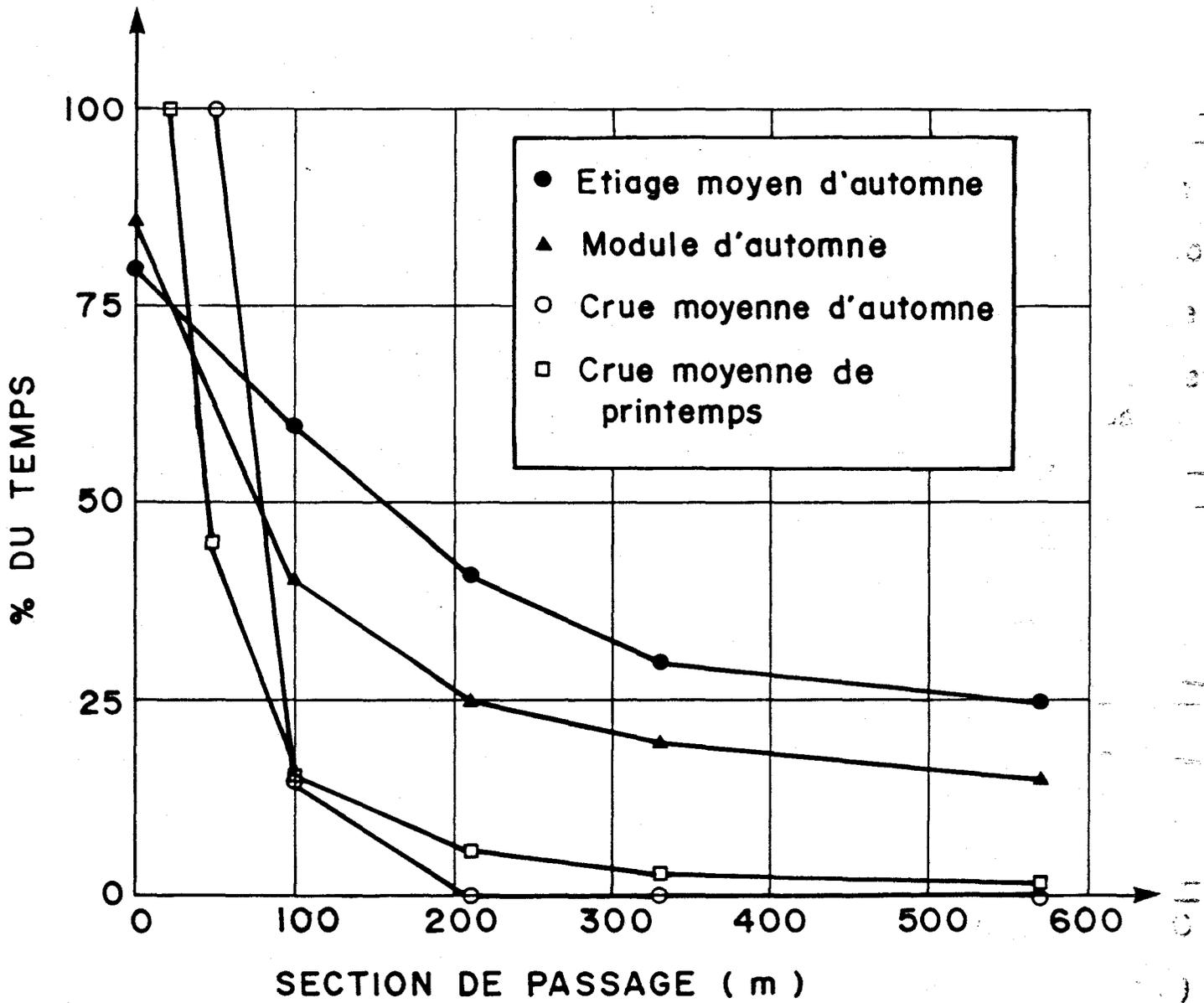


Figure 6.13: Section de passage en fonction du temps - critère 0,3 m/s -
Pointe de Grondines

Pour les débits d'étiage et module, les conditions de découverture de la batture réduisent la section disponible pendant un certain temps; c'est pourquoi, vis-à-vis du noeud 1, les conditions ne peuvent être considérées favorables que 80-85% du temps. Cependant, les conditions sont favorables plus longtemps et sur une plus grande section que lors des crues.

Quand on compare ces conditions avec celles de la pointe de la jetée projetée (figure 6.9), on observe des tendances générales analogues. Quelques différences se manifestent cependant. En effet, on voit de nouveau le comportement singulier de la crue d'automne lequel est attribuable, nous l'avons vu, à une marée de plus faible amplitude relativement. Cet état ne bénéficie pas des effets de ralentissement important voire, de renversement dont les autres états sont marqués.

À durée égale, on observe en général une section de passage favorable réduite de moitié à la pointe de la jetée comparée à celle de la pointe de Grondines.

On trouvera au Tableau 6.1 quelques exemples chiffrés de comparaison entre les deux pointes.

Dans les conditions les plus sévères observables pendant les débits de crue d'automne, on constate un écart général entre les deux sites variant entre 30 m à 60 m.

Ce constat nous servira de point d'appui pour recommander ultérieurement des mesures de mitigation visant à maintenir dans l'axe Bois-des-Hurons des conditions minimales de passage analogues à celles de la pointe de Grondines.

6.8 Aspects complémentaires

Nous avons jugé utile d'exploiter quelques uns des résultats les plus significatifs de la présente étude au bénéfice de la communauté scientifique qui s'intéresse au fleuve Saint-Laurent. La démarche ayant

Tableau 6.1: Comparaison des conditions natatoires favorables (< 0,3 m/s) aux pointes de Grondines et de la jetée nord

ÉTIAGE MOYEN D'AUTOMNE				
LIEU	% du temps			
	30	40	50	-
POINTE GRONDINES	350 m	200 m	150 m	
POINTE DE LA JETÉE NORD	175 m	90 m	70 m	
DIFFÉRENCE (m)	175 m	110 m	80 m	

MODULE D'AUTOMNE				
LIEU	% du temps			
	20	30	40	50
POINTE GRONDINES	325 m	150 m	100 m	75 m
POINTE DE LA JETÉE NORD	200 m	75 m	60 m	40 m
DIFFÉRENCE (m)	125 m	75 m	40 m	35 m

CRUE MOYENNE D'AUTOMNE				
LIEU	% du temps			
	10	20	50	100
POINTE GRONDINES	130 m	95 m	75 m	50 m
POINTE DE LA JETÉE NORD	70 m	60 m	45 m	20 m
DIFFÉRENCE (m)	60 m	35 m	30 m	30 m

conduit à ces résultats est entièrement nouvelle et inédite et nous avons cru qu'il serait dans l'intérêt de tous de décrire un exemple de cette perception nouvelle que permet d'obtenir un outil comme MEFLU-2.0.

On trouvera à l'annexe 5 les résultats abrégés du modèle hydrodynamique pour l'état de référence du débit module d'automne. Ces résultats comprennent les différents états significatifs du milieu au cours du deuxième cycle de marée (transition de la pleine mer inférieure à la pleine mer supérieure). En considérant la marée haute à Grondines comme moment initial, nous avons retenu pour fin d'illustration les pas de temps suivants: 0h00, 2h00, 4h00, 6h00, 8h00, 10h00, 10h30, 11h00, 11h30, 12h00 et 12h30.

Chacun de ces états fera l'objet d'un commentaire spécifique visant à mettre en évidence les principales structures rencontrées d'une part, et les facteurs qui expliquent les comportements simulés d'autre part.

Planche 1 (Annexe 5): 0h00 (pleine mer inférieure à Grondines):

On observe les comportements suivants: à l'aval de Grondines, le fleuve est à l'étale alors qu'à l'amont, il subsiste un courant de l'ordre de 0,5 m/s dans le chenal.

Planche 2: 2h00

L'ensemble de la masse d'eau subit l'accélération des vitesses provoquée par la marée baissante. On observe une convergence globale du fleuve vers le chenal à la pointe de Grondines puis une divergence des courants en face de Grondines et de nouveau une convergence plus loin en aval.

Planche 3: 4h00

L'accélération de la marée baissante se fait de plus en plus sentir et l'effet de convergence à l'aval de Grondines devient plus important, étant accentué par la réduction de section utile sur les battures. L'effet de vidange des battures ajoute une composante transversale aux courants dirigée vers le chenal. On assiste également à un début de découverture des battures sud du fleuve à Lotbinière.

Planche 4: 6h00

Les phénomènes de la planche 3 (convergence, vidange de battures, découverture) s'accroissent encore plus.

Planche 5: 8h00 (basse mer inférieure)

On atteint ici l'état minimal de la basse mer inférieure. L'effet de découverture des estrans est maximal et on observe des battures exon-dées des deux côtés du fleuve. En face de Lotbinière, ne subsiste d'ailleurs que le chenal de navigation et une demi-largeur de chenal de chaque côté.

Un peu à l'amont de Lotbinière du côté nord, on observe un processus de vidange pure (courant à composante transversale unique) de l'estran.

À la pointe de Grondines, les zones littorales marécageuses se découvrent sur une distance de 4 kilomètres environ.

Planches 6a et b: 10h00 (marée montante)

Cet état nous montre un processus de renversement des courants bien engagé. La marée montante provoque une décélération générale des courants qui se traduit par un renversement se manifestant d'abord, près du littoral et ensuite, dans le chenal. Ce comportement s'explique par la différence d'inertie entre ces deux portions de l'écoulement.

Sur une portion limitée du fleuve, il s'ensuit des courants dirigés vers l'aval dans le chenal et dirigés vers l'amont sur l'estran. De ce comportement, résultent également des structures tourbillonnaires d'une amplitude de 1 kilomètre, de faible énergie et non-stationnaires. Dans le cas présent, une de ces structures est visible dans la région en aval de Grondines (planche 6b).

Alors qu'au baissant, l'écoulement formait une structure convergente (vers le chenal) à la hauteur de la pointe de Grondines, cette fois, nous sommes en présence d'un patron divergent. En effet, la composante transversale de la vitesse est dirigée vers le littoral étant associée au recouvrement des estrans à marée montante.

Planches 7a et 7b: 10h30

Le renversement du courant se propage de plus en plus vers l'amont et d'abord, dans les zones latérales de l'écoulement. Dans l'état présent, l'écoulement est vers l'aval dans le chenal jusque vis-à-vis du quai de Grondines alors qu'il coule vers l'amont sur la rive nord jusqu'à l'île de la Batture (près de l'embouchure de la rivière Sainte-Anne).

Comme il se doit, le courant dans le chenal subit une décélération très nette (p/r à 10h00) dans la portion amont alors qu'il est accéléré (vers l'amont) dans la portion aval du domaine.

Planches 8a et 8b: 11h00

Les processus applicables à l'état de 10h30 se poursuivent mais plus à l'amont.

Planche 9: (11h30)

On note que la marée achève de monter à peu près partout sur l'ensemble du domaine. Le processus de retournement du courant achève de se propager jusqu'à l'amont de la rivière Sainte-Anne.

Planches 10a et 10b: (pleine mer supérieure)

Le niveau de la marée atteint son maximum en moyenne. À cause du déphasage de la marée entre les divers sites du fleuve, la marée est au début du baissant à Lotbinière et à la fin du montant à Sainte-Anne de la Pérade.

L'ensemble du fleuve coule vers l'amont. Le début du baissant à Lotbinière commence à faire sentir son effet par un ralentissement de la vitesse de flot à l'aval du domaine.

Planches 11a, 11b et 11c: (étales de marée haute)

Cet état est celui qu'on peut considérer comme le plus près d'un étale d'ensemble. Quoique des courants subsistent un peu partout, ils sont faibles ne dépassant que rarement des vitesses de 0,1 m/s vers l'amont ou vers l'aval.

Tous les processus transitoires observés au début du montant (retourne-ment, tourbillons, décélération, accélération) sont de nouveau obser-vables mais en sens inverse.

Notons en particulier une structure tourbillonnaire (faible mais nota-ble) à l'amont de la pointe de Grondines. Remarquons également à l'aval du domaine (sur près de 6 km de distance au nord et au sud du chenal) que le courant est en phase de jusant alors que dans le chenal, l'écoulement est en phase terminale de flot.

Ce comportement différencié est de nouveau attribuable aux écarts d'inertie (vitesse) qui caractérisaient l'écoulement dans les phases précédentes. En effet, la résultante d'un abaissement de niveau à l'aval se fait sentir plus tôt sur la batture (où le courant est fai-ble) que dans le chenal où le flot donne encore à 12h00 des courants de 0,7-0,8 m/s.

CHAPITRE 7

ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE:
RECONNAISSANCE MORPHO-SÉDIMENTOLOGIQUE
PAR: LES "CONSULTANTS SAINT-LAURENT"

7. ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE: RECONNAISSANCE MORPHO-SÉDIMENTOLOGIQUE (PAR LES "CONSULTANTS SAINT-LAURENT")

Nous présentons dans ce chapitre les résultats de la reconnaissance morphosédimentologique réalisée dans le but d'apporter un éclairage complémentaire au milieu à l'étude.

Trois autres éléments des campagnes de mesures concernant des mesures de la vitesse du courant, le contrôle des conditions de mélange durant la campagne de télédétection et le traitement numérique des images de télédétection sont présentés aux annexes 2, 3 et 4 respectivement.

7.1. Observations

Une visite sur le terrain a permis de fournir une description sommaire des conditions sédimentaires actuellement observées sur les rives nord et sud du Saint-Laurent, de l'embouchure de la rivière Sainte-Anne à Lotbinière. On a effectué pour cela un survol en hélicoptère au moment d'une marée basse de morte-eau. Dans cette partie du Saint-Laurent, c'est à ce moment qu'on observe la marée prédite la plus basse. L'analyse de la bibliographie pertinente n'est pas reprise ici. Cependant, les connaissances fondamentales sur le milieu sont présentées de façon très succincte. On trouvera à la fin du chapitre des photographies décrivant les points importants observés lors de la reconnaissance.

Le survol s'est effectué le 28 octobre 1986 de 13h00 à 15h00 approximativement. A cette période de l'année, la végétation n'était pas encore totalement disparue des berges et les sédiments fins retenus au cours de l'été dans les herbiers étaient encore en place.

Sur le terrain, des observations ont été faites sur la rive nord à la pointe des Grondines qui représente une avancée naturelle de 1 200 m émergeant en permanence sur l'estran dont la largeur totale à cet endroit atteint 1 750 m. Cette pointe rocheuse, par sa ressemblance avec les jetées qui seront utilisées lors des phases de construction montre

le rôle des mécanismes sédimentaires actifs à long terme dans le milieu.

Au niveau hydrodynamique, il faut savoir que l'influence de la marée s'atténue rapidement entre Lotbinière et l'embouchure de la rivière Sainte-Anne. Le débit associé à la marée moyenne est du même ordre de grandeur que le débit fluvial moyen à Lotbinière, mais il est deux fois plus faible à la Pérade (Forrester, 1972). Ceci se reflète sur les amplitudes de l'onde de marée (Godin, 1979) et sur celles des courants. Au cours d'un cycle de marée complet, les courants sont plus constants dans la partie amont du domaine que dans la partie aval. A Lotbinière, l'inversion des courants se produit fréquemment, ce qui a pour conséquence de renforcer de façon marquée les intensités associées au cours du baissant (de la marée haute à la marée basse suivante). En conséquence, les conditions hydrodynamiques moyennes qui s'observent à l'amont du domaine s'amplifient pour devenir fortes à l'aval du domaine.

Dans toute la région considérée, le lit du fleuve est caractérisé par un chenal profond de plus de 10 m et large de 300 à 500 m où transite la plus grande partie du débit. Ce chenal est bordé par des estrans larges ou par des zones d'eau peu profondes où des chenaux secondaires restent marqués (carte marine 1314). A cause de leur faible profondeur, les zones voisines du chenal sont parcourues par des courants beaucoup moins violents. On pourrait s'attendre à ce que les hauts-fonds et les estrans soient donc le lieu de sédimentations préférentielles pour les particules fines et les sables si ceux-ci sont disponibles en quantité suffisante.

À l'amont du domaine, l'aire de mouillage de Batiscan nécessite un dragage d'entretien annuel afin d'en retirer les sables qui s'y déposent. On estime que le volume moyen des dépôts est d'environ 35 000 m³/an; on y retrouve principalement des sables fins. Le secteur amont est marqué par la présence de sables le long des deux rives. En aval de l'embouchure de la rivière Sainte-Anne, les plages sableuses sont continues. On retrouve encore une plage de sable bien développée au quai

de Deschaillons sur la rive sud. Plus en aval, les sables deviennent beaucoup moins apparents le long des deux rives. La disponibilité des sables est donc évidente dans la partie amont du domaine jusqu'à Deschaillons.

D'autre part, dans la région considérée, la charge solide des eaux du fleuve est d'environ 10 mg/L (Verrette et Frenette, 1980) en dehors des périodes de crues. Pour un débit de 10 000 m³/s, cela représente un peu plus de 8 500 t/jour de transit sédimentaire en suspension. On peut donc dire que la disponibilité des particules fines existe sans aucun doute possible pour l'ensemble du domaine étudié.

Cependant, la reconnaissance morpho-sédimentaire effectuée n'a fait apparaître aucune zone de sédimentation évidente et cela, en accord avec les informations disponibles sur cette partie de l'estuaire du Saint-Laurent (Pelletier, 1982). Sur les estrans, les accumulations sont négligeables et on observe les roches nues presque partout. Entre celles-ci, les dépôts de particules fines ne sont pas absents mais ils restent très réduits. Au moment de la visite, des épaisseurs de boues de quelques millimètres paraissent représentatives pour les estrans rocheux parcourus. Les sables sont également présents mais eux aussi sont en faibles ou très faibles quantités.

Le long de la pointe des Grondines, certaines zones en végétation montraient des accumulations de particules fines de l'ordre de quelques centimètres (environ 5 à 7 cm selon les endroits). Les surfaces couvertes de végétation sont réduites et n'influencent probablement pas de façon marquée la sédimentation dans l'ensemble du domaine considéré.

On peut donc dire que la construction des jetées en travers des estrans, n'aurait pas pour conséquence de retenir des sédiments fins en quantités importantes. Une structure de ce type se comparerait sûrement à ce qu'on observe à la pointe des Grondines, en dehors des zones de végétation. Le fin placage de sédiments observés est probablement instable et les vagues peuvent le remettre en suspension sans difficulté.

Si les jetées venaient à jouer un rôle protecteur efficace contre les courants et les vagues, il y aurait accumulation des sables et des sédiments fins dans leur voisinage. Ces sédiments seront très probablement remis en suspension lorsque les jetées seront enlevées. Pour une durée des travaux inférieure à trois ans, les accumulations escomptées seront négligeables même si elles ne sont pas enlevées par les vagues ou par les glaces chaque année.

Dans l'ensemble, le tronçon étudié fait apparaître une capacité de transport sédimentaire allant en augmentant de l'amont vers l'aval. Par exemple, les zones sableuses existant au niveau de l'embouchure de la Sainte-Anne deviennent instables plus en aval. Dans les conditions naturelles, l'ensemble du secteur apparaît dominé par les mécanismes érosifs.

La bathymétrie du milieu (voir la figure 1.1) est celle mesurée par les services hydrographiques de Pêches et Océans Canada. Il ne s'agit pas des cartes de navigation généralement disponibles sur le marché commercial mais plutôt des relevés originaux qui sont plus denses dans l'espace et plus précis. En effet, les cartes diffusées dans le commerce ont pour fonction essentielle de guider les navigateurs et leur permettre d'éviter les écueils formés par les haut-fonds et les blocs erratiques (boulders) nombreux en périphérie du chenal de navigation. L'information recueillie sur le terrain est donc filtrée et seul, n'est présenté finalement qu'un sous-ensemble de données reflétant cette fonction des cartes. Les données originales, au contraire, représentent beaucoup plus fidèlement l'information bathymétrique requise par le modèle. La seule carence de ces cartes se situe dans les zones situées généralement au-dessus du zéro marégraphique, (zones intertidales, littoraux marécageux, fonds mobiles sablonneux).

Notons enfin que les cartes utilisées donnent la profondeur par rapport au zéro marégraphique et que celui-ci varie par paliers successifs de niveau à mesure que l'on progresse vers l'amont de l'estuaire supérieur. Pour appliquer le modèle, cette information doit donc être restituée dans un référentiel de niveau commun pour l'ensemble du

domaine étudié. Dans notre cas, c'est le Référenciel international de Grand-Lacs de la zone de Lotbinière qui a servi à définir le zéro marégraphique (datum) du modèle.

7.2 Discussion

Les jetées construites en travers des estrans auront donc une capacité d'interception plus grande à l'aval du domaine qu'à l'amont puisque les transits sédimentaires augmentent en allant vers l'aval.

Au port de Bécancour, les mesures des accumulations fines représentent 2 à 5 cm/an dans les aires draguées à 10,7 m sous le zéro des cartes (Descoteaux et Michaud, 1983). Des valeurs aussi faibles dans des zones bien protégées confirment sans aucun doute possible que les accumulations de particules fines sur les estrans resteront négligeables. Ce point est important car la remise en suspension des particules fines occasionne des risques environnementaux à cause des polluants qui leur sont associés. Au niveau sédimentaire, aucune contrainte environnementale ne paraît associée à la construction des digues sur les estrans nord et sud du Saint-Laurent.

7.3 Compléments photographiques

Les pages suivantes comprennent des photographies de la zone observée accompagnées chacune d'un bref commentaire sur le contenu de l'image. La figure 7.1 montre la localisation des photographies sur la carte du fleuve.

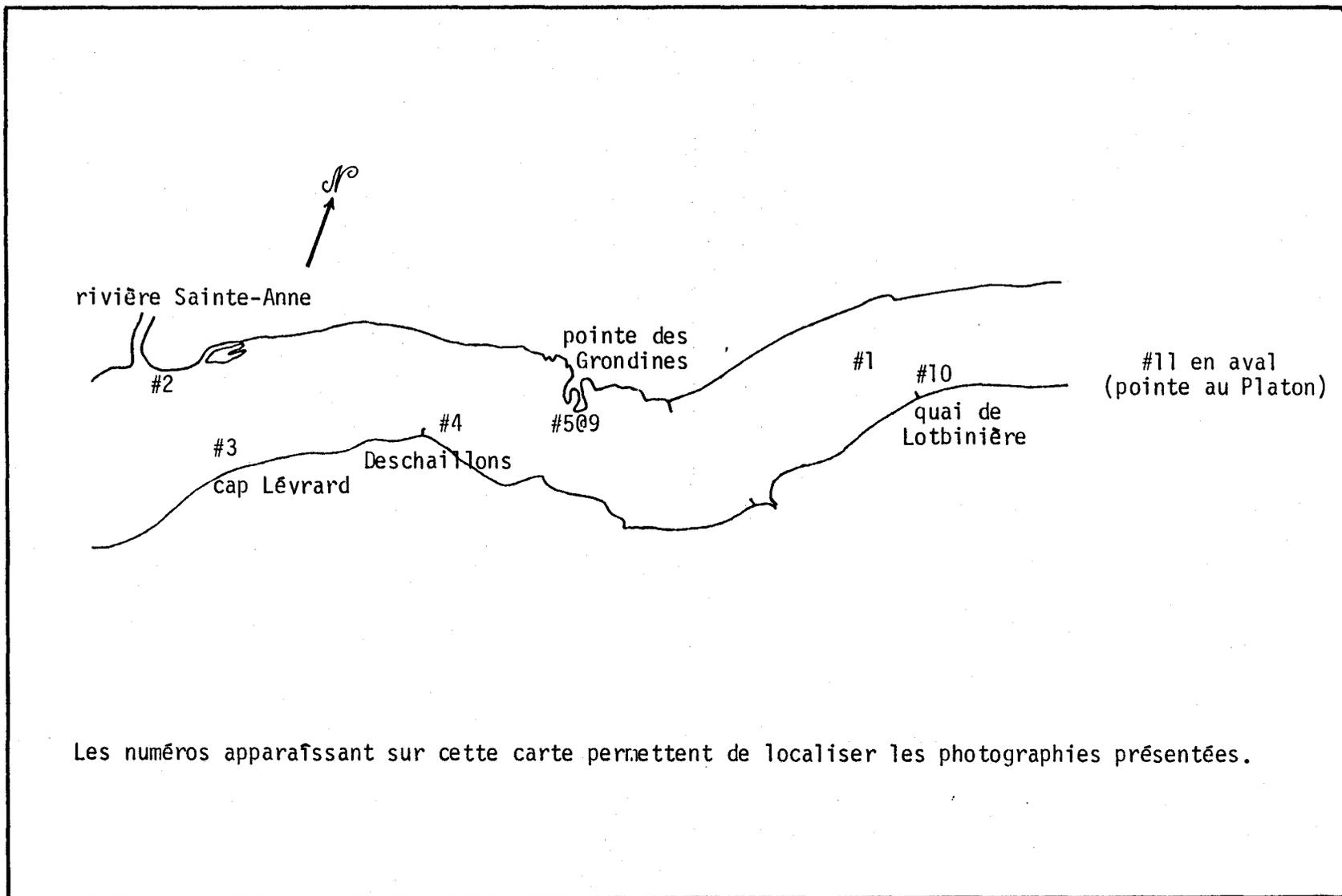


Figure 7.1: Localisation des photographies présentées



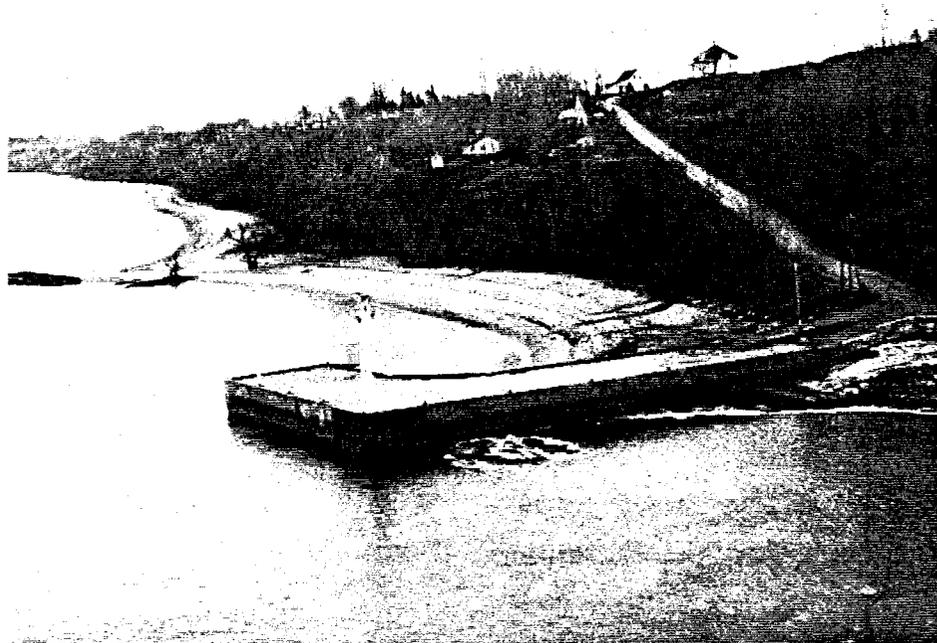
- #1 On distingue nettement sur cette photographie prise au niveau de Lotbinière les eaux claires en provenance des Grands Lacs qui suivent le chenal. Elles sont situées entre les eaux plus turbides longeant les deux rives.



- #2 À l'amont du domaine, on retrouve un grand nombre de plages de sables, en particulier sur la rive nord. Cette photographie est prise en aval de l'embouchure de la rivière Sainte-Anne.



- #3 Au niveau du cap Lévrard, la proximité du chenal réduit la plage à un cordon sableux de quelques mètres de largeur seulement. En arrière, la falaise porte de nombreuses traces d'érosion.



- #4 Le quai de Deschaillons protège une plage sableuse en aval qui disparaît lorsqu'on s'éloigne des zones protégées.

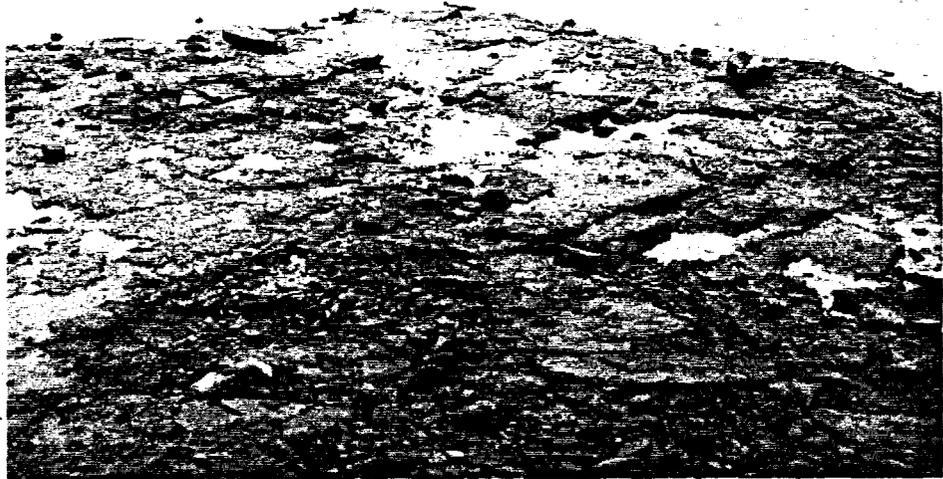
Les photographies 5 à 9 sont prises à la pointe des Grondines (au niveau de cap Charles mais sur la rive nord) dont la forme peut être assimilée à une digue naturelle en travers d'un estran de grande largeur.



- #5 Sur la plus grande partie de l'estran au large de la pointe des Grondines, les roches transportées par les glaces et les schistes géli fractés ne protègent aucune sédimentation fine.



- #6 Dans les zones mieux protégées, la sédimentation fine apparaît entre les cailloux.



- #7 La sédimentation fine se fait également sous la forme de boue adhérent aux cailloux en place.



- #8 À cause de sa forme particulière, la pointe des Grondines abrite très efficacement certaines zones que le scirpe a colonisées. Dans ces zones, les glaces sont particulièrement actives comme l'indique la présence des blocs rocheux déposés.

CHAPITRE 8

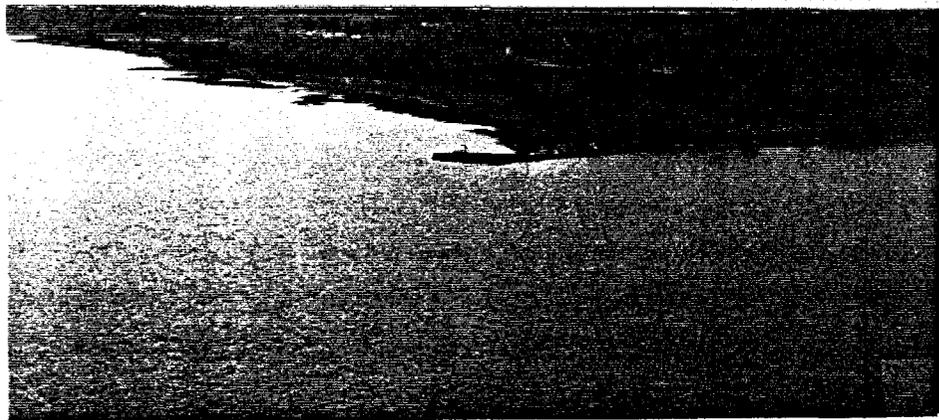
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS



- #9 La sédimentation fine dans les zones très protégées où le scirpe s'est développé atteint environ 5 à 7 cm d'épaisseur.



- #10 En aval du quai de Lotbinière, le scirpe se développe et maintient en place une faible épaisseur de sédiments fins.



- #11 À la pointe au Platon, on observe une érosion à l'amont et une sédimentation en aval. Cette sédimentation présente les mêmes caractéristiques que celle de Lotbinière.

8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

8.1 Conclusions relatives à la démarche

La présente étude a permis de réaliser une application intégrée et très élaborée de différentes techniques: modélisation par éléments finis, télédétection, traitement d'images, infographie dans le contexte de la protection d'une ressource biologique d'intérêt: le poulamon atlantique.

Dans le cadre de la traversée du fleuve Saint-Laurent de la ligne Radisson/Nicolet/des Cantons, un tronçon du fleuve compris entre Lotbinière et Sainte-Anne de la Pérade a été jugé comme la portion nécessaire pour appliquer judicieusement le modèle MEFLU-2.0 compte tenu du besoin de modéliser l'apport de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve.

La phase de calibration du modèle a permis de préciser les paramètres de celui-ci et par la suite de bien reproduire l'ensemble des processus physiques importants pour la problématique: courants, propagation de la marée, débit de l'amont, intrusion des eaux de la rivière Sainte-Anne dans celles du fleuve Saint-Laurent.

La phase de validation a permis de corroborer un ensemble de données connues relatives au débit fluvial et à la propagation de la marée.

Des conditions de références du milieu actuel ont ainsi été générées sous la forme d'une analyse de sensibilité au débit surtout mais aussi, à la marée. Quatre débits ont fait l'objet de cette analyse: l'étiage moyen, le module et la crue moyenne d'automne et la crue moyenne du printemps. Les marées simulées comprenaient la plupart du temps une succession de marnages de grande et de faible amplitudes.

Le modèle a ensuite été appliqué au même milieu tel que modifié éventuellement par le projet de traversée à Bois-des-Hurons. Du point de

vue de la structure générale des écoulements actuels du fleuve - principalement influencée (à 90-95%) par le chenal de navigation - les changements proposés, soit la construction de jetées; permettent d'utiliser le modèle en employant les mêmes conditions aux limites et les mêmes paramètres que le milieu actuel.

Les mêmes états de référence que pour l'étude du milieu actuel ont été documentés numériquement avec MEFLU-2.0 (phase prédiction).

8.2 Conclusions générales relatives au projet proposé

Du point de vue du comportement abiotique du fleuve quelques conclusions majeures peuvent être extraites de la présente étude, par rapport à l'hydrodynamique, au transport-diffusion et accessoirement les sédiments.

8.2.1 Hydrodynamique

Du point de vue hydrodynamique, l'effet de restriction des jetées est de dévier vers le chenal les écoulements qui transitent actuellement sur les estrans dans l'axe Bois-des-Hurons. Cette déviation est sensible sur une distance totale égale à deux fois la longueur des jetées centrée sur celle-ci. Les débits impliqués sont de l'ordre de 0-5% dépendant de la phase de la marée et du débit fluvial résiduel. Cet effet est relativement minime et localisé par rapport à l'échelle d'ensemble du domaine d'étude. Cette faible proportion est attribuable à la bathymétrie du fleuve caractérisée par un chenal navigable profond de 14-15 m (par rapport au référentiel) et des estrans dont la profondeur serait plutôt de $\pm 1,0$ m. Dans le cas présent, la fraction la plus "utile" de la section d'estran, celle comprise entre les extrémités des jetées et le chenal, est laissée libre pour l'écoulement. Dans cette zone, la vitesse de l'écoulement est augmentée dans une proportion de l'ordre de 10% par comparaison avec les conditions actuelles.

Sur la moitié de la zone de déviation de l'écoulement, celle comprise dans un triangle formé par une jetée, le littoral et un segment de

droite qui les joint, l'écoulement est considérablement ralenti ne laissant subsister près de la jetée qu'un courant transversal de flot et de jusant.

8.2.2 Intrusion de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve

Du point de vue de l'intrusion de la rivière Sainte-Anne dans le fleuve Saint-Laurent, une conclusion globale va s'appliquer à la comparaison des résultats avec les jetées et sans celles-ci. Une remarque préliminaire doit d'abord être faite. L'intrusion des eaux de la rivière Sainte-Anne est un phénomène extrêmement contrasté en raison de la grande variabilité des facteurs en cause: hydraulité saisonnière de la rivière, périodicité de la marée, etc.

On ne doit donc pas s'attendre à ce que cette étude de sensibilité du transport diffusion aux facteurs mentionnés précédemment, nous permette de percevoir en détail toute la variabilité combinée des divers facteurs. Quoi qu'il en soit, les débits qui ont fait l'objet d'analyse sont très variés et nous permettent de vérifier des conditions près des extrêmes et de la moyenne des événements.

L'intérêt de l'étude réside surtout dans l'effet que procure la présence des jetées. En effet, dans la zone immédiate de la jetée nord où les écoulements sont considérablement ralentis, il s'ensuit un élargissement général de l'intrusion qui se répercute également mais de manière moins sensible vers l'amont et l'aval. Ce constat est applicable à l'ensemble des simulations. On aura donc tendance à retrouver dans ces zones des eaux moins mélangées de la rivière Sainte-Anne et plus répandues sur l'estran que dans le contexte actuel. La présence des jetées aurait en quelque sorte pour effet d'amplifier un processus déjà présent dans la région de l'axe Bois-des-Hurons, soit celui induit par la présence d'estrans à écoulement lent et susceptible de s'exonder périodiquement à marée basse. L'effet de déviation vers le chenal qui résulte des estrans est de même nature à un degré moindre que l'effet des jetées.

8.2.3 Sédiments

Suite aux observations menées lors de la reconnaissance morphosédimentologique, nous sommes d'avis que la présence de jetées en travers des estrans n'aurait pas pour effet de retenir les sédiments fins en quantités importantes à cet endroit. Si toutefois les jetées venaient à jouer un rôle protecteur provoquant une accumulation de sédiments, ceux-ci seraient certainement remis en suspension suite à l'enlèvement des jetées.

8.3 Conclusions relatives au poulamon atlantique

8.3.1 Approche normative

Comme nous l'avons vu, il a été retenu d'utiliser une approche normative pour définir un seuil de vitesse limite propice à la montaison du poulamon atlantique. Ce seuil de 0,3 m/s définit une vitesse vers l'aval que le poisson visé peut franchir en régime normal de montaison.

Ce seuil découle d'une part, des analogies génétiques qu'on peut établir avec la lotte un poisson mieux connu du point de vue du potentiel natatoire, et, d'autre part, de nombreuses mesures réalisées sur le terrain par les biologistes de G. Shooner et associés (1987).

Sans doute, le poulamon peut-il franchir de courtes distances dans des conditions plus difficiles? Mais, en absence de données minimales sur cet aspect, il a été résolu d'adopter un point de vue sécuritaire et responsable vis-à-vis de cette ressource.

De notre point de vue, le seuil natatoire de 0,3 m/s pour le poulamon atlantique peut être utilisé comme une norme qu'il importe par la suite de respecter dans toutes les phases de construction des ouvrages dans l'axe Bois-des-Hurons.

8.3.2 Conditions hydrodynamiques futures dans l'axe de Bois-des-Hurons (côté nord)

Une conclusion préliminaire serait que les conditions actuelles sont parmi les plus favorables (dans le domaine à l'étude) qu'aurait à franchir le poulamon atlantique dans sa migration vers l'estuaire de la rivière Sainte-Anne.

C'est pourquoi la comparaison des conditions actuelles à cet endroit avec celles projetées n'est pas appropriée. Il est plutôt indiqué de comparer les conditions projetées avec un site défavorable puisqu'on est assuré que le Poulamon est apte à vaincre les conditions qu'on y retrouve. Parmi les sites potentiels on compte, entre autres, le quai de Grondines et la pointe de Grondines, le premier étant sans doute le pire en raison de la proximité de zones de grandes profondeurs.

Par mesure de sécurité, c'est avec la pointe de Grondines que des comparaisons ont été faites. On conclut que les conditions de section de passage à la pointe de la jetée nord sont relativement proches de celles qu'on retrouve à la pointe de Grondines, un déficit de 30 m à 60 m subsistant cependant au désavantage de la jetée. Cette conclusion fera l'objet d'une recommandation spécifique plus loin dans ce rapport.

En ce qui concerne les zones à proximité de la jetée nord à l'amont et à l'aval, il en résulte un milieu doublement propice pour le poulamon atlantique. Premièrement, on y retrouve, comme nous l'avons vu, des eaux plus représentatives de la rivière Sainte-Anne que dans les conditions actuelles (effet d'accumulation) et deuxièmement, les conditions de courant y sont considérablement ralenties ce qui devrait s'avérer favorable au repos du poisson (facteur d'abri).

Enfin, il n'a pas été possible de mettre en évidence des structures tourbillonnaires importantes et stables dû à la présence de la jetée nord. De telles structures ont pourtant résulté des simulations du côté sud en conditions de crue. Des différences de bathymétrie et de

conditions de propagation de la marée expliquent cette différence de comportement. Les états de référence pour la simulation représentant une gamme réduite des conditions possibles de marée, il n'est pas exclu qu'en certaines circonstances (niveau d'eau plus élevé) de telles structures tourbillonnaires plus stables puissent apparaître du côté nord également. Du point de vue de l'avalaison des larves du poulamon, cela pourrait alors représenter un facteur de rétention locale de celles-ci et éventuellement de préstation excessive. Nous croyons cependant que ce risque est relativement faible car ces structures sont caractérisées par des courants très lents créant peu d'appel par rapport aux masses d'eau transitant à proximité.

8.4 Recommandations

8.4.1 Recommandations relatives à la jetée nord

Étant donné l'approche normative adopté pour le poulamon atlantique et sa capacité de franchir les conditions hydrodynamiques actuelles à la pointe de Grondines, il est recommandé de:

- maintenir dans l'axe de Bois-des-Hurons (rive nord) pendant la montaison des conditions hydrodynamiques minimales analogues à celles qu'on retrouve à la pointe de Grondines externe de distance transversale franchissable.

8.4.2 Recommandations complémentaires relatives à la démarche poursuivie

La modélisation permet de produire une somme phénoménale de données numériques fiables sur le problème à l'étude. Cette caractéristique présente un avantage évident pour la quantification des analyses environnementales. Cependant, la quantité de données obtenues est un inconvénient quand il s'agit d'accéder à l'information rapidement et de la livrer visuellement. Ainsi, quoique trois annexes complètes d'images couleurs avec diapositives aient été produites, constituant en tout près de 400 scènes différentes, cette information ne représente que 8% de l'ensemble des données produites par l'étude. Il faut donc trouver

des moyens pour rendre l'accès aux données beaucoup plus facile que maintenant. Nous recommandons à la direction Environnement de rechercher des solutions plus appropriées à cet égard ou de supporter les efforts des chercheurs dans ce sens. Des voies d'investigation peuvent être constituées par:

- les moyens d'enregistrement vidéographique couplés avec des logiciels d'infographie appropriés;
- les moyens de mémorisation directe des images infographiques sur support informatique;
- le développement d'un système informatique graphique intégré (station de travail) dédié au calcul et à la visualisation avec contraintes de convivialité.

L'utilisation du médium papier pour les sorties couleur peut être maintenue mais dans une perspective plus limitée, par exemple, pour illustrer les aspects-clés de l'étude dans les étapes de consultation préliminaires aux audiences publiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADDEY, R.C., BREBBIA, C.A. (1973). Finite-element solution for effluent dispersion. In: Brebbia, C.A. et J.J. Connor [éds.], Numerical methods in fluid dynamics, p. 325-354, Pentech Press, London.
- BOUDREAU, A., R. LALUMIERE et L. BELZILLE - 1985 - Étude d'impact de la traversée du fleuve Saint-Laurent aux corridors de Bécancour et de Bois-des-Hurons. Rapport sectoriel 1. Shooner & associés pour Hydro-Québec, 114 p.
- BOULANGER, F. - 1982 - Port de Bécancour. Examen des risques de sédimentation à proximité des aménagements portuaires. Rapport du Laboratoire d'Hydraulique Lasalle ltée, no 856, 11 p.
- BREBBIA, C.A., PARTRIDGE, P. (1976). Finite element models for circulation studies. In: Brebbia [éd.], Mathematical models for environmental problems, Pentech Press, London.
- BROOKS, A.N., HUGUES, T.J.R. (1982). Stream-line upwind/Petrov-Galerkin formulation for convection-confined flows with particular emphasis on the incompressible Navier-Stokes equations. *Comp. Meth. in App. Mech. Eng.*, 32.
- DESCOTEAUX, Y. et J.R. MICHAUD (coordonnateurs) - 1983 - Étude d'impact sur l'environnement. Projet de construction de postes d'amarrage et préparation d'une aire de stockage aux installations portuaires de Bécancour. Vol. 1: rapport de Synthèse. Rapport de A.G.I.R. ltée et André Marsan & associés, 333 p.
- COCHET, J.F. (1979). Modélisation d'écoulements stationnaires et non-stationnaires par éléments finis. Thèse de docteur-ingénieur, Université de compiègne (France).
- COCHET, J.F., DHATT, G., HUBERT, G., OUELLET, Y., ROBERT, J.L., VERRETTE, J.L. (1983). Gentilly 3 - Modélisation des mécanismes de rejet des eaux de refroidissement. Rapport CRE-83/01, Centreau, Université Laval, Québec.

- CONNOR, J.J., WANG, J.D. (1974). Finite element modelling of hydrodynamic circulation. In: Brebbia, C.A. et J.J. Connors [éds.], Numerical methods in fluid dynamics, Pentech Press, London.
- DOHLER, G.C. - 1961 - Current survey St. Lawrence river Montréal - Québec, 1960. Can. Hydro. Serv., Dept. of Mines and Technical Surveys, Ottawa, 58 p.
- DHATT, G., TOUZOT, G. (1981). Une présentation de la méthode des éléments finis. Maloine, Paris.
- DHATT, G., M. LECLERC, P. DUPUIS ET A. SOULAÏMANI (1985). "Modélisation des écoulements lents et rapides" rapport # TAO-85-02, # INRS-Eau RS-187, 146 p.
- FRENETTE, M. et J.L. VERRETTE - 1976 - Environnement physique et dynamique du fleuve Saint-Laurent - Revue l'Ingénieur, 312: 13-24.
- FORRESTER, W.D. - 1972 - Courants et débits de marée dans le fleuve Saint-Laurent et son estuaire - Revue Hydrographique Internationale, 49: 99-112.
- GODIN, G. - 1979 - La marée dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent. Le Naturaliste Canadien, 106: 105-121.
- GROTKOP, G. (1973). Finite element analysis of long period waves. com. Méth. in App. Res. and Eng., 2.
- LEBLOND, P.H. - 1979 - Forced fortnightly tides in shallow rivers Atmosphere - Ocean, 17: 253-264.
- LECLERC, M., G. DHATT, J.L. ROBERT, A. SOULAÏMANI, P. DUPUIS et al (1985). Projet Archipel: simulation des conditions abiotiques actuelles et futures du Lac Saint-Louis, du Bief d'Amenée et du Bassin La Prairie. Rapport # TAO/HYD-85-03 et INRS-Eau # RS-191, 90 p. & 8 annexes couleurs.

- LÖHNER, R., MORGAN, K., PERAIRE, J., ZIENKIEWICZ, O.C. (1985). Recent Developments in FEM-CAD. Inst. Num. Meth. in Eng., report No C/R/513/85, Swansea, U.K.
- LONG, B.F., D. BOUCHARD et J.P. DUMAS - 1980 - Étude des variations de la charge solide du fleuve Saint-Laurent entre Trois-Rivières et Gentilly, Québec. Rapport GREA, UQTR, 72 p.
- MCDOWELL, D.M. and B.A. O'CONNOR (1977). "Hydraulic Behaviour of Estuaries". McMillan Press, N.Y., 291 p.
- PELLETIER, M. - 1982 - Évolution sédimentologique de l'estuaire fluvial du Saint-Laurent. Thèse de maîtrise, UQAR, 216 p.
- PRICE, H.S., CAVENDISH, J.C., VARGA, R.S. (1968). Numerical methods of higher order accuracy for diffusion-convection equations. Soc. Pet. Eng. J., 243: 293-303.
- RODI, W. (1980). Turbulence models and their applications in hydraulics. AIRH, div. of exper. and math. dynamics, Delft, Hollande.
- Service hydrographique du Canada - 1985 - Instructions nautiques. Golfe et fleuve Saint-Laurent. Ministère des Pêches et Océans, Ottawa, 476 p.
- SHOONER, G. et associés (1987). Traversée du fleuve Saint-Laurent de la ligne Radisson/Nicolet/des Cantons: évaluation des répercussions potentielles sur la migration du poulamon atlantique. Rapport préliminaire présenté à la Direction Environnement d'Hydro-Québec, 62p.
- SMITH, I.M., FADARAY, R.A., O'CONNOR, B.A. (1973). Rayleigh-Ritz and Galerkin finite elements for diffusion-convection problems. Wat. Res. Res., 9: 593-606.
- SOULAÏMANI, A. (1983). Nouveaux aspects de l'application de la méthode des éléments finis en hydrodynamique. Thèse de M.Sc.A., génie civil, Université Laval.

- TAYLOR, C., DAVIS, J.M. (1975). Tidal and long wave propagation: a finite element approach. *Computer and Fluids*, 3.
- VAN GENUCHTEN, T.M., PINDER, G.F., FRIND, E.O. (1977). Simulation of two-dimensional contaminant transport with isoparametric hermitian finite elements. *Wat. Res. Res.*, 13: 451-458.
- VAROGLU, E., FINN, W.D.L. (1980). Finite elements incorporating characteristics for one-dimensional diffusion-convection equation. *J. Comp. Physics*.
- VERRETTE, J.L. et M. FRENETTE (1980). Étude des aspects hydro-sédimentologiques du Saint-Laurent. Centrale nucléaire de Gentilly. Localisation de la prise d'eau. Rapport Hydrotech pour Hydro-Québec, 211 p.
- VERRETTE, J.L. et S. ROBITAILLE (1973). Étude de la diffusion et des régimes hydrodynamique et thermique du fleuve Saint-Laurent entre Cornwall et Varennes. Centreau, Université Laval.

ANNEXE 1

DÉBIT JOURNALIER (1955-1984)
DU FLEUVE SAINT-LAURENT À L'AMONT DE LA RIVIÈRE STE-ANNE
(SÉRIE RECONSTITUÉE)

Station: Saint-Laurent à Lasalle (20a16) + stations à l'aval + bassin résiduel

ANNEE: 1955

DEBITS JOURNALIERS EN M³/S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	11746.	10776.	10589.	13922.	20797.	13048.	10868.	9724.	9783.	9321.	11029.	10166.
2	11587.	10879.	10659.	14301.	20030.	13619.	10691.	9802.	9509.	9345.	11141.	9934.
3	11746.	10433.	10863.	14634.	19178.	13393.	10405.	9680.	9513.	9135.	11481.	9852.
4	11588.	10325.	10760.	15173.	18728.	13161.	10429.	9647.	9390.	9363.	11739.	9663.
5	11687.	10318.	10233.	15633.	18909.	12828.	10523.	9783.	9135.	9239.	11685.	10130.
6	11320.	10597.	10603.	17128.	19480.	12379.	10507.	9862.	9270.	9009.	11468.	10141.
7	11418.	11036.	10662.	18992.	18740.	12137.	10523.	9761.	9433.	9199.	11544.	10004.
8	10660.	10623.	10435.	19263.	18489.	11793.	10513.	9688.	9312.	9520.	11695.	9985.
9	11200.	10602.	10778.	18567.	18277.	11741.	10675.	9705.	9195.	9364.	11655.	9911.
10	11528.	10334.	10933.	18570.	17762.	11765.	10221.	9580.	9294.	9381.	11638.	9833.
11	11342.	10683.	10940.	18955.	17325.	11385.	10113.	9728.	9592.	9380.	11629.	9786.
12	11378.	10615.	11601.	18900.	16572.	11528.	9980.	9714.	9335.	9184.	11818.	10069.
13	11535.	9981.	12403.	18711.	15735.	11495.	9953.	9444.	9291.	9308.	11580.	10098.
14	11347.	9929.	12474.	18759.	15037.	11775.	10177.	9272.	9545.	9049.	11184.	10189.
15	11030.	10310.	12326.	19708.	14507.	11688.	10289.	9458.	9611.	8915.	11398.	10372.
16	11677.	10575.	12608.	23720.	13975.	11685.	10393.	10032.	9549.	8918.	11197.	10366.
17	11749.	10406.	13060.	23544.	13867.	11659.	10501.	10166.	9542.	9094.	11598.	9899.
18	11254.	10444.	13326.	23153.	13600.	11798.	10497.	9848.	9432.	9555.	11537.	10224.
19	11471.	10409.	13087.	23368.	13468.	11441.	10463.	9954.	9453.	9546.	11162.	9970.
20	11519.	10339.	12757.	24167.	13296.	11366.	10380.	9957.	9930.	9596.	10678.	9332.
21	11425.	10348.	12499.	23706.	12940.	11201.	10380.	10015.	9890.	9604.	10576.	9218.
22	11215.	10447.	12396.	23232.	12728.	11257.	10433.	9940.	9799.	9737.	10676.	9969.
23	11498.	10536.	13018.	23412.	12456.	11173.	10511.	10083.	9557.	9819.	10523.	10513.
24	11886.	10594.	13561.	23155.	12746.	11065.	10161.	10053.	9462.	10041.	10731.	10373.
25	11740.	10696.	13267.	22353.	12630.	11041.	9977.	9926.	9481.	10431.	10818.	10481.
26	11682.	10539.	12907.	22257.	12663.	10800.	10096.	9969.	9308.	10345.	10603.	10066.
27	11597.	10568.	12951.	22063.	12521.	10894.	10022.	9891.	9369.	10395.	10417.	10359.
28	10947.	10563.	12643.	21778.	12794.	10900.	10084.	9536.	9661.	10199.	10319.	10808.
29	10904.		12710.	21475.	12605.	10938.	9769.	9353.	9462.	10011.	10838.	10923.
30	10969.		12929.	20863.	12632.	10930.	9765.	9515.	9423.	10150.	10583.	10709.
31	11056.		13058.		12986.		9850.	9888.		10490.		10395.
MINI	10660.	9929.	10233.	13922.	12456.	10800.	9765.	9272.	9135.	8915.	10319.	9218.
MAXI	11886.	11036.	13561.	24167.	20797.	13619.	10868.	10166.	9930.	10490.	11818.	10923.

MAY 1955/07

TOTAL: 353702. 293906. 373237. 603463. 477386. 351880. 319152. 302972. 284525. 296642. 334935. 313740.
 NOMBRE: 31 28 31 30 31 30 31 31 31 30 31 30 31
 MOY: 11410. 10497. 12040. 20115. 15400. 11729. 10295. 9773. 9484. 9569. 11165. 10121.

STATION NUMERO: 001003C=1.000E+00 PAIRE A:

#043301->C=1.000E+00 #043202->C=1.000E+00 #030401->C=1.080E+00 #030203->C=1.000E+00

#050115->C=1.000E+00 #023402->C=2.165E+00 #050301->C=3.234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1956

DEBITS JOURNALIERS EN M CU./S POUR LA PERIODE DU 1/ 1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JOIN	JOIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	MOY: 1006,9											
1	10609.	9383.	9795.	9978.	18096.	15509.	11239.	11239.	11161.	10914.	9935.	10185.
2	10248.	9646.	9528.	9821.	17096.	15459.	11542.	11027.	11321.	10994.	9606.	9844.
3	10150.	9929.	9482.	10050.	16484.	15266.	11524.	10853.	11020.	11089.	9696.	9430.
4	10843.	9902.	9265.	10213.	15955.	15253.	11333.	10909.	11157.	11052.	9765.	10063.
5	10864.	9705.	9119.	11037.	16028.	15395.	11098.	10665.	11154.	11051.	9570.	9943.
6	10225.	9420.	9320.	13572.	15457.	15342.	10946.	10465.	11155.	10896.	9636.	9670.
7	9778.	9669.	9274.	15306.	15135.	15399.	11020.	10468.	11180.	11371.	9823.	9890.
8	9502.	9655.	9140.	15547.	14941.	15388.	10993.	10486.	11028.	11854.	9861.	10136.
9	9165.	9699.	9287.	14922.	14440.	15297.	10895.	10490.	10912.	11627.	9902.	10080.
10	9360.	9417.	9859.	14822.	14533.	15123.	11297.	10775.	10736.	11787.	9781.	10019.
11	9905.	9326.	9718.	14758.	14167.	14735.	11521.	11415.	10882.	11780.	9467.	10197.
12	10071.	9291.	9660.	14591.	14561.	14582.	11537.	11037.	10872.	11776.	9403.	10342.
13	10269.	9047.	9825.	14391.	14982.	14252.	11423.	10687.	10927.	11595.	10030.	10069.
14	10152.	9297.	9709.	14505.	15061.	13954.	11544.	11058.	11240.	11412.	9883.	9907.
15	9833.	9450.	9717.	14001.	16206.	13536.	11515.	10901.	10851.	11079.	9651.	9606.
16	9371.	9095.	9441.	14333.	16438.	12988.	11071.	10480.	10647.	11124.	9681.	9916.
17	9383.	9152.	10084.	16155.	16447.	12654.	11143.	10446.	10757.	11210.	9835.	9913.
18	9332.	9215.	9933.	16891.	16064.	12044.	11094.	10421.	11107.	11003.	9655.	10093.
19	9543.	9307.	9329.	16639.	16194.	12118.	10945.	10105.	11005.	10972.	9604.	10002.
20	9814.	9047.	9508.	16284.	16079.	12074.	10911.	10091.	11140.	10457.	9732.	10145.
21	9688.	9377.	9664.	15989.	15736.	11990.	10879.	10014.	11279.	10328.	9861.	10083.
22	9902.	9300.	9693.	15473.	15404.	12120.	10885.	10232.	11334.	10472.	10365.	9388.
23	9945.	9099.	9653.	14768.	15197.	11862.	11040.	10131.	11230.	10364.	10299.	8977.
24	10182.	9204.	9601.	14813.	15515.	11649.	11342.	10563.	11295.	10422.	10346.	9173.
25	10239.	9800.	9821.	14107.	15258.	11569.	11586.	10489.	11377.	10553.	10215.	9761.
26	10132.	9739.	9217.	13902.	14975.	11630.	11589.	10566.	11466.	10102.	9704.	9223.
27	10368.	9206.	9444.	13683.	14788.	11461.	11496.	10512.	11348.	9979.	10387.	9039.
28	10465.	9365.	9528.	14431.	15242.	11739.	11613.	10908.	11257.	10077.	10375.	9165.
29	10079.	9454.	9375.	15598.	15546.	11613.	11555.	10873.	11255.	10002.	10350.	9563.
30	9663.	9388.	9388.	16934.	15406.	11417.	11200.	10895.	11139.	9991.	10370.	9172.
31	9580.		9480.		15359.		11182.	10975.		10002.		8017.
MIN:	9165.	9047.	9119.	9821.	14167.	11417.	10879.	10014.	10647.	9979.	9403.	8017.
MAX:	10864.	9929.	10084.	16934.	18096.	15509.	11613.	11415.	11466.	11854.	10387.	10342.
TOTAL:	308662.	273197.	295858.	427513.	482789.	403417.	348958.	330178.	333233.	337339.	296789.	301010.
NOMBRE:	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MOY:	9957.	9421.	9544.	14250.	15574.	13447.	11257.	10651.	11108.	10882.	9893.	9710.
STATION NUMERO: 001003C=1,000E+00 PATREE A:												
#043301->C=1,000E+00 #043202->C=1,000E+00 #030401->C=1,000E+00 #030203->C=1,000E+00												
#050115->C=1,000E+00 #023402->C=2,165E+00 #050301->C=3,234E+00 #												

MOY 1006,9

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1957

DEBITS JOURNALIERS EN M CU./S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	8514	10434	10213	10649	14349	10740	12762	10783	8796	10109	10118	11668
2	9041	10595	10362	11197	13739	10804	12988	10691	8658	9902	9984	11075
3	9084	10610	10397	11140	13367	10841	13261	10766	8987	9777	9831	10555
4	10462	10296	10057	11147	12933	11201	13653	11567	9153	9646	10104	10636
5	10545	10089	10215	10711	12280	10657	13822	11529	9664	9154	10219	10687
6	10215	10022	10216	11070	11721	10499	14650	10893	9165	9218	10473	10680
7	9996	9971	9880	11601	11988	10823	14060	10491	9102	9228	10740	10949
8	10496	9694	9900	11851	11422	10815	13821	10221	8939	9453	10283	10532
9	10765	9647	10005	11771	11630	10743	13786	10095	8945	9527	10595	10374
10	10691	10051	10044	11402	11564	10280	14629	9895	9041	9387	10606	10635
11	10607	9607	10113	10996	11645	10294	15248	9561	9088	9344	10370	10637
12	11311	9426	10043	11232	11507	10327	15017	9342	9154	9093	10030	10568
13	10894	9335	10112	11202	11415	10240	14553	9588	9227	9205	9842	10030
14	10481	9603	10103	11071	11121	10307	14009	9528	9386	8979	9847	10251
15	10247	9564	10252	10856	11140	10509	12962	9510	9174	9117	10690	10302
16	10284	9383	11009	11087	11759	10402	12895	9534	9799	9421	11202	10260
17	10286	9570	11918	11042	11692	10193	12682	9426	10064	9302	11512	10350
18	10527	9471	11685	11115	11420	10148	12256	9246	9751	9279	11487	10194
19	10725	9622	11422	11238	10921	10290	11873	9219	9761	9450	11944	10548
20	10742	9659	11093	11312	10391	10611	11408	9482	9929	9451	12789	10866
21	10364	9642	10759	11626	10744	10211	11118	9320	9638	9588	12936	13002
22	9731	9588	10912	12023	10961	10236	10693	9307	10708	9607	12382	14082
23	10214	9411	11064	12649	11035	10124	10790	9406	10625	9473	12065	13615
24	10217	9354	11164	12787	11151	9848	10777	9188	11224	9734	11747	13946
25	10324	9342	11019	13428	10864	9931	10648	9150	11010	10921	11282	12757
26	10374	9607	11046	13476	10604	10775	10771	8982	10775	10630	10841	12802
27	10606	9806	11215	13421	10564	10883	10680	9228	10733	10856	10930	13001
28	10596	10490	10883	13750	10923	10807	10602	9022	10429	10472	10973	12738
29	10395	10827	10827	14188	10817	11359	10228	8926	10240	10809	11000	12955
30	10608	10946	10946	14277	10837	12176	10665	8881	9993	10543	11017	12260
31	10602		10785		10607		10724	9050		10301		11896

moy 11607,7

MINI:	8514	9335	9880	10649	10391	9848	10228	8881	8658	8979	9831	10030
MAXI:	11311	10610	11918	14277	14349	12176	15248	11567	11224	10921	12936	14082

TOTAL:	319944	273892	329659	355314	357114	317072	388031	301829	291156	300974	327845	354851
NOMBRE:	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MOY:	10321	9782	10634	11844	11520	10569	12517	9736	9705	9709	10928	11447

STATION NUMERO: 001003C=1,000E+00 PAIRE: A;
 #043301->C=1,000E+00 #043202->C=1,000E+00 #030401->C=1,080E+00 #030203->C=1,000E+00
 #050115->C=1,000E+00 #023402->C=2,165E+00 #050301->C=3,234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1959

DEBITS JOURNALIERS EN M CU./S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	moy 8.933											
1	9081.	8728.	8229.	11920.	15716.	11460.	11010.	9435.	9301.	8644.	10046.	12044.
2	9316.	9187.	8263.	12568.	15424.	11390.	11052.	9119.	9198.	9051.	9936.	11662.
3	8880.	9468.	8221.	13307.	15096.	11627.	10916.	9069.	9715.	8929.	10055.	11590.
4	8294.	9751.	8221.	14472.	14550.	11493.	10789.	9113.	9864.	8745.	9989.	11388.
5	8373.	9265.	8153.	15161.	14563.	11415.	10346.	9073.	9989.	8782.	10026.	11334.
6	8383.	8947.	8246.	15422.	14728.	11240.	10363.	8859.	9555.	8642.	10796.	11237.
7	8105.	8897.	8430.	15756.	14841.	10964.	10553.	8932.	9121.	8791.	11071.	11477.
8	7966.	8940.	8397.	16290.	14479.	11041.	10608.	8893.	9108.	9055.	11302.	12184.
9	8242.	8595.	8647.	16625.	14720.	11075.	10488.	8648.	9173.	9421.	11217.	12254.
10	8230.	8958.	8733.	16797.	14311.	11196.	10173.	9032.	9154.	9386.	10854.	11889.
11	8080.	9095.	8655.	16943.	13832.	10994.	10022.	9256.	9049.	9050.	10700.	11263.
12	8431.	9287.	8388.	16415.	13933.	11335.	9964.	9247.	8949.	9352.	10649.	11206.
13	9096.	9225.	8504.	15639.	13584.	11372.	9893.	9169.	8840.	8813.	10319.	11244.
14	8448.	8653.	8638.	15773.	14123.	11221.	9815.	8780.	8860.	8730.	10563.	10998.
15	8475.	8641.	8679.	15122.	13925.	11369.	9989.	8998.	8815.	8613.	10561.	11016.
16	8217.	8510.	8350.	15486.	13941.	12356.	9818.	9198.	8943.	8560.	10884.	11472.
17	8332.	8482.	8330.	15701.	13852.	12179.	9807.	9487.	8908.	8529.	11321.	11295.
18	8155.	8378.	8557.	15745.	13314.	11880.	9628.	10025.	8824.	8393.	11478.	11377.
19	8724.	8447.	8678.	15685.	12965.	12204.	9764.	10577.	8670.	8360.	11402.	11298.
20	8861.	8278.	8743.	15466.	12720.	12161.	9787.	10048.	8547.	8623.	11234.	10837.
21	8925.	8629.	8940.	15792.	12620.	11514.	10054.	10014.	8536.	8502.	11114.	10496.
22	8648.	8375.	9249.	15609.	12517.	11286.	10209.	10010.	8576.	8612.	11045.	10550.
23	8337.	8730.	9222.	15500.	12226.	11342.	9888.	9842.	8572.	8632.	10678.	10518.
24	8436.	8921.	9758.	15667.	12688.	10781.	9810.	9675.	8668.	8990.	10886.	10798.
25	8853.	8717.	9559.	15337.	11963.	10710.	9519.	9479.	8661.	10417.	11656.	10873.
26	9045.	8835.	9701.	15736.	11826.	10720.	9273.	9330.	8541.	10621.	12730.	11060.
27	9287.	8511.	9610.	15791.	11772.	10452.	9359.	9496.	8339.	10595.	12064.	10963.
28	9311.	8555.	9582.	15894.	11609.	10471.	9121.	9540.	8333.	10430.	11830.	10982.
29	9291.		9970.	15810.	11562.	10942.	9330.	9595.	8508.	10088.	13005.	10974.
30	9348.		9723.	15776.	11418.	11533.	9287.	9287.	8430.	9917.	12658.	11017.
31	8586.		10049.		11187.		9415.	9220.		9813.	11599.	11161.
MIN:	7966.	8278.	8153.	11920.	11187.	10452.	9121.	8648.	8333.	8360.	9936.	10496.
MAX:	9348.	9751.	10049.	16943.	15718.	12356.	11052.	10577.	9989.	10621.	13005.	12254.
TOTAL:	267759.	247006.	274437.	463204.	416009.	339722.	310051.	290439.	267748.	283088.	332070.	348456.
NUMBRE:	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MOY:	8637.	8822.	8853.	15440.	13420.	11324.	10002.	9369.	8925.	9132.	11069.	11241.

STATION NUMERO: 001003C=1.000E+00 PAIRE: A
 #043301->C=1.000E+00 #043202->C=1.000E+00 #030401->C=1.000E+00 #030203->C=1.000E+00
 #050115->C=1.000E+00 #023402->C=2.165E+00 #050301->C=3.234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A10)

ANNEE: 1960

DEBITS JOURNALIERS EN M³/S POUR LA PERIODE DU 1/ 1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	<i>mois 10553,3</i>											
1	10690.	10500.	10064.	12578.	20156.	14163.	12805.	11695.	9905.	8874.	8158.	9076.
2	10325.	11242.	10243.	14072.	19694.	14216.	12640.	11698.	9760.	8706.	8720.	9082.
3	10050.	10725.	10553.	15006.	19559.	14168.	12715.	11879.	9732.	8811.	8897.	8853.
4	10109.	10240.	10818.	15458.	19300.	13889.	12772.	12023.	9478.	8779.	8771.	8705.
5	10031.	10149.	10972.	17759.	19069.	13189.	13048.	11997.	8881.	8789.	8623.	8659.
6	10049.	10153.	10709.	18114.	18717.	12775.	12922.	12012.	9097.	8982.	8412.	8705.
7	10256.	9943.	10301.	17676.	18953.	12503.	13020.	11930.	9304.	8769.	8380.	8771.
8	10692.	9283.	10455.	17490.	19404.	12367.	13168.	12067.	9262.	8700.	8362.	8712.
9	10847.	9550.	10512.	17576.	19174.	12225.	13051.	11500.	9102.	8304.	8561.	8719.
10	11044.	9770.	10521.	17445.	19102.	12302.	12801.	11439.	9062.	8140.	8670.	8842.
11	10701.	10163.	10347.	16812.	19784.	12257.	12923.	11403.	8922.	8126.	8705.	8276.
12	10934.	10080.	10542.	17240.	20098.	11771.	12772.	11314.	8799.	8002.	8661.	8085.
13	10941.	10198.	10408.	18000.	19970.	11679.	12817.	10935.	9753.	7920.	8443.	8446.
14	10954.	10762.	10090.	18357.	20331.	11405.	12695.	10521.	9653.	7841.	8360.	8974.
15	10677.	10640.	10173.	18581.	20896.	11532.	12686.	10259.	9570.	8008.	8646.	8973.
16	10607.	10566.	10212.	18870.	21242.	12131.	12461.	10635.	9333.	7884.	9224.	8938.
17	10448.	10794.	10198.	19455.	21488.	12311.	11982.	10638.	9406.	7958.	9879.	8735.
18	10571.	10632.	10415.	21071.	20830.	12478.	12036.	10640.	9359.	7774.	9706.	8620.
19	11034.	10509.	10302.	22024.	20184.	12647.	12071.	10453.	9027.	7818.	9473.	8628.
20	11122.	10720.	10050.	21875.	19825.	12518.	12031.	10251.	8987.	7901.	9347.	8830.
21	10937.	10515.	9784.	21605.	19134.	12597.	12065.	10185.	9099.	7949.	9344.	8781.
22	10781.	10363.	9742.	21848.	18615.	12502.	11995.	10229.	9131.	8064.	9173.	8606.
23	10864.	10265.	9897.	22102.	18287.	12396.	12076.	10092.	9055.	7978.	9298.	8242.
24	10735.	10303.	10071.	21466.	17614.	12312.	11810.	10100.	9096.	8141.	9296.	8551.
25	10479.	10389.	10013.	20889.	17347.	12488.	11796.	10179.	9052.	8400.	9150.	9029.
26	10590.	10515.	9956.	20803.	16937.	12845.	11691.	10004.	8900.	9078.	9103.	8741.
27	10261.	10293.	9929.	20408.	16281.	13117.	11714.	10045.	9046.	8846.	8672.	8229.
28	10241.	10034.	9856.	20283.	15786.	12975.	11503.	9718.	8939.	8632.	8461.	8305.
29	10358.	10124.	9572.	20151.	15203.	13346.	11393.	9693.	8953.	8695.	9263.	9042.
30	10565.		9845.	20106.	14706.	13199.	11413.	9871.	8946.	8226.	9462.	9489.
31	10324.		10114.		14356.		11546.	10098.		8165.		9134.
MIN:	10031.	9283.	9572.	12578.	14356.	11405.	11393.	9693.	8799.	7774.	8158.	8085.
MAX:	11122.	11242.	10972.	22102.	21488.	14216.	13168.	12067.	9905.	9078.	9879.	9489.

mois 7236,7

TOTAL: 328216. 299421. 316661. 565119. 582042. 380303. 382418. 335501. 276607. 258261. 267221. 270777.
 NOMBRE: 31 29 31 30 31 30 31 31 30 31 30 31 31
 MOY: 10588. 10325. 10215. 18837. 18776. 12677. 12336. 10823. 9220. 8331. 8907. 8735.
 STATION NUMERO: 001003C=1,000E+00 PAIREL A:
 #043301->C=1,000E+00 #043202->C=1,000E+00 #030401->C=1,000E+00 #030203->C=1,000E+00
 #050115->C=1,000E+00 #023402->C=2,165E+00 #050301->C=3,234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1961

DEBITS JOURNALIERS EN M CU./S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	<i>mai 9123,7</i>											
1	8624.	9566.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
2	8279.	9554.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
3	8650.	9994.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
4	9015.	10054.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
5	9019.	10051.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
6	9378.	9574.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
7	9699.	9202.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
8	9368.	9148.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
9	8680.	9007.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
10	8789.	8718.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
11	9602.	8600.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
12	9318.	8180.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
13	9320.	8220.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
14	9800.	8497.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
15	9315.	8606.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
16	9139.	8518.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
17	9640.	8605.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
18	9579.	8587.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
19	9328.	8355.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
20	9565.	8138.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
21	9777.	8528.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
22	9817.	8665.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
23	9938.	8488.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
24	9791.	8547.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
25	9710.	8579.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
26	9724.	8163.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
27	10180.	8633.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
28	10444.	9446.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
29	9853.		***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
30	9635.		***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
31	9714.		***		***		***	***		***		***
MIN:	8279.	8138.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
MAX:	10444.	10059.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
TOTAL:	292688.	248251.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
NUMBRE:	31	28	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
MOY:	9442.	8860.	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

STATION NUMERO: 001003C=1.000E+00 PAIRIEE A:
 #043301->C=1.000E+00 #043202->C=1.000E+00 #030401->C=1.080E+00 #030203->C=1.000E+00
 #050115->C=1.000E+00 #023402->C=2.165E+00 #050301->C=3.234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1961

DEBITS JOURNALIERS EN M³/S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	***	***	9537.	11093.	16036.	13010.	11547.	10780.	10547.	9642.	8754.	8659.
2	***	***	9166.	10391.	16667.	12919.	11059.	10653.	10751.	9816.	8415.	8680.
3	***	***	9232.	10258.	17071.	13117.	10949.	10603.	10854.	9910.	8619.	8731.
4	***	***	9214.	10441.	16843.	12977.	11262.	10649.	10701.	9984.	8696.	8970.
5	***	***	9071.	10574.	16147.	12957.	11170.	10504.	10623.	9985.	8664.	9873.
6	***	***	9210.	10734.	15645.	13007.	11364.	10321.	10616.	9970.	8704.	11287.
7	***	***	9841.	10822.	14584.	13272.	10935.	10370.	10567.	10025.	8693.	10950.
8	***	***	9476.	10790.	14417.	12890.	11045.	10359.	10422.	9965.	8766.	10469.
9	***	***	9601.	10500.	14173.	12684.	11097.	10292.	10215.	9794.	8867.	9859.
10	***	***	9569.	10377.	14545.	12453.	11280.	10212.	9964.	9744.	8822.	9603.
11	***	***	9135.	11610.	15023.	12079.	11499.	10280.	9913.	9497.	8815.	9494.
12	***	***	9287.	11847.	14429.	12110.	11788.	10246.	9825.	9620.	8674.	9443.
13	***	***	9010.	11827.	14231.	12030.	11647.	10119.	9730.	9574.	8560.	9867.
14	***	***	9094.	12145.	13923.	12075.	11604.	10042.	10044.	9498.	8825.	9651.
15	***	***	9420.	12528.	13424.	12234.	11190.	10263.	10386.	9369.	8866.	9350.
16	***	***	9117.	12245.	13451.	12096.	10480.	10454.	10689.	9453.	8824.	8813.
17	***	***	8820.	12771.	13258.	12144.	10767.	10345.	10668.	9461.	9052.	8981.
18	***	***	8703.	13267.	12998.	11798.	10983.	10304.	10435.	9314.	8926.	9124.
19	***	***	8359.	12974.	12873.	11632.	11020.	10181.	10031.	9206.	8680.	9432.
20	***	***	8125.	13128.	13002.	11713.	11237.	10064.	10134.	9225.	8522.	9718.
21	***	***	8491.	13261.	12731.	11654.	11038.	10007.	10097.	9251.	8534.	9765.
22	***	***	8649.	13842.	12631.	12388.	11054.	10037.	10058.	8892.	8738.	9573.
23	***	***	8733.	15215.	12783.	13122.	10959.	10125.	10135.	8900.	8817.	9387.
24	***	***	8793.	16437.	12576.	12964.	11064.	10127.	9837.	8864.	8875.	9258.
25	***	***	8800.	16566.	12775.	12571.	10949.	10292.	9709.	8837.	8886.	9070.
26	***	***	8626.	16304.	13078.	12739.	11302.	10261.	9883.	8949.	8740.	8931.
27	***	***	8716.	16536.	13624.	12257.	11445.	10427.	9846.	8938.	8872.	9654.
28	***	***	9331.	16242.	13597.	12147.	11442.	10658.	9746.	8653.	8960.	9578.
29	***	***	10514.	16212.	13469.	11853.	11289.	10598.	9658.	8446.	9014.	9118.
30	***	***	11480.	16494.	13380.	11743.	10915.	10604.	9606.	8438.	8905.	9045.
31	***	***	11258.		13210.		10827.	10521.		8737.		8739
MINI:	***	***	8125.	10258.	12576.	11632.	10480.	10007.	9606.	8438.	8415.	8680
MAXI:	***	***	11480.	16566.	17071.	13272.	11788.	10780.	10854.	10025.	9052.	11287
TOTAL:	***	***	286379.	387430.	436595.	372636.	346206.	320696.	305689.	289957.	263085.	293273
NOMBRE:	***	***	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MOY:	***	***	9238.	12914.	14084.	12421.	11168.	10345.	10190.	9353.	8770.	9460

may 803.0

STATION NUMERO: 001003C=1,000E+00 PAJREL A:
 #043301->C=1,000E+00 #043201->C=1,000E+00 #030401->C=1,000E+00 #030203->C=1,000E+00
 #050115->C=1,000E+00 #023402->C=2,165E+00 #050301->C=3,234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1962

DEBITS JOURNALIERS EN M CU./S POUR LA PERIODE DU 1/ 1 AU 31/12

JOURS	JANV <i>moif. 8977.1</i>	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	8000.	9970.	8767.	13775.	15247.	9406.	8751.	9021.	8332.	8326.	11247.	8588.
2	8022.	10005.	8859.	13577.	15114.	9720.	8495.	9022.	8186.	8178.	11279.	8395.
3	8391.	9898.	8711.	13487.	15134.	10200.	8574.	9073.	7869.	8160.	10068.	8635.
4	8568.	9182.	8527.	13154.	15547.	10012.	8417.	8876.	7955.	8125.	9584.	8410.
5	8715.	8944.	8722.	13027.	15897.	10081.	8280.	8612.	8014.	8112.	9440.	8435.
6	8857.	8834.	8842.	13127.	15927.	10037.	8440.	8715.	8091.	8200.	8986.	8404.
7	8872.	9078.	8773.	13563.	15578.	10048.	8343.	8727.	8136.	8875.	8975.	9074.
8	9068.	9421.	8889.	15116.	15213.	10190.	7998.	8964.	8176.	9393.	8840.	9260.
9	9221.	9460.	8919.	16817.	14615.	9926.	8374.	9015.	7865.	9021.	8690.	8942.
10	9174.	9169.	8736.	17443.	14239.	9529.	8460.	9106.	8156.	8889.	8693.	9127.
11	9301.	8836.	8144.	17215.	13966.	9797.	8535.	9207.	8335.	8870.	10253.	8795.
12	9638.	8847.	8246.	16099.	13663.	9981.	8373.	8874.	8705.	8745.	12253.	8561.
13	9583.	8971.	8593.	14769.	12993.	9820.	8634.	8769.	8539.	8758.	11284.	8670.
14	9490.	9204.	8580.	14389.	12369.	9687.	8734.	8732.	8511.	8644.	10400.	8539.
15	9799.	9435.	8607.	13752.	11741.	9485.	8976.	8751.	8307.	8667.	9843.	8146.
16	9578.	9442.	8674.	13214.	11638.	9546.	8920.	8708.	8020.	8655.	9479.	8132.
17	9410.	9259.	8484.	12885.	11689.	9195.	8637.	8769.	8272.	8716.	9101.	8180.
18	9426.	8307.	7818.	12422.	11841.	9341.	8675.	8755.	8741.	8580.	8646.	8304.
19	9695.	8577.	8150.	11923.	11764.	9409.	8696.	8402.	8854.	8626.	8647.	8568.
20	9749.	9055.	8529.	11719.	11345.	9414.	8654.	8383.	8812.	8576.	8657.	8536.
21	9559.	9103.	8620.	11622.	11190.	9485.	8889.	8657.	8704.	8180.	8795.	8092.
22	9998.	9215.	8689.	11500.	11129.	9389.	8539.	8902.	8571.	8748.	8758.	8257.
23	9732.	9370.	8798.	12898.	10727.	9277.	8546.	8903.	8313.	8883.	8848.	8135.
24	9692.	9098.	8842.	13499.	10577.	8924.	8546.	8702.	8338.	8806.	8814.	7850.
25	10021.	8572.	8371.	13138.	10536.	9056.	8413.	8545.	8317.	8763.	8440.	7872.
26	9443.	8578.	8802.	13136.	10506.	9231.	8777.	8284.	8264.	8625.	8597.	8224.
27	9408.	8941.	9232.	12761.	9974.	9185.	9030.	8454.	8220.	8855.	8670.	8483.
28	8862.	8722.	9396.	13236.	9491.	9216.	8927.	8314.	7983.	8719.	8570.	8814.
29	9155.		9991.	13732.	9699.	9102.	8795.	8388.	8305.	9006.	8556.	9285.
30	9737.		10829.	14366.	9661.	9034.	8695.	8206.	8171.	9051.	8546.	9002.
31	9730.		12751.		9449.		8886.	8239.		9896.		8379.

moif. 8711.6

MIN:	8000.	8307.	7818.	11500.	9449.	8924.	7998.	8206.	7865.	8112.	8440.	7850.
MAX:	10021.	10005.	12751.	17443.	15927.	10200.	9030.	9207.	8654.	9896.	12253.	9285.

TOTAL:	287891.	255506.	275892.	411362.	388459.	286724.	267010.	270075.	249064.	269645.	280958.	264095.
NOMBRE:	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MOY:	9287.	9125.	8900.	13712.	12531.	9557.	8613.	8712.	8302.	8698.	9365.	8519.

STATION NUMERO: 001003C=1.000E+00 PAIREE A:
 #043301->C=1.000E+00 #043201->C=1.000E+00 #030401->C=1.080E+00 #030203->C=1.000E+00
 #050115->C=1.000E+00 #023402->C=2.165E+00 #050301->C=3.234E+00 #

DEBITS JOURNALIERS EN M CU./S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	<i>may 8499.3</i>											
1	8279.	9759.	8692.	13113.	14226.	9291.	8202.	7968.	8543.	8866.	8239.	11246.
2	8364.	9054.	8185.	14384.	15475.	9069.	8258.	7991.	8255.	8838.	8391.	10283.
3	9063.	8455.	7486.	15085.	14736.	9194.	8358.	7895.	8274.	8813.	8765.	9990.
4	9602.	<i>may</i> 8836.	7630.	15647.	14198.	9049.	8522.	7793.	9315.	8963.	8604.	10023.
5	9158.	9158.	7949.	16097.	13684.	9117.	8384.	8213.	9338.	8923.	8575.	10051.
6	8197.	9140.	8030.	15188.	13262.	9124.	8236.	8265.	8969.	8373.	8652.	9744.
7	7996.	9183.	8339.	14122.	12826.	9136.	8015.	8078.	8727.	8324.	9168.	9514.
8	8090.	9035.	8125.	13742.	12424.	9207.	8168.	8168.	8376.	8498.	11243.	9221.
9	8249.	8700.	7761.	13655.	12229.	8871.	8925.	8138.	8464.	8631.	13147.	8988.
10	8211.	8181.	7108.	13474.	11970.	8950.	9138.	8178.	8277.	8483.	12409.	9518.
11	8319.	8064.	7420.	13257.	11749.	8883.	8718.	7720.	8287.	8466.	11196.	9504.
12	8520.	8286.	7881.	12961.	11805.	8907.	8340.	7934.	8463.	8477.	11065.	8981.
13	8178.	8240.	8082.	12715.	11599.	8803.	8529.	7849.	10098.	8379.	10695.	9023.
14	8275.	8287.	7975.	12401.	11427.	8734.	8040.	8357.	10318.	8331.	10370.	9167.
15	8910.	8330.	8012.	12396.	11434.	8815.	8267.	8711.	9625.	8483.	9876.	8985.
16	9468.	7913.	7662.	12467.	11558.	8537.	8485.	8499.	8932.	8591.	9445.	8851.
17	9614.	7879.	7168.	12843.	11096.	8713.	8571.	8338.	8796.	8602.	9024.	8914.
18	9257.	8258.	7445.	12927.	10620.	8750.	8556.	8155.	8668.	8619.	9082.	9158.
19	9046.	8468.	7596.	13218.	10578.	8719.	8459.	8277.	8550.	8670.	10392.	9926.
20	8572.	8395.	7788.	13510.	10785.	8647.	8273.	8252.	8543.	8535.	10661.	9723.
21	8218.	8214.	7902.	14182.	10974.	8793.	7931.	8331.	8415.	8355.	10003.	10058.
22	8561.	8284.	7816.	15520.	10907.	8883.	7973.	8381.	8164.	8388.	9768.	9857.
23	9061.	8275.	7446.	14963.	10626.	8630.	7861.	8445.	8080.	8466.	9820.	9903.
24	9251.	7941.	7227.	14468.	10153.	8565.	7942.	9319.	8202.	8431.	9591.	10425.
25	9157.	7977.	7243.	14069.	9751.	8534.	7894.	10212.	8179.	8466.	9129.	10256.
26	9130.	8077.	7651.	13623.	9474.	8623.	7905.	9630.	8099.	8456.	9057.	9641.
27	8553.	8430.	7996.	13138.	9266.	8540.	8016.	9082.	8328.	8219.	9317.	10250.
28	8442.	8610.	8763.	12664.	9044.	8568.	7634.	8702.	8273.	8120.	9301.	10471.
29	8962.		9844.	12613.	8991.	8519.	7808.	8520.	8057.	8130.	9206.	10166.
30	9617.		10354.	12959.	9188.	8264.	7959.	8495.	8590.	8310.	10439.	10240.
31	9768.		11160.		9181.		7906.	8670.		8352.		10837.
MIN:	7996.	7879.	7108.	12396.	8991.	8264.	7634.	7720.	8057.	8120.	8239.	885.
MAX:	9768.	9759.	11160.	16097.	15475.	9291.	9138.	10212.	10318.	8963.	13147.	11246.
TOTAL:	272095.	237431.	249739.	411401.	355234.	264438.	255273.	260566.	259206.	263561.	294631.	30291.
NOMBRE:	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MOY:	8777.	8480.	8056.	13713.	11459.	8815.	8235.	8405.	8640.	8502.	9821.	977.

STATION NUMERO: 001003C=1.000E+00 PAIRIE A:

#043301->C=1.000E+00 #043201->C=1.000E+00 #030401->C=1.080E+00 #030203->C=1.000E+00

#050115->C=1.000E+00 #023402->C=2.165E+00 #050301->C=3.234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1964

PERITS JOURNALIERS EN M CH./S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	<i>moif 9673,8</i>											
1	10782.	9407.	8105.	8947.	12108.	9435.	8617.	8154.	7765.	7714.	7905.	821
2	10987.	8778.	8011.	8679.	11940.	9582.	8654.	7642.	7784.	7647.	7764.	781
3	10699.	8430.	8224.	8719.	11781.	9600.	8779.	7670.	7771.	7946.	7855.	79
4	9334.	9062.	8369.	8340.	11470.	9549.	9198.	7657.	7796.	7678.	7916.	80
5	8323.	9724.	8849.	7758.	11051.	9542.	9121.	7752.	7905.	7660.	8072.	79
6	8919.	9599.	10490.	7954.	11047.	9562.	9111.	7797.	7677.	7754.	8148.	81
7	9511.	9262.	11214.	8124.	10908.	9280.	9042.	7826.	7348.	7723.	8068.	80
8	9736.	8853.	10777.	8965.	10463.	9142.	9112.	7784.	7684.	7798.	7830.	80
9	9847.	8110.	10321.	10091.	10450.	9204.	8992.	7654.	7764.	7889.	7783.	82
10	10154.	8769.	10214.	10697.	10603.	9450.	8898.	7818.	7810.	7916.	7746.	83
11	9059.	9205.	10125.	10893.	10558.	9803.	8844.	7690.	7941.	7761.	7834.	83
12	8559.	9409.	9837.	10657.	10800.	10001.	8494.	7854.	7780.	7739.	7846.	82
13	9121.	9117.	9542.	11262.	10579.	9918.	8560.	8121.	7439.	7687.	8016.	79
14	10027.	8929.	9226.	12063.	10216.	9488.	8596.	8117.	7633.	7848.	7900.	81
15	10379.	8878.	8671.	14979.	10327.	9289.	8542.	8106.	7713.	7935.	7489.	82
16	10576.	8444.	8960.	15737.	10251.	9193.	8553.	7833.	7807.	7823.	7456.	82
17	10607.	8360.	9611.	14994.	10018.	9471.	8475.	7990.	7838.	7778.	7674.	83
18	10189.	8780.	9795.	14172.	9634.	9257.	8362.	8084.	7933.	7760.	7851.	83
19	9420.	8857.	9735.	13824.	9681.	9347.	7826.	7936.	7817.	7808.	7827.	77
20	8695.	9136.	9551.	13013.	9820.	9552.	8089.	8367.	7488.	7819.	7884.	73
21	9108.	9079.	8855.	12507.	9985.	9332.	7998.	8415.	7634.	7929.	8112.	76
22	9216.	8657.	8183.	12494.	9959.	8937.	8043.	8231.	7765.	8045.	7850.	86
23	9245.	8240.	8500.	13685.	9856.	8927.	7919.	7984.	7619.	8126.	7803.	90
24	9271.	8515.	8836.	14203.	9708.	9029.	7923.	8257.	7816.	8024.	7841.	84
25	9231.	8599.	9081.	13925.	9944.	9081.	7899.	8297.	7763.	7747.	7774.	81
26	8947.	9086.	9499.	13411.	10469.	8905.	7751.	8238.	7697.	7772.	7980.	84
27	9254.	8901.	9788.	12724.	10664.	8846.	7833.	8132.	7620.	7857.	9703.	94
28	9724.	8983.	8911.	12870.	10628.	8700.	7868.	8055.	7680.	7854.	9355.	97
29	9786.	8684.	8478.	12756.	10384.	8621.	7922.	7979.	7661.	7861.	8804.	94
30	9963.		8629.	12453.	10013.	8493.	8094.	7719.	7724.	7999.	8542.	94
31	9806.		8860.		9699.		8179.	7765.		8052.		94

MINI:	8323.	8110.	8011.	7758.	9634.	8493.	7751.	7642.	7348.	7660.	7456.	71
MAXI:	10987.	9724.	11214.	15737.	12108.	10001.	9198.	8415.	7941.	8126.	9703.	94

TOTAL:	298476.	257858.	287245.	351095.	325016.	278536.	261295.	246924.	231672.	243150.	240628.	260
NOMBRE:	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	3
MOY:	9628.	8892.	9260.	11703.	10484.	9285.	8429.	7965.	7722.	7844.	8021.	8

STATION NUMERO: 001003C=1.000E+00 PAIRTEL A:
 #043301->C=1.000E+00 #043201->C=1.000E+00 #030401->C=1.080E+00 #030203->C=1.000E+00
 #050115->C=1.000E+00 #023402->C=2.1651+00 #050301->C=3.234E+00 #

moif 816,57

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1965

DEBITS JOURNALIERS EN M³/S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	<i>may 8361</i>											
1	8351.	8531.	7508.	7736.	10113.	8958.	7852.	7387.	9061.	10244.	11284.	10930.
2	7862.	9061.	7801.	7705.	9985.	8859.	7701.	7515.	9872.	10749.	11764.	10582.
3	7579.	9070.	7860.	7505.	9993.	8733.	7850.	7543.	10140.	10857.	11676.	10390.
4	8108.	9176.	7968.	6930.	10263.	8801.	7500.	7771.	9632.	11585.	11487.	10524.
5	8649.	9045.	8045.	7121.	10426.	8920.	7665.	7707.	8897.	11650.	11138.	10506.
6	8551.	8819.	8193.	7577.	10492.	8549.	7748.	7761.	8498.	11449.	10981.	10712.
7	8415.	8253.	8398.	7910.	10480.	8570.	7781.	7848.	8513.	11055.	10455.	11050.
8	8729.	8201.	8801.	8413.	10319.	8700.	7995.	7768.	8669.	11148.	10447.	10922.
9	8803.	8288.	9223.	8905.	10041.	8762.	8004.	8118.	8765.	12158.	10689.	10808.
10	7847.	8653.	9328.	9189.	10471.	8709.	8066.	8195.	8881.	11919.	10404.	10589.
11	8407.	9051.	9065.	8975.	10977.	8559.	7744.	8354.	8863.	11704.	10111.	9972.
12	8725.	8735.	8832.	9584.	11341.	8491.	7898.	8530.	8548.	11507.	10071.	9241.
13	8712.	8502.	8346.	10230.	11224.	8372.	7916.	8596.	8739.	11488.	10048.	9565.
14	8378.	7825.	7483.	10657.	11255.	8427.	8006.	8790.	8622.	11611.	10058.	10381.
15	8299.	8091.	7515.	10864.	11040.	8627.	8053.	8446.	8656.	11732.	10148.	10954.
16	8049.	8227.	7986.	11461.	10324.	8653.	8044.	8344.	8919.	11910.	10105.	11144.
17	8081.	8296.	8013.	11851.	10225.	8582.	7997.	8345.	8767.	11840.	10468.	10966.
18	8226.	8316.	8161.	11243.	10994.	8471.	7450.	8517.	8691.	11763.	11447.	10465.
19	8819.	8147.	8258.	10646.	11560.	8321.	7826.	8634.	8320.	11843.	11122.	9966.
20	9216.	7839.	7801.	10424.	11508.	8122.	7930.	9491.	8711.	11678.	10664.	9866.
21	9139.	7387.	7438.	10571.	11295.	8082.	7993.	9300.	9453.	11590.	10350.	10033.
22	9393.	7983.	7547.	11078.	10844.	8127.	7996.	8447.	9665.	11561.	10578.	10411.
23	8980.	8260.	7864.	11143.	10203.	8089.	7907.	8538.	9334.	11950.	10620.	10701.
24	8755.	8951.	7750.	10704.	9747.	7926.	7924.	8331.	9638.	12690.	10526.	10747.
25	9150.	8997.	7673.	9863.	9667.	8015.	7622.	8705.	10605.	12943.	10369.	10311.
26	9364.	8957.	7712.	9834.	9462.	7861.	7755.	8722.	11209.	12787.	10134.	9711.
27	9573.	7996.	7563.	10154.	9499.	7599.	7638.	8923.	10322.	12325.	10346.	10071.
28	9031.	7412.	6890.	10117.	9754.	7869.	7706.	9043.	9879.	12156.	10906.	10571.
29	8983.		6966.	10113.	9730.	7826.	7700.	8726.	9878.	12041.	11130.	10771.
30	8710.		7574.	10181.	9410.	7795.	7766.	8782.	9897.	11682.	11111.	10761.
31	8266.		7464.		9045.		7561.	8550.		10991.		10821.
MIN:	7579.	7387.	6890.	6930.	9045.	7599.	7450.	7387.	8320.	10244.	10048.	924
MAX:	9573.	9176.	9328.	11851.	11560.	8958.	8066.	9491.	11209.	12943.	11764.	1114
TOTAL:	267151.	236060.	247029.	288682.	321689.	251376.	242594.	259730.	277644.	362605.	320636.	32446
NOMBRE:	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MOY:	8618.	8431.	7969.	9623.	10377.	8379.	7826.	8378.	9255.	11697.	10688.	1046

may 10 658.1

STATION NUMERO: 001003C=1,000E+00 PAIRIE A:
 #043301->C=1,000E+00 #043201->C=1,000E+00 #030401->C=1,080E+00 #030203->C=1,000E+00
 #050115->C=1,000E+00 #023402->C=2,165E+00 #050301->C=3,234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1966

DEBITS JOURNALIERS EN M CU./S POUR LA PERIODE DU 1/ 1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	10894.	10070.	10352.	12629.	14403.	10490.	9550.	8390.	9054.	8894.	8825.	12281.
2	10748.	10930.	10422.	12348.	13700.	10347.	9353.	8349.	9034.	8694.	8970.	12330.
3	11676.	10935.	10520.	12340.	13450.	10369.	9380.	8540.	8823.	8578.	9188.	11970.
4	12040.	10710.	10922.	12191.	13604.	10436.	9262.	8721.	8609.	8678.	10215.	11180.
5	11760.	10180.	11367.	12008.	13473.	10275.	9127.	8680.	8663.	8992.	10089.	10975.
6	11450.	9418.	11860.	11980.	13167.	10077.	9073.	8673.	8756.	9005.	9878.	11346.
7	11362.	9523.	12390.	12235.	12786.	10214.	9296.	8694.	8887.	8993.	9627.	11401.
8	10848.	10149.	12941.	12411.	12479.	10377.	9304.	8654.	8893.	8754.	9572.	11725.
9	9938.	9923.	12872.	12774.	12075.	10417.	9180.	8784.	8849.	8580.	9706.	12650.
10	10038.	10430.	12369.	12446.	11792.	10692.	9307.	8966.	8836.	8665.	9876.	13600.
11	10681.	10674.	12203.	12519.	11769.	11238.	9012.	9263.	8762.	8765.	10496.	14190.
12	9904.	9989.	12001.	12559.	11308.	11450.	8982.	9459.	8584.	8861.	11219.	14660.
13	10249.	9637.	11840.	12917.	11150.	10949.	9034.	9570.	8609.	8846.	11271.	14090.
14	11191.	9985.	11567.	13073.	11340.	10844.	9730.	9788.	8583.	9006.	10753.	13770.
15	11229.	10291.	11181.	13525.	11194.	11001.	9201.	9488.	8620.	9037.	10342.	13200.
16	10827.	10438.	11108.	13855.	11132.	10995.	9033.	9533.	8649.	9045.	10142.	13110.
17	11063.	10521.	11023.	14095.	11105.	10921.	8769.	10127.	8750.	8795.	9987.	12620.
18	11458.	10462.	10981.	14513.	11280.	10867.	8722.	10455.	8341.	8819.	9787.	12370.
19	11743.	10364.	11185.	13869.	11831.	10653.	8438.	10335.	8420.	9011.	10130.	12210.
20	11502.	9963.	12063.	14139.	13072.	10542.	8531.	10083.	8412.	9579.	9843.	11860.
21	10945.	10020.	13060.	14607.	14072.	10473.	8618.	9795.	8598.	10437.	9525.	11970.
22	10291.	10533.	12920.	15839.	13558.	10353.	8647.	9569.	8764.	10078.	9326.	12190.
23	9735.	10948.	13045.	16325.	13090.	10257.	8674.	9554.	9598.	9611.	9410.	11600.
24	9989.	10792.	13074.	16136.	12623.	10141.	8512.	9792.	9870.	9467.	9438.	11280.
25	10232.	10401.	14854.	16368.	12350.	10196.	8398.	9427.	9203.	9309.	9659.	11070.
26	10660.	10287.	15164.	16648.	11872.	10008.	8510.	9311.	8543.	9254.	10585.	10030.
27	10975.	9730.	14247.	16531.	11615.	10130.	8540.	9203.	8804.	9228.	10600.	10060.
28	10873.	9833.	13704.	16048.	11295.	9940.	8669.	9074.	8897.	9147.	10570.	10470.
29	10579.		13443.	15735.	10847.	9925.	8722.	8898.	8811.	9089.	10745.	10810.
30	9970.		13155.	14973.	10624.	9869.	8734.	8932.	8951.	9067.	11397.	11480.
31	10325.		12974.		10502.		8554.	8977.		8877.		11310.
MIN:	9735.	9410.	10352.	11980.	10502.	9869.	8398.	8349.	8341.	8578.	8825.	10030.
MAX:	12040.	10948.	15164.	16648.	14403.	11450.	9730.	10455.	9870.	10437.	11397.	14660.
TOTAL:	335180.	287758.	381424.	417646.	379172.	314447.	276870.	287090.	264174.	281162.	301175.	37390.
NUMBRE:	31.	28.	31.	30.	31.	30.	31.	31.	30.	31.	30.	31.
MOY:	10812.	10277.	12304.	13922.	12231.	10482.	8931.	9261.	8806.	9070.	10039.	12060.

STATION NUMERO: 001003C=1.000E+00 PAIREE A:

#043301->C=1.000E+00 #043201->C=1.000E+00 #030401->C=1.080E+00 #030203->C=1.000E+00

#050115->C=1.000E+00 #023402->C=2.105E+00 #050301->C=3.234E+00 #

roy 10731.5

12040. moy

roy 1076.7

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1967

DEBITS JOURNALIERS EN M³ CU./S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	11289.	11140.	10201.	12326.	14730.	11247.	11873.	9410.	9855.	9814.	13103.	12862
2	10651.	11318.	9975.	13033.	14629.	10896.	11240.	9529.	9828.	9832.	12946.	12588
3	10529.	11235.	10417.	15469.	15510.	10660.	11417.	9530.	9737.	10039.	13320.	12397
4	10612.	11144.	9750.	16727.	17180.	10618.	12201.	9685.	10293.	10259.	14126.	12442
5	10711.	10870.	8976.	16226.	16891.	10640.	12249.	10615.	10167.	9919.	14618.	12291
6	10667.	10633.	9125.	14773.	16179.	10510.	12350.	9930.	9851.	9885.	14799.	12494
7	10086.	11259.	9780.	14071.	15781.	10522.	12060.	9526.	9768.	10098.	14915.	12250
8	9960.	11811.	9693.	13640.	15499.	10460.	11524.	9290.	9742.	10138.	14627.	12289
9	10233.	11960.	9741.	12738.	15898.	10598.	11422.	9437.	9577.	9833.	14531.	12522
10	10486.	11812.	9549.	13554.	16042.	10632.	11204.	9776.	9155.	10194.	14082.	12161
11	10675.	10918.	9198.	14175.	15996.	10852.	11052.	10061.	9442.	10921.	13887.	11757
12	10685.	9980.	8417.	13671.	15794.	10761.	11325.	9707.	9497.	11122.	14167.	12378
13	10953.	10153.	8461.	13153.	15488.	11033.	11568.	9789.	9449.	10768.	14389.	14299
14	10142.	11014.	9477.	13023.	15000.	11433.	11405.	9653.	9418.	11428.	14666.	15295
15	9805.	11220.	9745.	13232.	14611.	11435.	11237.	9793.	9393.	10351.	14775.	14315
16	9741.	11301.	9666.	13640.	14546.	12035.	11105.	9677.	9210.	10328.	14616.	13387
17	10049.	11126.	9621.	13297.	14347.	12556.	11083.	9685.	8964.	10475.	14280.	12613
18	10051.	11020.	9202.	13985.	13552.	13354.	10823.	9576.	8769.	11155.	14008.	12326
19	10244.	10431.	8578.	14987.	13161.	13583.	10773.	9662.	8773.	12842.	13924.	12634
20	10498.	9952.	8692.	14934.	13266.	13415.	10379.	9570.	8771.	14650.	13608.	13184
21	10427.	10730.	9190.	14715.	13406.	13477.	10420.	10001.	8948.	15633.	13036.	13035
22	10163.	10755.	9364.	14827.	12964.	13259.	10096.	9844.	9169.	15899.	12715.	13315
23	10141.	10860.	9212.	15532.	12849.	13189.	9491.	9698.	9148.	15624.	12835.	13549
24	10592.	10778.	9232.	15826.	12502.	13316.	9536.	9523.	9020.	14782.	13757.	13224
25	10668.	10152.	8842.	15890.	11800.	13141.	9767.	9513.	9129.	14232.	13543.	12639
26	10641.	9164.	8190.	15812.	11922.	13587.	9900.	9452.	9156.	14084.	13930.	12550
27	10829.	9670.	8781.	15512.	12197.	13542.	9656.	9077.	9401.	14130.	14153.	12152
28	10904.	10431.	9347.	15421.	12278.	13393.	9368.	9066.	9306.	14345.	14540.	12143
29	10405.		9846.	15460.	11737.	12768.	9653.	9470.	9274.	14118.	14027.	12548
30	10074.		10438.	15069.	11474.	12371.	9696.	9524.	9765.	13845.	13122.	12474
31	10754.		11514.		11341.		9526.	9591.		13435.		12450
MIN:	9741.	9164.	8190.	12326.	11341.	10460.	9368.	9066.	8769.	9814.	12715.	11757
MAX:	11289.	11960.	11514.	16727.	17180.	13587.	12350.	10615.	10293.	15899.	14915.	15295

may 13754,6

TOTAL: 323666. 302839. 292221. 434716. 438566. 359284. 335402. 298061. 281974. 374177. 419044. 396560
 NOMBRE: 31 28 31 30 31 30 31 31 30 31 30 31
 MOY: 10441. 10810. 9426. 14491. 14147. 11976. 10819. 9634. 9399. 12070. 13968. 12792
 STATION NUMERO: 001003C=1.000E+00PAKEL A:
 #043301->C=1.000E+00 #043201->C=1.000E+00 #030401->C=1.000E+00 #030203->C=1.000E+00
 #050115->C=1.000E+00 #023402->C=2.165E+00 #050301->C=3.234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1968

DEBITS JOURNALIERS EN M CU./S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	11933.	10904.	10149.	17733.	14112.	10501.	10336.	9872.	9736.	9908.	10146.	11119.
2	10847.	11185.	9894.	17792.	13446.	10403.	10841.	9913.	9382.	9809.	10039.	10793.
3	10768.	11233.	9284.	17136.	13258.	10399.	11019.	9854.	9607.	9935.	9657.	10717.
4	10749.	11242.	9185.	16646.	12914.	10290.	10842.	9687.	9572.	10080.	9694.	10594.
5	10653.	11561.	9707.	16812.	12648.	10355.	10671.	9548.	9626.	9866.	9714.	11282.
6	11053.	11620.	9701.	16766.	12333.	10034.	10678.	9729.	9817.	9386.	9657.	11620.
7	11250.	11750.	10017.	16309.	12226.	9926.	10752.	9869.	10003.	9444.	9566.	10831.
8	10959.	11778.	10069.	15897.	12069.	9997.	10694.	9900.	9688.	9764.	9606.	10401.
9	10736.	11802.	9870.	16277.	11786.	9750.	10686.	9984.	9531.	9872.	9729.	10672.
10	11281.	11403.	9414.	16497.	11739.	9787.	10858.	10145.	9641.	9748.	9470.	10778.
11	11369.	11069.	9409.	15954.	11344.	10054.	11155.	9814.	9838.	9924.	9442.	11245.
12	11348.	11120.	9864.	15495.	10809.	10153.	10926.	9785.	10287.	9891.	9495.	11134.
13	11644.	11181.	9874.	15465.	10753.	10098.	10709.	9998.	10607.	9337.	9862.	10985.
14	11717.	11185.	9873.	15728.	10888.	10096.	10426.	9970.	10487.	9285.	9915.	10972.
15	11856.	11188.	10005.	16361.	10759.	9953.	10370.	9919.	10031.	9393.	9555.	10823.
16	11806.	11007.	9851.	17549.	10658.	9606.	10482.	9810.	10083.	9641.	9638.	11080.
17	11842.	11319.	9342.	17909.	10694.	9653.	10369.	9918.	10208.	9681.	9377.	10609.
18	11953.	10955.	9618.	16913.	10520.	9739.	10228.	9819.	10170.	9739.	9306.	9462.
19	12340.	10900.	10397.	16202.	10415.	9812.	10320.	9705.	10186.	9696.	9815.	10390.
20	11344.	10855.	11184.	15617.	10645.	9880.	10356.	9811.	9976.	9459.	10654.	10502.
21	10485.	11072.	12388.	15194.	11217.	9857.	10134.	10074.	10002.	9690.	10146.	9899.
22	10420.	11038.	13707.	15187.	11380.	9865.	10024.	9992.	9835.	9612.	10039.	9368.
23	10516.	10900.	14617.	14804.	10940.	9842.	10012.	10054.	9842.	9715.	9952.	9438.
24	10615.	10671.	16078.	14699.	10741.	9746.	9900.	9996.	9915.	9753.	9807.	10193.
25	10807.	10462.	15803.	15718.	10453.	9953.	9896.	9858.	10063.	9794.	10195.	8869.
26	10951.	10319.	15328.	16615.	10076.	9895.	10024.	9859.	9993.	10132.	10492.	8586.
27	10801.	10381.	14916.	16524.	9985.	9885.	9964.	9853.	10030.	9611.	10436.	9672.
28	10668.	10294.	15902.	16794.	11490.	9980.	9854.	9718.	10222.	9684.	10278.	9746.
29	10699.	10283.	16515.	15597.	11109.	10447.	9712.	9683.	9796.	10080.	10266.	9114.
30	10918.	17527.	14956.	11132.	10323.	9728.	9755.	9818.	10355.	11148.	9277.	
31	10744.		18067.		10967.		9645.	9961.		10279.		10220.

MIN:	10420.	10283.	9185.	14699.	9985.	9606.	9645.	9548.	9382.	9285.	9306.	8586.
MAX:	12340.	11802.	18067.	17909.	14112.	10501.	11155.	10145.	10607.	10355.	11148.	11620.

TOTAL:	345073.	320701.	367556.	487145.	353506.	300280.	321609.	305855.	297993.	302565.	297099.	32040.
NOMBRE:	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MOY:	11131.	11059.	11857.	16238.	11403.	10009.	10374.	9866.	9933.	9760.	9903.	1033.

STATION NUMERO: 001003C=1.000E+00 PAIRÉE A:
 #043301->C=1.000E+00 #043201->C=1.000E+00 #030401->C=1.000E+00 #030203->C=1.000E+00
 #050115->C=1.000E+00 #023402->C=2.165E+00 #050301->C=3.234E+00 #

MOY 10 103,3

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1969

DEBITS JOURNALIERS EN M CU./S POUR LA PERIODE DU 1/ 1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	<i>MOY 10834,3</i>											
1	10832.	11228.	10363.	12796.	18591.	13896.	12574.	11815.	10367.	10063.	10175.	10987.
2	10885.	11044.	9917.	12038.	18202.	13509.	12663.	11870.	10507.	9969.	9960.	11337.
3	10441.	10965.	9982.	12603.	18411.	14043.	12484.	11545.	10730.	10184.	10057.	11319.
4	10863.	11101.	10235.	12432.	18599.	14060.	12319.	11479.	10750.	10047.	10365.	11253.
5	10449.	10794.	10215.	12588.	17773.	13787.	12551.	11530.	10602.	9878.	10866.	11136.
6	10334.	11127.	10548.	13016.	17389.	13992.	11903.	11685.	10656.	9762.	12869.	10907.
7	11321.	11510.	10586.	13401.	16554.	13948.	11872.	11805.	10451.	9829.	12870.	10516.
8	10963.	11404.	10217.	14261.	16309.	13681.	11881.	11769.	10720.	9902.	12165.	10458.
9	10683.	11030.	10124.	14918.	17603.	13399.	11891.	11729.	11058.	9961.	12145.	10873.
10	11066.	10607.	10336.	15217.	19467.	13225.	11912.	11622.	11576.	9794.	11873.	10905.
11	10959.	10822.	10388.	16845.	19245.	13160.	11999.	11628.	11449.	9732.	11867.	11237.
12	10364.	10883.	10245.	17352.	19233.	13062.	12042.	11476.	11269.	9548.	12113.	13501.
13	10553.	10782.	10171.	16813.	19046.	13053.	12156.	11463.	10990.	9288.	12059.	12681.
14	11287.	10606.	10179.	17006.	18965.	13091.	12329.	11421.	10466.	9767.	11559.	11377.
15	11514.	10617.	10139.	17689.	18489.	12780.	12089.	11423.	10495.	9668.	11728.	11257.
16	11649.	10424.	9960.	17994.	17689.	12931.	12024.	11373.	10523.	9738.	11734.	11727.
17	11803.	10634.	9655.	19042.	17609.	13406.	11887.	11142.	10909.	9795.	11295.	11567.
18	12018.	10902.	9847.	20251.	17206.	13177.	11722.	11132.	11158.	9787.	11275.	11257.
19	10824.	10866.	9907.	20200.	18284.	13210.	11595.	11575.	11043.	9656.	11397.	11017.
20	9923.	10813.	9980.	20078.	19681.	13101.	11220.	12175.	10756.	9409.	12007.	10917.
21	10117.	10677.	10037.	18534.	21053.	12813.	11257.	12048.	10254.	9817.	12173.	10397.
22	10369.	10453.	10235.	17764.	20191.	12433.	11273.	11765.	10172.	9914.	12010.	10617.
23	10243.	10014.	10541.	17540.	19121.	12121.	11286.	11678.	10339.	10130.	11894.	10997.
24	10168.	10141.	10797.	18918.	17973.	12389.	11361.	11203.	10343.	10120.	11886.	10127.
25	10192.	10327.	11636.	18699.	17205.	13045.	11314.	11369.	10302.	10224.	11841.	10037.
26	10055.	10514.	12703.	18511.	16366.	13268.	11339.	11499.	10438.	10067.	11928.	10067.
27	10379.	10541.	12971.	17169.	15981.	13242.	11029.	11558.	10531.	10293.	11979.	10307.
28	10602.	10569.	12993.	17057.	15546.	13147.	11153.	11493.	10176.	10470.	11945.	10307.
29	10979.		12897.	18514.	15191.	12588.	11504.	11405.	10170.	10421.	11619.	10267.
30	11427.		12749.	19132.	14655.	12280.	11853.	10928.	9963.	10296.	11243.	10477.
31	11629.		12794.		14294.		11923.	10830.		10215.		10937.
MIN:	9923.	10014.	9655.	12432.	14294.	12121.	11029.	10830.	9963.	9288.	9960.	10017.
MAX:	12018.	11510.	12993.	20251.	21053.	14060.	12663.	12175.	11576.	10470.	12870.	13501.

MOY 11715,4

TOTAL: 334891. 301394. 333347. 498979. 551921. 395838. 366405. 357431. 319161. 307743. 348899. 34070

NOMBRE: 31 28 31 30 31 30 31 31 30 31 30 31

MOY: 10803. 10764. 10753. 16633. 17804. 13195. 11820. 11530. 10639. 9927. 11630. 10937

STATION NUMERO: 001003C=1.000E+00 PAIRE A:

#043301->C=1.000E+00 #043201->C=1.000E+00 #030401->C=1.000E+00 #030203->C=1.000E+00

#050115->C=1.000E+00 #023402->C=2.165E+00 #050301->C=3.234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1972

DEBITS JOURNALIERS EN M CU./S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	MOY 9429.6											
1	9269.	10132.	9479.	11296.	20100.	14478.	15814.	13650.	13137.	12479.	13588.	13051.
2	8601.	10072.	9605.	11830.	20415.	15223.	15342.	13305.	13046.	12683.	13302.	12836.
3	9023.	10226.	10040.	12259.	20884.	15609.	14685.	13603.	12903.	12612.	13423.	12421.
4	9320.	10766.	10013.	12708.	21769.	15620.	15273.	14435.	12770.	12620.	13553.	12278.
5	9525.	10263.	9710.	12833.	24113.	15263.	14955.	14003.	12648.	12632.	13587.	12216.
6	9901.	9403.	9668.	12891.	25384.	14911.	14535.	13319.	12865.	12552.	13431.	12497.
7	10026.	9714.	9749.	12731.	25047.	14702.	13762.	12943.	13007.	12576.	13203.	13020.
8	9537.	10235.	10164.	12106.	24906.	14218.	13489.	15164.	13121.	13659.	13099.	13121.
9	8999.	10030.	9705.	11540.	24383.	13853.	13218.	16169.	13030.	13731.	14074.	13067.
10	9811.	9941.	9870.	11511.	24048.	14137.	13087.	15972.	12861.	13114.	15446.	13137.
11	9736.	9581.	9999.	11553.	23487.	14494.	13357.	14927.	12563.	13025.	14847.	12982.
12	9441.	9104.	10097.	12187.	22610.	14369.	13257.	14423.	12454.	12999.	14815.	12770.
13	9551.	9078.	9770.	12740.	22015.	13486.	13087.	14005.	12372.	12959.	14491.	12866.
14	9427.	8928.	9777.	13651.	21712.	13052.	13280.	13540.	12217.	12956.	13997.	12725.
15	9277.	9366.	9832.	14814.	22404.	13170.	13587.	13329.	12109.	12736.	13713.	12682.
16	8947.	9324.	9471.	15723.	22862.	13420.	13937.	13301.	12158.	12482.	13455.	12910.
17	9394.	9410.	9871.	15875.	22813.	13515.	15085.	13172.	12112.	12749.	12999.	12549.
18	10137.	9960.	10140.	16622.	22817.	13031.	15046.	12926.	11729.	12399.	12896.	11501.
19	10290.	9890.	10497.	18202.	22350.	12827.	14640.	12927.	11810.	12409.	12657.	10722.
20	9855.	9721.	10810.	19043.	21806.	12745.	14672.	12727.	12022.	12270.	12610.	10301.
21	10042.	9515.	10791.	19511.	21353.	12779.	14581.	12515.	12028.	12355.	12546.	10481.
22	9714.	9909.	***	19406.	20842.	13224.	14847.	12602.	12123.	12039.	12397.	10900.
23	9629.	9966.	***	19295.	20082.	14777.	14287.	12666.	11792.	11693.	12109.	11130.
24	9632.	9973.	***	19131.	19144.	16093.	14392.	13062.	11754.	12547.	12283.	10979.
25	10112.	9805.	***	18914.	17952.	16725.	14803.	13048.	11827.	13595.	12007.	10459.
26	9720.	9303.	***	18734.	17309.	17578.	15014.	12934.	11941.	13490.	12287.	10568.
27	9626.	9174.	***	18166.	16601.	17390.	15282.	12846.	11986.	13208.	13770.	10542.
28	10111.	9430.	11081.	17653.	15769.	17270.	15004.	13385.	11672.	12978.	14017.	10932.
29	10027.	9460.	11180.	18235.	14865.	16763.	14662.	13723.	11804.	13884.	13865.	10992.
30	9289.		11316.	18935.	14375.	16000.	14324.	13431.	12188.	14232.	13383.	11459.
31	9380.		11515.		14175.		13994.	13328.		13908.		11403.

MOY 12 285.1

MIN:	8601.	8926.	9471.	11296.	14175.	12745.	13087.	12515.	11672.	11693.	12007.	10301.
MAX:	10290.	10766.	11515.	19511.	25384.	17578.	15814.	16169.	13137.	14232.	15446.	13137.

TOTAL:	297346.	281084.	254151.	400095.	648391.	440722.	445298.	421383.	370052.	399574.	401850.	369498.
NOMBRE:	31	29	25	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MOY:	9592.	9713.	***	15337.	20916.	14691.	14364.	13593.	12335.	12889.	13395.	11919.

STATION NUMERO: 001003C=1,000E+00 PAIRIEE A:
 #043301->C=1,000E+00 #043201->C=1,000E+00 #030401->C=1,000E+00 #030203->C=1,000E+00
 #050115->C=1,000E+00 #023402->C=2,165E+00 #050301->C=3,234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1973

DEBITS JOURNALIERS EN M³/S POUR LA PERIODE DU 1/ 1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	noy 11403											
1	11025.	11272.	12236.	17781.	20660.	16831.	15882.	12761.	11826.	11595.	11935.	12238.
2	11631.	11483.	12246.	18577.	20068.	16439.	15708.	12824.	11925.	11762.	12447.	11964.
3	11673.	12232.	12430.	20489.	19768.	16115.	15792.	13029.	12084.	11886.	12251.	11949.
4	12136.	12780.	12804.	20189.	20574.	15416.	15691.	13000.	12370.	12828.	12189.	11996.
5	12410.	13523.	12524.	20091.	20555.	15097.	15612.	12796.	12172.	13968.	11972.	11984.
6	11883.	13396.	12750.	20341.	20056.	14996.	15464.	12703.	13356.	15214.	12139.	13280.
7	11459.	13515.	12981.	20125.	19283.	15200.	15584.	13090.	13795.	13952.	12015.	13262.
8	10939.	13447.	13699.	18949.	18686.	14971.	15010.	13394.	13531.	13487.	11698.	12775.
9	11155.	13281.	15662.	18381.	18317.	14981.	14562.	13610.	13784.	13121.	11807.	12073.
10	11241.	13204.	16085.	17640.	18040.	14912.	14489.	13927.	12632.	12804.	11823.	12705.
11	11151.	12966.	16031.	17991.	18184.	14728.	14503.	14153.	12407.	12696.	11721.	12747.
12	10955.	13103.	16157.	17085.	18377.	14841.	14608.	13711.	12192.	12677.	11339.	12481.
13	11116.	13132.	17612.	16423.	18470.	15362.	14510.	13414.	12095.	12561.	11419.	12209.
14	11245.	12943.	18446.	16209.	18208.	15611.	14496.	13085.	11787.	12730.	11769.	12244.
15	11331.	13075.	18262.	16280.	18008.	15693.	14286.	13519.	11959.	12466.	12095.	13076.
16	11062.	12685.	18679.	16312.	17796.	15575.	13967.	13960.	11883.	13540.	11516.	12604.
17	10991.	12525.	19499.	17295.	17322.	16066.	13911.	13436.	11602.	12657.	11903.	12103.
18	11349.	12530.	22364.	18239.	16980.	16234.	13716.	12914.	11847.	12638.	11504.	11689.
19	11188.	12452.	23090.	18522.	17829.	16038.	13548.	12637.	12364.	12849.	11194.	11043.
20	11385.	12681.	21718.	18149.	18549.	15821.	13485.	12391.	12600.	12851.	11251.	11051.
21	11199.	12429.	20255.	18236.	18280.	15358.	13119.	12231.	12235.	12865.	11085.	12146.
22	11637.	12120.	18940.	18772.	19265.	15197.	12987.	12379.	12048.	12714.	11082.	13125.
23	12187.	12097.	18076.	20332.	18873.	15154.	12793.	12164.	12052.	12669.	11465.	12736.
24	12469.	12061.	17638.	21062.	17429.	14818.	12744.	11948.	12017.	12277.	11582.	12434.
25	12701.	12124.	17209.	20699.	16537.	14881.	12736.	11828.	12241.	12070.	11757.	12365.
26	13088.	12156.	17461.	20190.	16049.	14892.	12825.	11635.	12167.	12197.	11942.	11624.
27	12887.	12072.	18020.	19340.	15802.	14654.	12978.	11575.	11939.	11861.	11651.	11480.
28	13219.	12557.	18007.	19769.	15550.	14409.	12920.	11630.	11904.	11605.	11991.	12251.
29	12755.	17341.	21189.	16338.	16338.	14423.	12787.	11849.	11733.	11483.	13421.	12541.
30	11891.	17021.	21362.	16555.	14781.	12716.	11831.	11496.	11239.	11239.	12788.	12791.
31	11441.	17302.	16371.	12605.	11590.	11743.	11743.	11743.	11743.	11743.	11743.	12301.
MINI:	10939.	11272.	12236.	16209.	15550.	14409.	12605.	11575.	11496.	11239.	11082.	1104
MAXI:	13219.	13523.	23090.	21362.	20660.	16831.	15882.	14153.	13795.	15214.	13421.	1328
TOTAL:	363398.	353840.	522545.	566020.	562779.	459496.	436052.	395213.	368044.	391003.	354751.	38128
NOMBRE:	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MOY:	11723.	12637.	16856.	18867.	18154.	15317.	14066.	12749.	12268.	12613.	11825.	1229

STATION NUMERO: 001003C=1,000E+00 PAIRET A:

#043301->C=1,000E+00 #043201->C=1,000E+00 #030401->C=1,000E+00 #030203->C=1,000E+00

#050115->C=1,000E+00 #023402->C=2,165E+00 #050301->C=3,234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1974

DEBITS JOURNALIERS EN M³/S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	mois 12 087,6											
1	12221.	11627.	11865.	12512.	26353.	21555.	14827.	13441.	11656.	11394.	11311.	12157.
2	12305.	12107.	12109.	12778.	26432.	21451.	14440.	13186.	11416.	11440.	11676.	11700.
3	12422.	12517.	12246.	12931.	24246.	21351.	14321.	13085.	11422.	11748.	11701.	11961.
4	12077.	12712.	12508.	14373.	23237.	20889.	14117.	13222.	11479.	11689.	11822.	11732.
5	12228.	12667.	13816.	18617.	22670.	20476.	14076.	14611.	11393.	11540.	11917.	11590.
6	12220.	12395.	15511.	20550.	21630.	19715.	14654.	14447.	11060.	11534.	11891.	11739.
7	12110.	12635.	17206.	19689.	21360.	19337.	14556.	13782.	11190.	11608.	11558.	11715.
8	11909.	12924.	17707.	17985.	21188.	19420.	14409.	13475.	11237.	11412.	11708.	11739.
9	11770.	12828.	17427.	16974.	20813.	18890.	14665.	13120.	11205.	11356.	11803.	14425.
10	12067.	12598.	16595.	16422.	21490.	18236.	15648.	13025.	11157.	11485.	11717.	14525.
11	12378.	12069.	15575.	15735.	23104.	18297.	15406.	12841.	11339.	11439.	11371.	13773.
12	11885.	12059.	14997.	15391.	23149.	18152.	14659.	12790.	11528.	11539.	11182.	13186.
13	11571.	11854.	14139.	15792.	24782.	17790.	14613.	12634.	11461.	11473.	11574.	13137.
14	11922.	11396.	14184.	16501.	26067.	17249.	14338.	12723.	11661.	11694.	12055.	12990.
15	12229.	11461.	13905.	18379.	26102.	16863.	14073.	12527.	11635.	11817.	12314.	12685.
16	11852.	11480.	13313.	19763.	26258.	16570.	13906.	12492.	11502.	11713.	12447.	12142.
17	11880.	11558.	13480.	19705.	26419.	16751.	13845.	12299.	11545.	11787.	11885.	12247.
18	12114.	11267.	13328.	20013.	26604.	16941.	13638.	12177.	11559.	11866.	11917.	12272.
19	12315.	11369.	13208.	20022.	26008.	17094.	13828.	12236.	11662.	11815.	11719.	12384.
20	12521.	11533.	13069.	19517.	25175.	16969.	14580.	12088.	11641.	11571.	11435.	12235.
21	12781.	11229.	13427.	19243.	24265.	16407.	14512.	11985.	11641.	11606.	11741.	12421.
22	12204.	11275.	13626.	19580.	23670.	16532.	13767.	11777.	11900.	11764.	13049.	12741.
23	11567.	11771.	13323.	21435.	23981.	16491.	13424.	11773.	12012.	11436.	12835.	12711.
24	11798.	11741.	13286.	22354.	25894.	16338.	13301.	11755.	11851.	11302.	12595.	12591.
25	11800.	12217.	13124.	22262.	26054.	15962.	13309.	11532.	11361.	11532.	12882.	12201.
26	11678.	12105.	13023.	21307.	26000.	16133.	13041.	11539.	11374.	11603.	12996.	12191.
27	11828.	12129.	12905.	21192.	25390.	15985.	13060.	11600.	11258.	11362.	12865.	12191.
28	12073.	11660.	12817.	21717.	24713.	15714.	13085.	11472.	11281.	11044.	12357.	12141.
29	13255.		12598.	22754.	23434.	15314.	12970.	11493.	11462.	11204.	12176.	12221.
30	13274.		12555.	26058.	22641.	15038.	13346.	11728.	11848.	11051.	12145.	12421.
31	12574.		12607.		21899.		13603.	11761.		11096.		12321.
MIN:	11567.	11229.	11865.	12512.	20813.	15038.	12970.	11472.	11060.	11044.	11182.	11567.
MAX:	13274.	12924.	17707.	26058.	26604.	21555.	15648.	14447.	12012.	11866.	13049.	14525.

mois 12 336,3

TOTAL: 376828. 335181. 429479. 561553. 751030. 533911. 436015. 388017. 344734. 356920. 360644. 386511.
 NOMBRE: 31 28 31 30 31 30 31 31 30 31 30 31
 MOY: 12156. 11971. 13854. 18718. 24227. 17797. 14065. 12517. 11491. 11514. 12021. 12455.
 STATION NUMERO: 1001003C=1.000E+00 PAIREL A:
 #043301->C=1.000E+00 #043201->C=1.000E+00 #030401->C=1.000E+00 #030203->C=1.000E+00
 #050115->C=1.000E+00 #023402->C=2.165E+00 #050301->C=3.234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1977

DEBITS JOURNALIERS EN M³/S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	moy 10 111,8											
1	10118.	9805.	9009.	20286.	17835.	10705.	10269.	9276.	9767.	11765.	11380.	12511.
2	10125.	9514.	9651.	18585.	17387.	10709.	10073.	9241.	10098.	13521.	11600.	13740.
3	10317.	9281.	9477.	18012.	17009.	10650.	9624.	9494.	10038.	15119.	11775.	13783.
4	10396.	9282.	9554.	17453.	16887.	10526.	9794.	9579.	9984.	14631.	11604.	13552.
5	10200.	9032.	9622.	16722.	16496.	10359.	9760.	9521.	9896.	13955.	11842.	13364.
6	10268.	8809.	9213.	17592.	16018.	10178.	9675.	9649.	9803.	13327.	11892.	12649.
7	10233.	8929.	9168.	16472.	15857.	10283.	9683.	9613.	9807.	12811.	11744.	13356.
8	9789.	9319.	10129.	16167.	15602.	10747.	9565.	9564.	9747.	12184.	11730.	12746.
9	10058.	9026.	10179.	15466.	15153.	10692.	9482.	9478.	9692.	12189.	12290.	12610.
10	10021.	8638.	10070.	14767.	14759.	10284.	9377.	9381.	9928.	13476.	12136.	12614.
11	***	9226.	10603.	14526.	14535.	10153.	9379.	9293.	9719.	13363.	12542.	11996.
12	10415.	8458.	11616.	14399.	14321.	10187.	9410.	9272.	9651.	13194.	13247.	10205.
13	10149.	8686.	13024.	15375.	13821.	10145.	9486.	9344.	9993.	12874.	12775.	10596.
14	10165 ^{min}	8700.	15394.	15938.	13493.	10154.	9428.	9411.	10132.	12513.	12570.	11000.
15	9293	9069.	18737.	16282.	13308.	10273.	9406.	9456.	10349.	12516.	12522.	11118.
16	8807.	9388.	21239.	15990.	13170.	10154.	9408.	9351.	10542.	13032.	12474.	11249.
17	9572.	9529.	21242.	15946.	12901.	9905.	9433.	9580.	10269.	13053.	12628.	11245.
18	10521.	9737.	19798.	16519.	12526.	10360.	9515.	9660.	10137.	14867.	13667.	11066.
19	9909.	9276.	18295.	16803.	12228.	10643.	9525.	9571.	10057.	14599.	14490 ^{moy}	10841.
20	9817.	8462.	17030.	17055.	12114.	11250.	9447.	9531.	10005.	13902.	13446.	10967.
21	9748.	8587.	16158.	17618.	12003.	11529.	9305.	9435.	10493.	13993.	13090.	11096.
22	9493.	9327.	15355.	19065.	11677.	11712.	9215.	9563.	10671.	13570.	13451.	11262.
23	10081.	9974.	14663.	19575.	11343.	11569.	9218.	9797.	10572.	13262.	13073.	11165.
24	9531.	***	14228.	19858.	11318.	10971.	9265.	9888.	10453.	12913.	13334.	10765.
25	9757.	***	13778.	19548.	11388.	10426.	9219.	9667.	10282.	12603.	13195.	10594.
26	9706.	***	12850.	20098.	11251.	10486.	9077.	9759.	10666.	12541.	13037.	10720.
27	9722.	***	12613.	19860.	11097.	10689.	9349.	9670.	11686.	12372.	13343.	11127.
28	10050.	8327.	12937.	19554.	10824.	10478.	9466.	9585.	11825.	12471.	12242.	11066.
29	9665.		13691.	19187.	10753.	10196.	9428.	9602.	11998.	12063.	12554.	11016.
30	9403.		16001.	18749.	10859.	10111.	9408.	9607.	12224.	11703.	12453.	10935.
31	9629.		19017.		10735.		9297.	9676.		11588.		10891.
											moy 13 016,5	
MIN:	8807.	8327.	9009.	14399.	10735.	9905.	9077.	9241.	9651.	11588.	11380.	10205.
MAX:	10521.	9974.	21242.	20286.	17835.	11712.	10269.	9888.	12224.	15119.	14490.	13783.
TOTAL:	296961.	218384.	424343.	523467.	418665.	316522.	293985.	295514.	310485.	405969.	378125.	361846.
NUMBRE:	30	24	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MOY:	***	***	13688.	17449.	13505.	10551.	9483.	9533.	10350.	13096.	12604.	11672.

STATION NUMERO: 001003C=1,000E+00 PAIRIE A:

#043301->C=1,000E+00 #043201->C=1,000E+00 #030401->C=1,000E+00 #030203->C=1,000E+00

#050115->C=1,000E+00 #023402->C=2,165E+00 #050301->C=3,234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1978

DEBITS JOURNALIERS EN M CU./S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
1	10887.	12083.	12126.	13641.	20251.	12790.	11990.	10449.	10209.	9796.	9961.	9244.
2	10985.	12159.	11902.	13858.	19174.	12820.	11664.	10388.	10051.	9788.	10206.	9230.
3	11137.	12340.	11852.	13638.	18806.	12632.	11645.	10413.	9951.	9621.	9931.	9181.
4	11260.	12244.	11809.	13311.	18302.	12612.	11488.	10531.	9722.	9610.	9883.	9150.
5	11271.	12093.	11603.	13658.	17732.	12502.	11400.	10486.	9765.	9957.	9598.	9340.
6	11202.	12177.	11670.	13511.	17691.	12553.	11464.	10410.	9720.	9854.	9625.	9370.
7	11213.	12259.	11966.	13425.	17753.	12467.	11432.	10063.	9899.	10022.	9635.	9240.
8	10986.	11951.	11978.	13415.	17650.	12656.	11367.	10162.	10163.	9916.	9874.	9310.
9	11017.	11798.	11798.	13437.	18144.	12916.	11097.	10467.	9963.	9777.	9818.	9250.
10	11332.	11877.	11557.	13282.	19757.	12751.	11172.	10361.	9746.	9653.	9690.	9210.
11	11377.	11752.	11509.	13343.	20032.	12496.	10887.	10085.	9636.	9591.	9791.	8990.
12	11964.	11591.	11375.	14310.	19490.	12419.	11153.	10156.	9702.	9932.	9456.	8900.
13	12083.	11643.	11420.	16522.	18965.	12450.	10808.	10193.	9841.	10103.	9408.	9170.
14	11838.	11693.	11520.	19342.	18235.	12715.	10877.	10320.	9875.	10269.	9863.	9170.
15	11715.	11591.	11638.	19823.	17892.	13175.	10694.	10197.	9981.	11253.	10145.	9020.
16	11520.	11618.	11480.	19484.	17887.	12710.	10623.	10140.	9934.	11116.	10089.	8930.
17	11383.	11594.	11503.	19189.	17669.	12711.	10676.	10441.	9744.	10858.	9768.	8920.
18	11310.	11405.	11584.	19525.	17077.	12392.	10614.	10122.	***	10640.	10566.	8960.
19	11369.	11445.	11673.	19162.	17009.	12711.	10534.	10036.	***	10716.	10592.	8560.
20	11295.	11374.	11419.	20052.	16478.	13687.	10625.	10145.	***	10632.	10204.	8220.
21	11180.	11216.	11607.	21212.	16024.	13913.	10634.	10151.	***	10606.	9669.	8420.
22	11095.	11289.	11902.	20439.	15601.	13636.	10537.	10124.	***	10398.	9584.	8590.
23	11165.	11550.	11911.	20133.	15252.	13185.	10323.	10037.	***	10147.	9422.	8640.
24	11343.	11938.	11699.	19827.	15195.	13115.	10432.	9911.	***	10070.	9538.	8350.
25	11356.	11905.	11841.	19371.	14751.	12678.	10343.	10008.	***	10120.	9527.	8150.
26	11277.	11831.	11955.	19614.	14313.	12286.	10466.	10191.	***	10230.	9166.	8320.
27	11371.	11917.	12305.	19963.	13916.	12285.	10498.	10000.	***	10541.	8914.	8910.
28	11717.	12068.	12656.	20705.	13541.	12475.	10440.	9930.	***	10665.	9223.	8840.
29	11819.		12772.	21127.	13390.	12163.	10446.	10197.	***	10355.	9188.	8700.
30	11864.		13195.	21153.	13043.	12242.	10397.	10377.	***	10193.	9484.	8640.
31	11894.		13579.		12939.		10335.	10330.		10094.		8310.

MIN:	10887.	11216.	11375.	13282.	12939.	12163.	10323.	9911.	9636.	9591.	8914.	815
MAX:	12083.	12340.	13579.	21212.	20251.	13913.	11990.	10531.	10209.	11253.	10592.	937

TOTAL:	353226.	330404.	368802.	519473.	523961.	382143.	337061.	316820.	167903.	316522.	291818.	27536
NOMBRE:	31	28	31	30	31	30	31	31	17	31	30	31
MOY:	11394.	11800.	11897.	17316.	16902.	12738.	10873.	10220.	***	10210.	9727.	886

STATION NUMERO: 001003C=1.000E+00 PAIRE: A:
 #043301->C=1.000E+00 #043201->C=1.000E+00 #030401->C=1.000E+00 #030203->C=1.000E+00
 #050115->C=1.000E+00 #023402->C=2.165E+00 #050301->C=3.234E+00 #

may 11 351,1

may 9662,3

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1979

DEBITS JOURNALIERS EN M CU./S POUR LA PERIODE DU 1/ 1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	moq 9520,3											
1	8798.	10335.	10253.	19179.	22583.	15909.	11219.	9902.	10897.	10914.	13280.	14448.
2	9174.	10183.	10255.	19683.	22556.	15049.	11667.	10030.	10658.	11060.	13471.	14546.
3	9861.	10254.	10400.	20231.	21886.	14465.	11797.	10225.	10534.	10887.	13291.	14809.
4	10110.	10291.	10216.	19918.	21400.	13983.	11531.	10111.	10509.	11005.	***	14264.
5	9940.	10414.	10430.	19368.	20740.	14091.	11679.	10172.	10421.	11062.	12939.	13826.
6	9765.	10387.	11587.	19387.	20383.	13851.	11582.	10200.	10497.	11510.	12811.	13581.
7	9518.	10471.	13519.	18509.	19697.	13655.	11513.	10208.	12050.	11272.	12872.	13688.
8	9575.	10592.	14476.	17767.	19148.	13299.	11360.	10104.	11457.	11490.	13014.	14199.
9	9643.	10628.	14164.	16889.	18847.	***	11059.	10011.	11147.	11717.	***	14054.
10	9631.	10512.	13608.	16076.	18110.	***	11298.	9989.	10839.	11938.	***	13201.
11	9423.	10366.	13396.	15957.	17498.	13094.	11242.	10151.	10883.	11861.	***	12962.
12	9343.	10366.	13500.	15420.	17569.	13449.	11162.	10013.	10736.	11934.	12734.	13106.
13	9346.	10375.	12906.	15555.	17511.	14002.	11097.	10197.	10630.	12626.	12592.	13281.
14	9274.	10315.	13051.	15843.	17216.	14270.	11009.	10554.	11508.	12635.	12629.	13401.
15	9524.	10285.	13221.	16438.	17202.	13919.	10714.	10510.	13653.	12259.	12468.	13011.
16	9910.	10375.	13460.	17190.	17907.	13727.	10685.	10530.	13106.	12088.	12598.	12581.
17	10103.	10222.	13314.	18081.	17624.	13574.	10671.	10309.	12333.	12205.	12596.	12691.
18	10185.	10132.	13143.	17612.	17353.	13452.	10728.	10167.	11711.	12351.	11961.	12401.
19	9864.	10074.	13028.	16971.	17147.	12905.	10662.	10025.	11476.	12212.	11756.	12421.
20	9749.	10083.	12893.	17049.	16844.	12876.	10680.	10079.	11320.	12073.	11784.	12111.
21	9595.	10150.	12976.	16995.	16538.	12607.	10525.	10068.	11187.	12260.	12117.	12531.
22	9720.	10087.	13825.	17308.	16207.	12733.	10422.	10119.	11105.	12077.	12228.	13041.
23	9695.	10078.	15091.	17476.	16099.	12504.	10265.	10085.	11210.	12308.	12137.	13071.
24	9678.	10002.	16277.	17732.	15768.	11815.	10209.	10286.	11303.	12693.	12158.	13011.
25	9669.	9904.	19510.	18274.	14611.	11805.	10231.	10544.	11376.	12894.	12166.	13651.
26	9742.	10169.	22795.	18802.	15047.	11977.	10433.	***	11483.	13033.	12261.	15621.
27	9730.	10282.	22069.	19712.	15935.	11921.	10224.	***	11219.	12759.	14241.	16511.
28	9609.	10302.	19970.	22389.	15787.	11712.	9998.	***	11121.	12590.	14757.	15621.
29	9717.		18575.	23302.	15181.	11640.	9998.	***	10946.	12851.	15026.	14821.
30	9858.		17499.	22742.	15554.	11595.	9919.	10609.	10692.	13276.	15075.	14121.
31	10114.		17660.		16023.		9807.	10912.		13343.		13511.
MINI	8798.	9904.	10216.	15420.	14611.	11595.	9807.	9902.	10421.	10887.	11756.	12111.
MAXI	10185.	10628.	22795.	23302.	22583.	15909.	11797.	10912.	13653.	13343.	15075.	16511.
TOTAL:	299863.	287633.	447067.	547853.	551971.	369881.	335388.	276110.	338004.	375183.	334963.	42421.
NOMBRE:	31	28	31	30	31	28	31	27	30	31	26	31
MOY:	9673.	10275.	14422.	18262.	17806.	***	10819.	***	11267.	12103.	***	13611.

moq 12857,4

STATION NUMERO: 001003C=1.000E+00 PAIRIE A;
 #043301->C=1.000E+00 #043201->C=1.000E+00 #030401->C=1.000E+00 #030203->C=1.000E+00
 #050115->C=1.000E+00 #023402->C=2.165E+00 #050301->C=3.234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1980

DEBITS JOURNALIERS EN M CU./S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	MOY 12 486,7											
1	13555.	10597.	10620.	13491.	15960.	11643.	11111.	11541.	11064.	11973.	13335.	12218.
2	13437.	10539.	10614.	13313.	15814.	11456.	11080.	11513.	11332.	12177.	13097.	11628.
3	13295.	10557.	10729.	13179.	15740.	11555.	11099.	11647.	11603.	12483.	13057.	12587.
4	13256.	10454.	10510.	12733.	15281.	11653.	10982.	11656.	11479.	12765.	13203.	12876.
5	13211.	10691.	10263.	12889.	14904.	11827.	10996.	11566.	11563.	13912.	12976.	12110.
6	13092.	11043.	10209.	12993.	14486.	11805.	10790.	11394.	11489.	13845.	13408.	12097.
7	13055.	11013.	10178.	12771.	14910.	11627.	10754.	11416.	11249.	13534.	13382.	12320.
8	12814.	11000.	10078.	12711.	14733.	11444.	11010.	11175.	11187.	13259.	13212.	12657.
9	12068.	10828.	10003.	12961.	14563.	11105.	10823.	11527.	11110.	13416.	13335.	12730.
10	11697.	10751.	9819.	15001.	14553.	11299.	10842.	11329.	11248.	13208.	13472.	13580.
11	11367.	10656.	9883.	16841.	14059.	11277.	10735.	11042.	11646.	12981.	13359.	1348.
12	12028.	10763.	9961.	17137.	13833.	11396.	10686.	11025.	11265.	12851.	13089.	1295.
13	11426.	11006.	10165.	17486.	13758.	11139.	10726.	11060.	10998.	13218.	12682.	1278.
14	11513.	10997.	10469.	17086.	13683.	10786.	10467.	11217.	11149.	13071.	12585.	1281.
15	11516.	10897.	10379.	17285.	13624.	10763.	10802.	11207.	11914.	12714.	12619.	1239.
16	11520.	10779.	10080.	18223.	13672.	10775.	10867.	11196.	11950.	12365.	12538.	1116.
17	11555.	10741.	9896.	18443.	13056.	10873.	10969.	11214.	11863.	12565.	12219.	1061.
18	11352.	10892.	10013.	17657.	12740.	10782.	10985.	11054.	11556.	13225.	12030.	1069.
19	10923.	11116.	10405.	16782.	13129.	10432.	10942.	11308.	11440.	11986.	12101.	1076.
20	10494.	10963.	10940.	16143.	13498.	10588.	10801.	11231.	11461.	12081.	11662.	1064.
21	10184.	10686.	10965.	15393.	13349.	10913.	10743.	10871.	11345.	12386.	11156.	1061.
22	10114.	10980.	11737.	14830.	13078.	10700.	10983.	10761.	11968.	12258.	11148.	1089.
23	10691.	11256.	13484.	14482.	13037.	10628.	10970.	10829.	12100.	12306.	11359.	1110.
24	11050.	10654.	14215.	14191.	12491.	10796.	11289.	10676.	12158.	12329.	11609.	1116.
25	10683.	10616.	14266.	13770.	12312.	10721.	11203.	10736.	12251.	12156.	12075.	1077.
26	10566.	10747.	13890.	14660.	12106.	11064.	10856.	10782.	12255.	12631.	12986.	1043.
27	10742.	10591.	13307.	15520.	11847.	11243.	10666.	10693.	12669.	13447.	12365.	981.
28	11079.	10817.	12928.	15261.	11915.	11421.	10930.	10565.	12789.	13893.	11757.	969.
29	10748.	10802.	12822.	14927.	11582.	11170.	11023.	10784.	12304.	14051.	12298.	958.
30	10590.		13084.	15377.	11388.	11086.	11507.	10727.	12277.	14065.	12759.	960.
31	10586.		13347.		11360.		11705.	10968.		13747.		961.
MIN:	10114.	10454.	9819.	12711.	11360.	10432.	10467.	10565.	10998.	11973.	11148.	958.
MAX:	13555.	11256.	14266.	18443.	15960.	11827.	11705.	11656.	12789.	14065.	13472.	13580.
TOTAL:	360209.	313391.	349265.	453539.	420463.	333968.	339342.	344714.	350681.	400000.	376872.	35644.
NUMBRE:	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MOY:	11620.	10807.	11267.	15118.	13563.	11132.	10947.	11120.	11689.	12903.	12562.	1140.

STATION NUMERO: 0010030=1,000E+00 PAIREL A:
 #043301->C=1,000E+00 #043201->C=1,000E+00 #030401->C=1,000E+00 #030203->C=1,000E+00
 #050115->C=1,000E+00 #023402->C=2,165E+00 #050301->C=3,234E+00 #

MOY 12 005,1

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1981

DEBITS JOURNALIERS EN M³/S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	MOY 10 010,4											
1	9310.	9732.	17805.	16828.	13374.	13693.	12246.	10325.	10633.	12229.	14707.	12148.
2	9657.	9890.	17096.	17334.	13199.	13426.	11877.	9891.	10707.	12056.	14171.	12228.
3	9664.	9880.	16672.	18108.	13000.	13167.	11748.	9976.	10688.	12219.	13795.	12478.
4	9779.	10079.	15927.	18017.	12568.	13238.	11535.	10099.	10720.	12106.	13559.	12452.
5	9879.	10194.	15219.	19026.	12432.	13522.	11513.	10220.	10740.	11917.	12859.	12280.
6	9971.	10258.	14663.	20622.	12393.	13399.	11579.	11675.	10915.	11928.	13076.	12275.
7	10055.	10153.	14242.	21037.	12419.	13204.	11414.	11741.	10720.	12157.	13693.	12365.
8	10144.	10101.	14205.	19907.	12365.	13028.	11181.	11032.	11083.	12118.	13679.	11923.
9	10172.	10083.	14182.	19436.	12281.	13134.	10937.	10979.	11585.	12341.	13608.	11867.
10	10253.	10102.	13978.	19405.	11974.	13594.	10918.	11351.	11843.	12355.	13314.	12078.
11	9996.	10258.	13897.	19475.	11940.	13493.	10814.	11278.	12111.	12299.	13300.	12076.
12	10124.	10867.	13780.	18909.	12959.	13234.	10714.	11283.	12441.	12112.	13020.	11908.
13	10291.	11892.	13591.	18470.	14503.	12736.	10537.	11113.	12765.	12079.	12756.	11616.
14	10367.	12073.	13486.	18162.	15692.	12387.	10622.	10620.	12638.	12219.	12468.	11774.
15	10494.	11914.	13169.	17814.	16526.	12351.	10832.	10643.	12496.	12085.	12430.	11893.
16	10473.	11783.	13125.	17318.	17081.	12391.	10637.	11243.	12196.	11936.	12352.	11903.
17	10545.	11680.	13216.	16904.	17429.	12562.	10472.	12731.	12072.	11849.	12432.	11598.
18	10567.	12108.	13282.	16830.	17835.	12472.	10287.	15264.	12074.	11936.	12660.	11471.
19	10616.	12772.	13095.	16679.	16625.	12320.	10104.	14212.	11961.	12179.	13174.	11716.
20	10557.	14041.	13137.	16194.	15866.	12222.	10191.	12398.	11717.	12370.	13203.	11626.
21	10383.	16330.	12938.	15869.	15341.	12163.	10362.	11731.	11648.	12105.	13473.	11644.
22	10214.	19541.	13018.	15265.	15077.	12255.	10211.	11417.	11918.	11939.	13929.	11691.
23	9982.	20180.	13011.	14716.	14446.	13566.	10073.	11221.	11677.	12192.	13397.	11183.
24	9850.	20205.	12458.	14632.	14154.	13923.	9873.	10965.	14118.	13050.	13101.	12101.
25	9615.	21024.	12386.	14652.	13900.	13980.	9867.	10782.	15816.	13229.	12770.	12281.
26	9558.	20818.	12631.	14492.	14042.	14002.	10051.	10720.	14745.	12940.	12555.	12111.
27	9506.	19334.	12878.	13772.	13892.	14093.	10090.	10567.	13052.	13545.	12622.	12291.
28	9459.	18284.	12750.	13117.	13922.	13410.	9751.	10577.	12954.	16311.	13005.	12341.
29	9606.		12580.	13016.	13986.	12763.	9926.	10445.	12689.	18039.	12815.	12481.
30	9864.		13580.	13418.	14190.	12456.	10215.	10396.	12457.	16742.	12393.	12661.
31	9682.		15763.		13788.		10357.	10534.		15473.		12471.
MINI	9310.	9732.	12386.	13016.	11940.	12163.	9751.	9891.	10633.	11849.	12352.	11471.
MAXI	10616.	21024.	17805.	21037.	17835.	14093.	12246.	15264.	15816.	18039.	14707.	12661.

MOY 12923,4

TOTAL: 310629, 375588, 431765, 509623, 439190, 392184, 330936, 347429, 363179, 398056, 394316, 37361
 NOMBRE: 31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31
 MOY: 10020, 13414, 13928, 16987, 14168, 13073, 10675, 11207, 12106, 12841, 13144, 1205
 STATION NUMERO: 001003C=1,000E+00 PAIREL A:
 #043301->C=1,000E+00 #043201->C=1,000E+00 #030401->C=1,000E+00 #030205->C=1,000E+00
 #050115->C=1,000E+00 #023402->C=2,165E+00 #050301->C=5,234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1982

DEBITS JOURNALIERS EN M³/S POUR LA PERIODE DU 1/ 1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	moy 10 682.9											
1	12493.	10560.	10174.	13869.	19954.	10890.	11611.	10204.	9775.	9983.	9705.	11491.
2	12659.	10707.	10224.	15818.	19977.	11038.	11647.	9844.	10028.	10122.	9716.	11804.
3	12371.	10560.	10234.	15702.	19862.	11208.	11405.	9956.	10550.	10079.	10060.	12327.
4	12363.	10078.	10240.	15141.	19612.	11179.	11469.	10236.	10432.	10069.	10314.	12884.
5	12705.	9654.	10272.	14865.	19302.	11324.	11419.	10081.	9972.	9990.	11666.	12894.
6	11061.	9491.	10286.	14501.	18532.	11227.	11474.	9873.	9922.	9903.	13676.	13071.
7	10371.	9598.	10206.	14255.	18016.	11423.	11483.	9911.	9791.	9587.	12650.	13511.
8	10192.	9791.	10120.	13598.	18039.	11392.	11415.	9849.	9727.	9743.	12269.	13241.
9	10382.	10130.	10034.	12684.	17928.	11267.	11403.	10063.	9910.	9918.	12036.	12811.
10	9846.	10438.	10353.	12638.	17758.	11274.	11040.	10229.	9696.	9995.	11681.	12491.
11	9205.	10323.	10339.	12745.	18043.	11357.	10921.	10092.	9542.	10103.	11425.	12761.
12	9051.	10229.	10282.	13102.	16662.	11401.	11114.	9700.	9610.	10059.	11060.	12221.
13	9158.	10170.	10212.	15763.	15763.	11402.	11025.	9850.	9546.	9969.	11320.	12111.
14	9112.	10125.	10471.	13537.	15020.	11299.	10759.	9981.	9630.	10035.	11666.	11781.
15	9275.	10249.	10680.	14017.	14147.	11271.	10620.	9674.	9680.	10053.	11533.	12041.
16	9072.	10077.	10940.	14821.	13830.	11354.	10864.	9744.	9760.	10029.	11643.	12051.
17	9012.	9888.	11012.	16088.	13413.	11145.	10816.	9552.	10100.	9823.	11433.	12651.
18	9280.	9819.	10986.	20830.	13088.	11421.	10718.	9612.	10306.	9849.	11077.	12451.
19	9442.	10054.	10680.	21486.	12537.	11298.	10756.	9615.	9836.	10092.	10957.	12001.
20	9466.	10072.	10705.	19074.	12428.	12034.	10586.	9538.	9699.	10088.	10875.	12031.
21	9565.	9860.	10724.	19128.	12400.	11882.	10402.	9532.	9810.	10129.	11199.	12041.
22	9644.	9859.	10835.	19248.	12158.	12083.	10258.	9498.	9823.	9773.	11169.	11921.
23	9718.	10194.	10749.	18280.	11721.	12236.	10271.	9340.	9861.	9656.	10938.	11811.
24	9829.	10004.	10811.	17739.	11779.	12952.	10329.	9456.	10427.	9633.	11289.	11721.
25	9819.	10040.	11104.	18292.	11694.	12712.	10083.	9692.	9885.	9712.	11652.	12061.
26	9924.	10091.	11538.	20092.	11555.	12214.	10019.	10450.	9446.	9796.	11518.	12371.
27	10033.	10198.	12168.	21474.	11533.	11964.	9989.	10725.	9811.	9988.	11426.	13091.
28	10138.	10238.	12185.	22328.	11172.	11700.	10072.	10246.	10094.	10070.	11188.	13091.
29	10178.		12279.	21561.	11197.	11538.	10234.	9943.	9924.	9825.	10999.	13291.
30	10337.		12260.	20160.	11014.	11663.	10145.	9811.	9808.	10001.	11258.	13091.
31	10385.		12398.		10891.		10175.	9859.		9919.		12701.
	moy 11 241.4											
MINI:	9012.	9491.	10034.	12638.	10891.	10890.	9989.	9340.	9446.	9587.	9705.	11491.
MAXI:	12705.	10707.	12398.	22328.	19977.	12952.	11647.	10725.	10550.	10129.	13676.	13511.

TOTAL: 316086. 282520. 335518. 500375. 461032. 347150. 334527. 306155. 296399. 307992. 339397. 3858.

NUMBRE: 31 28 31 30 31 30 31 31 31 30 31 30 31

MOY: 10196. 10090. 10823. 16679. 14872. 11572. 10791. 9876. 9880. 9935. 11313. 1241.

STATION NUMERO: 001003C=1.000E+00 PAIREF A:

#043301->C=1.000E+00 #043201->C=1.000E+00 #030401->C=1.080E+00 #030203->C=1.000E+00

#050115->C=1.000E+00 #023402->C=2.165E+00 #050301->C=3.234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1983

DEBITS JOURNALIERS EN M³/S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
MOY 11 671,9												
1	12561.	10700.	11163.	12152.	19082.	20616.	11770.	9978.	10131.	9803.	10445.	12779.
2	12103.	10770.	11196.	12095.	20104.	20093.	11537.	9983.	9960.	9790.	10263.	12211.
3	11986.	11360.	11262.	11966.	21835.	19641.	11387.	10119.	9867.	9738.	10208.	11920.
4	11633.	12535.	11108.	12402.	23269.	19073.	11551.	10117.	9931.	9240.	10085.	11381.
5	11650.	12538.	11142.	12849.	23566.	19119.	11490.	10028.	9978.	9675.	10487.	11363.
6	11542.	12067.	10931.	12889.	22974.	19083.	11389.	10069.	9950.	10544.	11306.	11502.
7	11390.	11970.	10923.	12811.	21476.	18745.	11185.	10254.	10065.	10606.	11410.	12382.
8	11556.	11820.	11051.	13485.	21202.	18768.	11205.	10344.	9976.	10206.	10998.	11936.
9	11123.	11419.	11271.	14019.	23138.	18136.	10960.	10214.	9936.	10549.	10693.	11400.
10	11064.	10881.	11548.	14179.	24688.	17306.	10741.	10219.	9838.	10111.	10261.	11669.
11	11529.	10560.	11855.	14740.	24277.	16770.	10676.	10077.	9755.	10203.	10538.	11760.
12	12278.	10586.	12194.	15523.	23520.	16014.	10592.	9847.	***	10112.	11796.	12040.
13	11687.	10608.	12162.	15330.	22357.	15501.	10750.	10134.	***	10388.	12009.	12910.
14	11500.	10439.	11966.	14869.	21785.	15091.	10630.	10149.	***	10522.	11182.	14506.
15	11477.	10270.	12092.	15357.	21752.	14889.	10827.	10042.	***	10408.	10947.	15835.
16	11215.	10188.	12215.	16652.	21597.	14290.	10827.	10139.	***	10197.	10891.	15948.
17	10933.	10237.	11963.	18147.	20435.	13652.	10596.	10118.	***	10115.	11814.	15325.
18	10527.	10424.	12221.	19302.	20040.	13429.	10290.	9952.	***	10321.	11710.	14819.
19	10318.	10875.	12701.	17822.	18759.	13726.	10145.	10036.	***	10145.	11206.	14253.
20	10113.	11252.	17121.	17375.	18157.	13493.	10532.	9960.	***	10196.	10765.	13791.
21	10281.	11222.	17166.	17699.	18168.	13339.	10551.	9740.	***	10089.	11205.	12870.
22	10686.	11206.	16361.	16625.	17785.	13344.	10327.	9986.	***	10038.	12546.	11818.
23	10554.	11260.	15621.	16119.	17831.	13051.	10280.	9718.	***	9872.	12768.	11575.
24	10237.	11301.	14257.	15792.	18035.	12648.	10386.	9785.	***	9838.	12326.	11289.
25	10110.	11185.	13630.	16847.	17745.	12477.	10206.	9897.	***	10024.	12964.	10900.
26	9978.	11194.	12924.	19051.	17655.	12111.	10214.	9803.	9794.	10066.	14821.	10946.
27	10452.	11280.	12858.	19451.	18038.	11900.	10107.	9856.	10006.	10222.	13352.	11725.
28	10656.	11154.	12735.	18266.	18745.	11759.	10187.	9936.	9901.	10249.	12299.	11880.
29	10728.		13037.	18158.	18922.	11691.	10294.	9795.	9924.	10323.	12658.	12015.
30	10723.		12883.	18273.	19020.	11636.	10273.	9827.	10095.	9980.	13083.	11900.
31	10549.		12283.		19725.		9937.	10020.		9983.		11780.
MINI	9978.	10188.	10923.	11966.	17655.	11636.	9937.	9718.	9755.	9240.	10085.	10900.
MAXI	12561.	12538.	17166.	19451.	24688.	20618.	11770.	10344.	10131.	10606.	14821.	15948.
TOTAL:	343137.	311324.	391841.	470245.	635688.	461397.	331841.	310140.	159114.	313560.	347042.	388429.
NOMBRE:	31	28	31	30	31	30	31	31	16	31	30	31
MOY:	11069.	11119.	12640.	15675.	20506.	15380.	10705.	10005.	***	10115.	11568.	12530.

MOY 12 293,9

STATION NUMERO: 001003C=1,000E+00 PAIREE A:
 #043301->C=1,000E+00 #043201->C=1,000E+00 #030401->C=1,000E+00 #030203->C=1,000E+00
 #050115->C=1,000E+00 #023402->C=2,165E+00 #050301->C=3,234E+00 #

STATION: SAINT-LAURENT A LASALLE (20A16)

ANNEE: 1984

DEBITS JOURNALIERS EN M³/S POUR LA PERIODE DU 1/1 AU 31/12

JOURS	JANV	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
	moy 10 562,9											
1	11787.	10965.	12915.	12767.	19693.	18887.	12910.	11687.	11634.	***	10306.	11302.
2	11754.	11100.	12769.	13416.	18824.	17764.	12836.	11478.	11459.	***	10342.	11166.
3	11172.	11301.	12741.	13486.	17708.	17200.	12822.	11246.	11153.	***	10137.	11017.
4	11172.	11116.	13068.	13840.	16917.	16831.	12901.	11461.	11556.	***	9959.	11688.
5	10843.	10811.	12940.	14267.	17399.	16345.	12935.	11595.	11447.	***	10098.	11345.
6	10586.	10671.	12684.	16356.	17202.	15867.	12727.	11495.	11254.	***	10476.	11049.
7	10491.	10658.	12630.	19951.	16647.	15528.	13474.	11529.	11179.	***	10401.	11196.
8	10114.	10695.	12638.	19815.	16102.	15370.	14331.	11602.	11002.	***	10407.	11295.
9	10074.	10697.	12633.	18413.	16459.	15121.	13481.	11419.	10817.	***	10800.	10887.
10	10004.	10799.	12451.	17337.	16288.	14313.	13018.	11367.	10946.	***	11001.	10803.
11	9989.	10768.	12184.	16748.	16108.	14291.	12588.	11259.	10992.	10139.	11241.	11173.
12	10068.	11174.	12185.	16510.	15802.	13924.	13151.	11329.	10923.	10043.	11832.	11272.
13	10133.	10971.	12151.	16845.	15831.	13566.	13182.	11415.	10898.	10017.	12482.	10981.
14	10144.	10891.	12254.	17995.	15607.	13535.	12895.	11514.	11028.	9748.	12313.	11095.
15	10113.	11388.	12063.	18970.	15351.	13427.	12527.	11776.	10884.	9829.	12147.	10950.
16	10306.	12006.	11955.	19410.	15038.	13383.	13541.	11808.	10883.	10075.	12128.	10991.
17	10666.	12493.	11724.	21218.	14717.	13273.	13605.	11619.	10485.	9893.	11529.	11497.
18	10699.	12838.	11961.	22125.	14398.	13175.	12902.	11622.	10901.	10175.	11192.	11529.
19	10602.	12901.	11948.	21481.	14215.	13607.	13131.	11713.	11107.	9992.	11736.	11576.
20	10434.	13087.	***	20786.	13953.	13952.	13506.	11537.	10999.	10093.	11604.	11734.
21	10566.	13172.	***	19970.	13694.	13512.	13291.	11563.	10942.	9810.	11352.	11262.
22	10686.	13552.	***	19119.	13460.	13160.	13283.	11485.	10863.	9842.	11068.	11184.
23	10827.	13482.	***	18446.	13692.	12984.	13238.	11600.	10871.	9757.	11468.	11465.
24	10758.	13173.	***	18500.	14483.	12865.	13105.	11788.	10828.	9832.	11296.	10670.
25	10638.	13388.	***	19206.	14854.	13453.	13160.	11810.	***	9968.	10942.	11176.
26	10477.	13438.	***	20107.	14933.	13577.	12958.	11672.	***	10317.	11026.	11033.
27	10520.	13380.	***	20271.	14794.	13555.	12737.	11345.	***	9975.	10865.	10833.
28	10595.	13215.	***	19758.	14699.	13256.	12881.	11420.	***	9727.	11013.	11198.
29	10641.	13212.	***	19679.	15658.	12982.	12369.	11315.	***	9808.	11206.	11701.
30	10927.	***	12582.	19325.	17107.	12880.	12145.	11482.	***	9813.	11372.	12716.
31	10942.	***	12712.	***	18394.	***	12121.	11714.	***	10084.	***	13138.
	moy 11 317,8											
MIN:	9989.	10658.	11724.	12767.	13460.	12865.	12121.	11246.	10485.	9727.	9959.	10670.
MAX:	11787.	13552.	13068.	22125.	19693.	18887.	14331.	11810.	11634.	10317.	12482.	13138.
TOTAL:	328729.	347341.	261188.	546117.	490027.	431591.	403750.	357664.	265053.	208934.	333742.	350922.
NUMBRE:	31	29	21	30	31	30	31	31	24	21	30	31
MOY:	10604.	11977.	***	18204.	15807.	14386.	13024.	11538.	***	***	11125.	11320.

STATION NUMERO: 001003C=1,00E+00 PAIRET A:

#043301->C=1,000E+00 #043201->C=1,000E+00 #030401->C=1,000E+00 #030203->C=1,000E+00

#050115->C=1,000E+00 #023402->C=2,165E+00 #050301->C=3,234E+00 #

ANNEXE 2

MESURES DES VITESSES SUR LA SECTION
DU QUAI DE LOTBINIÈRE AU COURS DE LA
MARÉE DU 23 OCTOBRE 1986

réalisées par les "CONSULTANTS SAINT-LAURENT"

A.2.1 Présentation

Des mesures de vitesses ont été effectuées dans la partie aval du domaine étudié le 23 octobre 1986. Ce jour là, la marée prédite avait une amplitude un peu inférieure à la marée moyenne. L'objectif de ces mesures était de montrer la variation des intensités des courants à différents états de la marée dans un secteur avec des estrans de grande largeur. Dans le domaine étudié, cette caractéristique se rencontre pratiquement partout et doit être modélisée le mieux possible afin de respecter les objectifs de l'étude.

Le choix du transect a porté sur la partie aval du domaine où les mécanismes de la marée sont les plus présents. La région de Lotbinière s'est alors imposée à cause de la largeur des estrans longeant la rive nord. quatre points de mesure ont été choisis. Le plus au large est situé à la limite nord du chenal, le second à la ligne de partage entre le chenal et l'estran. Les deux dernières positions sont au-dessus de l'estran, l'une au tiers en partant du chenal et l'autre au tiers en partant de la rive (figure 5.2). Ces positions ont été successivement occupées à marée basse, au mi-montant, à marée haute et au milieu du baissant.

Les mesures ont été prises à partir d'une embarcation amarrée et avec un courantomètre Annderaa RCM-4S. Cet appareil fournit la vitesse et la direction des courants ainsi que la température de l'eau. Les vitesses sont précises au centimètre par seconde, les directions à 5° et les températures au centième de degré. L'ensemble des mesures obtenues est présenté et commenté. L'évolution dans le temps des vitesses et des températures est également abordée.

La figure A.2.1 présente l'onde de marée prédite le jour des mesures. Comme les niveaux ne descendaient pas en-dessous de la cote marégraphique 1,20 m, l'estran longeant la rive nord est resté inondé en permanence sur la presque totalité de sa largeur à marée basse. Cela nous a

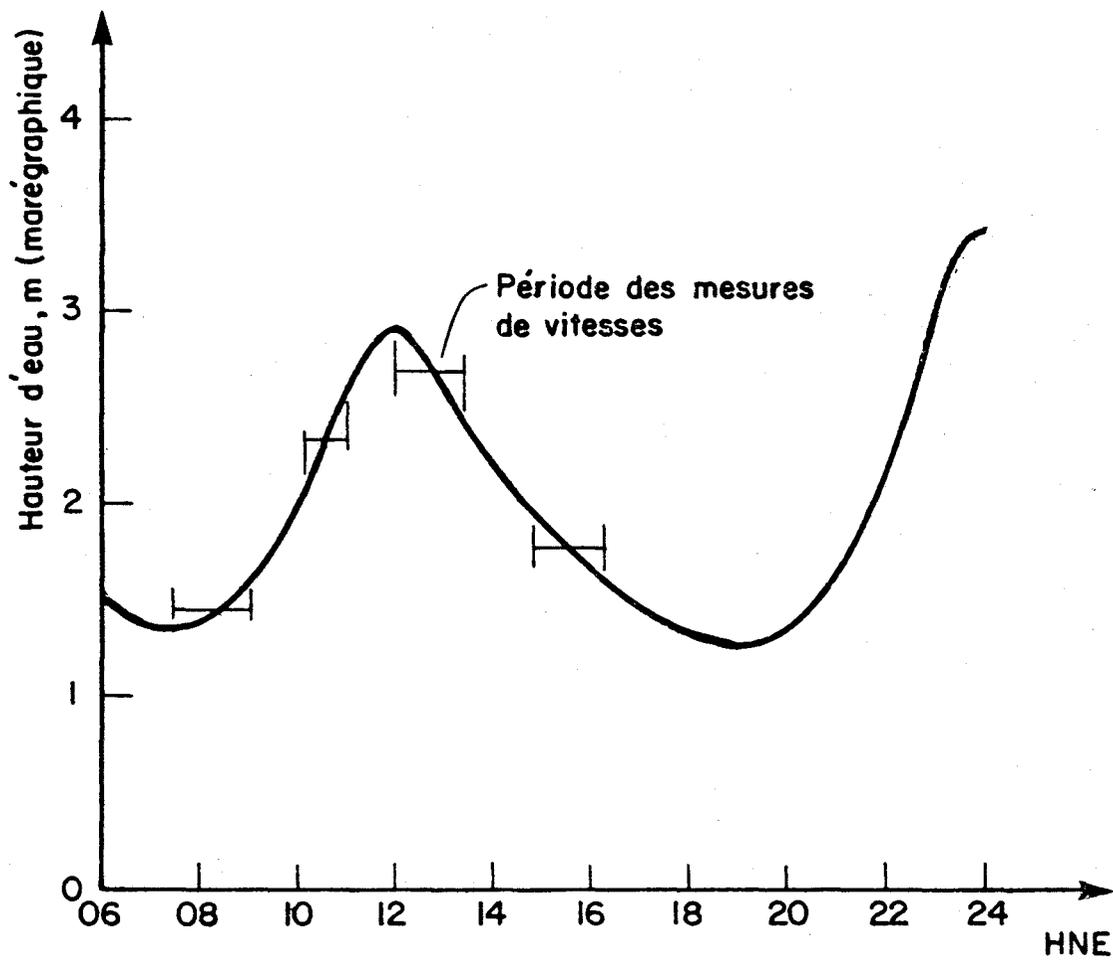


Fig. 2 - Variation des niveaux d'eau à Lotbinière le 23 octobre 1986.

Figure A.2.1 Marégramme à Lotbinière le 23 octobre 1986 (prévu)

permis d'effectuer des mesures aux points situés sur l'estran (positions P3 et P4 de la figure 5.2) à toutes les phases de la marée. Quelques niveaux d'eau ont été mesurés au quai de Lotbinière où une planche de marée avait été placée et rattachée.

A.2.2 Remarques

Des mesures présentées, il faut retenir que dans la partie aval du domaine étudié, les courants ne s'inversent pas pendant une marée d'amplitude moyenne. Les vitesses maximales se sont produites au moment de la marée basse, lorsque l'écoulement est confiné dans le chenal. Dans la section étudiée où les estrans sont larges, les vitesses observées à marée basse et près des rives sont 10 fois plus faibles que dans le chenal. L'estran est un système isolé du chenal, et cette séparation est d'autant plus marquée que le niveau de l'eau est bas.

À marée haute, les vitesses au-dessus des estrans étudiés restent encore bien distinctes de celles observées dans le chenal. Dans une même section, l'intensité des vitesses est 2 fois plus faible au-dessus des estrans. Toujours à marée haute, les orientations peuvent varier de 20° entre ces 2 zones. Comme sur l'ensemble du domaine étudié, le chenal principal est longé sur ses deux rives par des estrans larges, les observations faites sur la section du quai de Lotbinière peuvent se généraliser.

Le chenal est occupé par les eaux du Saint-Laurent. Au mois d'octobre, à cause de l'inertie thermique associée aux Grands Lacs, ces eaux sont nettement plus chaudes que celles des tributaires des deux rives. Au centre du chenal, on mesure $10,5^\circ\text{C}$. Le long de la rive nord, la température des eaux peut baisser en-dessous de 6°C . Le long de la rive sud, au niveau de Lotbinière, les eaux ont une température d'environ 9°C . De part et d'autre du chenal, on rencontrera donc des eaux ayant des températures intermédiaires aux valeurs mentionnées.

A cause des marées qui inondent puis exondent les berges, la transition entre ces masses d'eau évolue en permanence. À marée montante, les eaux du chenal repoussent les eaux froides vers la rive; à marée baissante, les eaux chaudes retournent vers le chenal. C'est ce que l'on observe en chacun des points de mesure. Malgré ces différences de

températures, les eaux ne sont pratiquement jamais stratifiées (tableau A.2.1). A chacune des positions, la marée montante provoque les plus fortes variations de température dans le temps. A la limite nord du chenal où la colonne d'eau dépasse 10 m de profondeur, une légère stratification se développe à cet endroit mais elle ne se prolonge pas aux autres états de marée. Aux trois autres positions, aucune stratification n'est mesurée à aucun moment du cycle de la marée. L'existence des masses d'eau thermiquement bien distinctes, la bathymétrie locale et la variation rapides des niveaux à marée montante sont nécessaires pour que la stratification puisse se produire à la limite nord du chenal.

Comme l'onde de marée s'atténue vers l'amont du domaine étudié, la stratification des eaux y est moins probable que dans le transect mesuré. Dans ces conditions une modélisation des écoulements intégrée selon la verticale est parfaitement justifiée car les différences de températures observées en automne sont probablement les plus fortes à pouvoir se produire au cours de l'année.

Tableau A.2.1 Températures observées au cours de la marée du 23 octobre 1986 sur la section du quai de Lotbilière. Les positions P1 à P4 sont décrites à la figure 5.2.

	P1 (chenal)	P2	P3	P4 (rive)
Marée basse	9,9°C	9,1	8,7	8,6
Mi-montant	10,4(surf.) 10,2(fond)	10,0	9,7	8,9
Marée haute	10,5	10,1	9,9	9,0
Mi-baissant	10,2	9,6	8,7	8,6

VITESSES SUR LA SECTION DU QUAI DE LOTBINIERE

MAREE BASSE

HNE	Remarques	direction vraie	vitesse cm/s	température °C
07h25	niveau d'eau: 1,51 m vagues de 30 cm			
	POSITION 1 (limite nord du chenal) Profondeur totale: 11,5 m			
07h38		58	138,7	9,77
07h39	Mesures à 1,5 m sous la surface	55	127,5	9,91
07h40		57	133,1	9,95
07h41		61	138,7	9,86
07h43		59	138,7	9,82
07h44		57	144,3	10,09
07h45	Mesures à 5,0 m sous la surface	60	144,3	9,82
07h46		62	127,5	9,91
07h47		63	133,1	9,86

On n'observe pas de stratification verticale. Les vitesses ont des directions semblables en surface comme à mi-profondeur.

HNE	Remarques	direction vraie	vitesse cm/s	température °C
	POSITION 2 (limite chenal-estran) Profondeur totale: 2,5 m			
08h41		54	60,3	9,04
08h42	Mesures à 0,5 m sous la surface	47	54,7	9,04
08h43		42	65,9	8,99
08h44		47	65,9	9,04
08h46		59	49,1	9,17
08h47	Mesures à 2,0 m sous la surface	52	49,1	9,17
08h48		53	43,5	9,13

L'écoulement de surface est plus orienté vers la rive que celui de fond. La température des eaux en remontant le courantomètre en surface était de 9,36°. L'écart de température entre surface et fond est très certainement associé à un déplacement des eaux plus chaudes du chenal vers la rive.

VITESSES SUR LA SECTION DU QUAI DE LOTBINIERE

MAREE BASSE

HNE	Remarques	direction vraie	vitesse cm/s	température °C
	POSITION 3 (sur l'estran, au tiers à partir du large) Profondeur totale: 1 m			
08h00		29	15,5	8,71
08h01	Mesures à 0,3 m sous la surface	36	15,5	8,71
08h02		21	21,1	8,71
08h03		25	15,5	8,71

L'écoulement est très ralenti par rapport à celui qui existe dans le chenal. Il est également beaucoup plus tourné vers la rive. Les variations observées sur les directions sont dues aux vagues qui atteignaient presque 20 cm de hauteur dans très peu d'eau.

	POSITION 4 (sur l'estran, au tiers à partir de la rive) Profondeur totale: 1 m			
08h13		20	9,9	8,62
08h14	Mesures à 0,3 m sous la surface	15	15,5	8,62
08h15		18	15,5	8,62

A cette position, l'écoulement est semblable à celui observé un peu plus au large. Les courants sont légèrement ralentis et encore un peu plus dirigés vers la rive.

VITESSES SUR LA SECTION DU QUAÏ DE LOTBINIERE

MI-MONTANT

HNE	Remarques	direction vraie	vitesse cm/s	température °C
09h27	niveau d'eau: 2,15 m			
	POSITION 1 (limite nord du chenal)			
09h40		55	54,7	10,42
09h41	Mesures à 2,0 m sous la surface	47	54,7	10,37
09h42		48	54,7	10,37
09h44		63	49,1	10,28
09h45	Mesures à 9 m sous la surface	56	49,1	10,23
09h46		59	49,1	10,23

Les vitesses de surface sont un peu plus orientées vers la rive que celles du fond. Les courants se maintiennent vers l'aval mais leur intensité est pratiquement divisée par trois si on les compare aux mesures prises à marée basse. On observe une légère stratification de l'écoulement, en accord avec la direction des vitesses et la position des masses d'eau. Au fond, le déplacement latéral est réduit alors qu'en surface les eaux plus chaudes circulant dans le chenal se dirigent vers la rive. Par rapport aux mesure à marée basse, on notera le réchauffement général observé, qui atteint environ 0,4°C à cet endroit les vitesses ont également tourné de 20° vers la rive nord.

VITESSES SUR LA SECTION DU QUAÏ DE LOTBINIERE

MI-MONTANT

HNE	Remarques	direction vraie	vitesse cm/s	température °C
POSITION 2 (limite chenal-estran) Profondeur totale: 3 m				
09h52	Mesures à 0,6 m sous la surface	44	43,5	9,95
09h53		34	37,9	9,95
09h56		45	15,5	9,95
09h57	Mesures à 2,0 m sous la surface	19	21,1	10,00
09h58		27	15,5	9,95

A cette position, on n'observe pas de stratification entre la surface et le fond. L'atténuation des vitesses est moins forte que celle observée dans le chenal entre la marée basse et le mi-montant. Le réchauffement des eaux à cet endroit atteint 1°C en une heure.

POSITION 3 (sur l'estran, au tiers
à partir du large)

10h08		357	9,9	9,68
10h09	Mesures à 1,0 m sous la surface	18	9,9	9,68
10h10		358	9,9	9,68

POSITION 4 (sur l'estran, au tiers
à partir de la rive)

10h19		353	4,3	8,85
10h20	Mesures à 1,0 m sous la surface	1	4,3	8,85
10h21		341	4,3	8,85

Aux positions 3 et 4, les vitesses sont tournées complètement vers la rive. A la position 4, l'atténuation des courants est presque complète. La température a varié de 1°C en une heure à la position 3 mais seulement de 0,2°C à la position 4. Les fluctuations de température sont associées directement au champ des vitesses.

VITESSES SUR LA SECTION DU QUAI DE LOTBINIERE

MAREE HAUTE

HNE	Remarques	direction vraie	vitesse cm/s	température °C
	POSITION 1 (limite nord du chenal)			
12h12		56	65,9	10,60
12h13	Mesures à 2,5 m sous la surface	54	65,9	10,46
12h14		47	71,5	10,42
12h15		61	60,3	10,55
12h17		55	71,5	10,60
12h18	Mesures à 9 m sous la surface	54	71,5	10,55
12h19		57	71,5	10,51

Les courants se renforcent dès la fin du montant. Les températures sont homogènes sur toute la verticale et passent par un maximum à marée haute en cette position.

	POSITION 2 (limite chenal-estran)			
12h29		45	65,9	10,05
12h30	Mesures à 0,8 m sous la surface	40	60,3	10,05
12h31		48	54,7	10,05
12h33		46	49,1	10,05
12h34	Mesures à 1,8 m sous la surface	45	49,1	10,05
12h35		39	43,5	10,00

Le renforcement des courants est ici plus marqué que dans le chenal. Par rapport aux mesures prises 2 heures avant, les intensités sont doublées. Il n'y a pas de stratification des eaux.

VITESSES SUR LA SECTION DU QUAI DE LOTBINIERE

MAREE HAUTE

HNE	Remarques	direction vraie	vitesse cm/s	température ° C
	POSITION 3 (sur l'estran, au tiers à partir du large) Profondeur totale: 2,2 m			
12h51		40	32,3	9,86
12h52		29	26,7	9,86
12h53	Mesures à 0,8 m sous la surface	39	32,3	9,86
12h54		31	32,3	9,86
12h55		31	32,3	9,86

Les vitesses sont trois fois plus fortes que lors des mesures précédentes au mi-montant. Une rotation de 25° vers l'aval est également notée.

	POSITION 4 (sur l'estran, au tiers à partir de la rive)			
13h07		45	32,3	9,08
13h08	Mesures à 0,8 m sous la surface	44	37,9	9,04
13h09		35	32,3	9,04
13h10		38	32,3	8,99

L'intensité des vitesses est comparable à celle mesurée à la position 3. La direction est un peu plus orientée vers l'aval et on note pendant les mesures un abaissement constant de la température des eaux. Jusqu'à maintenant, les eaux chaudes du chenal envahissaient l'estran où des eaux plus froides circulent normalement. A partir de maintenant, un mouvement inverse se produit car les eaux retournent vers le chenal.

VITESSES SUR LA SECTION DU QUAÏ DE LOTBINIERE

MI-BAISSANT

HNE	Remarques	direction vraie	vitesse cm/s	température °C
	POSITION 1 (limite nord du chenal)			
14h54 -		61	110,7	10,18
14h55	Mesures à 1,5 m sous la surface	54	105,1	10,18
14h56		52	105,1	10,23
15h04		54	110,7	10,18
15h05		63	99,5	10,14
15h06	Mesures à 7 m sous la surface	56	110,7	10,23
15h07		59	105,1	10,32
15h08		50	110,7	10,23

Dès le début du baissant, les intensités des courants s'élèvent de façon marquée. Pendant près de 8 heures, ils vont maintenir ces intensités. On note maintenant que les eaux se refroidissent à cette position.

	POSITION 2 (limite chenal-estran)			
	Profondeur totale: 2,1 m			
14h36		45	65,9	9,63
14h37	Mesures à 0,8 m sous la surface	38	54,7	9,63
14h38		42	65,9	9,63
14h39		45	60,3	9,59
14h41		45	32,3	9,63
14h42	Mesures à 1,7 m sous la surface	45	26,7	9,63
14h43		51	26,7	9,68

Les mesures du fond paraissent beaucoup trop atténuées par rapport à celles de surface (il s'agit probablement d'erreurs de mesures). Tout comme dans le chenal, aucune stratification n'est observée. La température des eaux s'est abaissée de près de 0,5°C en 2 heures.

VITESSES SUR LA SECTION DU QUAI DE LOTBINIERE

MI-BAISSANT

HNE	Remarques	direction vraie	vitesse cm/s	température °C
	POSITION 3 (sur l'estran, au tiers à partir du large) Profondeur totale: 1,6 m			
14h24		33	21,1	8,58
14h25	Mesures à 0,8 m sous la surface	33	26,7	8,76
14h26		47	32,3	8,76

Si les directions sont identiques, les vitesses sont plus faibles qu'au passage précédent. Les températures ont baissé de plus de 1°C à cet endroit.

	POSITION 4 (sur l'estran, au tiers à partir de la rive) Profondeur totale: 1,5 m			
14h12		42	26,7	8,62
14h13	Mesures à 0,8 m sous la surface	36	26,7	8,62
14h14		38	26,7	8,62

Les mêmes remarques qu'à la position 3 s'appliquent; la variation de température est réduite à 0,3°C.

ANNEXE 3

CONTROLE DES CONDITIONS DE MÉLANGE
DES EAUX AU MOMENT DE LA PRISE DES
IMAGES DE TÉLÉDÉTECTION

mesurées par les "CONSULTANTS SAINT-LAURENT"

A.3.1 Présentation

Le 25 octobre 1986, les conditions du mélange des eaux ont été mesurées en surface dans la partie amont du domaine étudié. Deux transects étaient contrôlés l'un après l'autre avec une embarcation munie d'un système de positionnement très précis. Sur chaque transect, on a mesuré la température et la conductivité des eaux à un mètre sous la surface au moment de la marée basse, au milieu du montant, à marée haute et au milieu du baissant.

Les positions mesurées ont été transcrites en coordonnées UTM pour la zone 18 à partir de positions de référence fournies par la section Arpentage et nivellement de la Garde Côtière Canadienne. En chaque point, la température mesurée est précise à $2.10^{-2}^{\circ}\text{C}$ et la conductivité à 4.10^{-6}mho/cm .

Le baissant durant environ 8 heures dans cette partie de l'estuaire, on a profité de la période entre la marée haute et le milieu du baissant pour mesurer les conditions du mélange des eaux sur deux transects allant du chenal de navigation à la rive nord, l'un à l'amont de l'embouchure de la Sainte-Anne et l'autre en aval. Les transects étudiés sont décrits à la figure A.3.1; les périodes de mesures sont représentées sur la courbe marégraphique de la figure A.3.2.

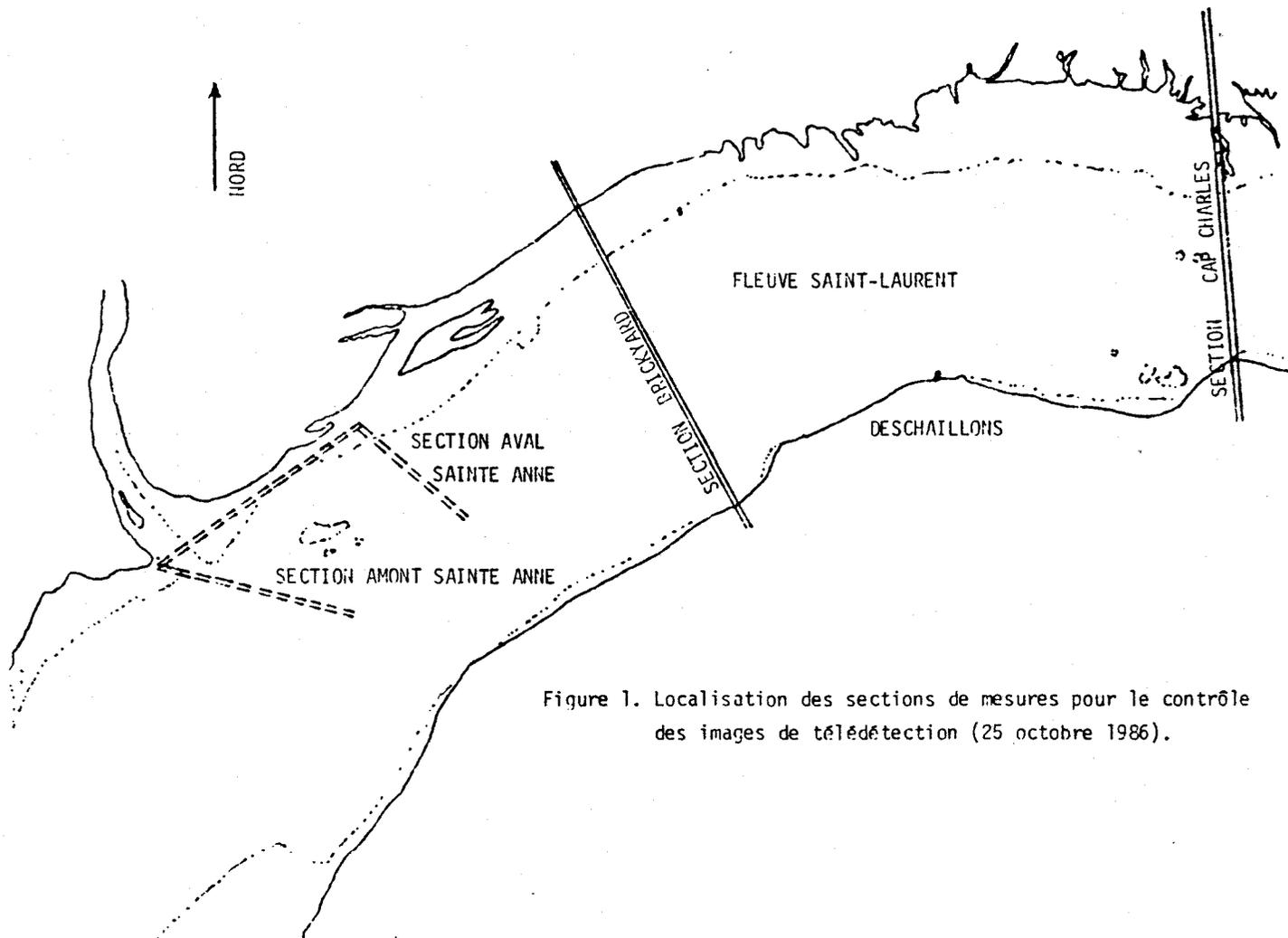


Figure 1. Localisation des sections de mesures pour le contrôle des images de télédétection (25 octobre 1986).

Figure A.3.1 Localisation des sections de mesures pour le contrôle des images de télédétection (25 octobre 1986).

SECTION CAP CHARLES (aval de Deschaillons)

MAREE BASSE

HNE	UTM Nord	UTM Est	Température	Conductivité
10h14	5 160 451 m	724 334 m	9,40° C	200 micromhos/cm
10h15	614	427	9,91	207
10h16	747	524	10,39	207
10h17	871	605	10,12	198
10h18	996	621	9,67	170
10h19	5 161 117	627	9,40	150
10h20	221	624	8,99	125
10h21	321	628	7,98	110
10h22	426	626	8,42	92
10h23	524	627	8,00	72
10h24	614	602	7,35	59
10h25	694	569	6,71	45

Les mesures ont été prises de la rive sud vers la rive nord.

SECTION BRICKYARD (amont de Deschaillons)

MAREE BASSE

HNE	UTM Nord	UTM Est	Température	Conductivité
09h39	5 160 469 m	719 102 m	9,43° C	140 micromhos/cm
09h43	160	718 949	8,84	140
09h44	259	822	8,80	125
09h45	319	787	7,50	112
09h46	365	729	8,25	100
09h47	426	663	7,80	85
09h48	467	589	7,45	65
09h49	470	519	7,12	60
09h50	456	467	7,22	60
09h51	497	394	7,22	60
09h52	472	344	7,22	60
09h53	503	286	7,22	60
09h59	5 160 052	718 958	9,72	160
10h01	5 159 895	719 169	10,44	170
10h02	853	227	10,30	200

Les mesures ont été prises du chenal vers la rive nord. Les trois dernières mesures sont prises à nouveau dans le chenal de navigation.

SECTION BRICKYARD (amont de Deschaillons)

MILIEU DU MONTANT

HNE	UTM Nord	UTM Est	Température	Conductivité
11h07	5 159 701 m	719 182 m	10,22° C	210 micromhos/cm
11h08	711	211	10,22	210
11h09	775	131	10,22	198
11h10	846	073	10,05	180
11h11	937	718 999	9,65	165
11h12	5 160 021	918	9,55	155
11h13	075	848	9,26	138
11h14	182	785	8,96	120
11h15	325	726	8,55	95
11h16	475	646	7,88	65
11h17	610	578	7,22	50

Les mesures ont été prises de la rive sud vers la rive nord.

SECTION CAP CHARLES (aval de Deschaillons)

MILIEU DU MONTANT

HNE	UTM Nord	UTM Est	Température	Conductivité
11h38	5 160 388 m	723 816 m	9,30° C	200 micromhos/cm
11h39	458	833	9,30	200
11h40	575	836	9,67	210
11h42	809	937	10,32	198
11h43	967	988	10,24	188
11h44	5 161 051	724 037	9,96	177
11h45	147	073	9,86	165
11h46	264	086	9,48	150
11h48	483	084	8,87	115
11h49	584	113	8,42	85
11h50	711	138	7,60	58
11h51	839	094	5,96	34
11h52	922	072	5,50	30

Les mesures ont été prises de la rive sud vers la rive nord.

SECTION BRICKYARD (amont de Deschaillons)

MAREE HAUTE

HNE	UTM Nord	UTM Est	Température	Conductivité
13h55	5 159 540 m	719 360 m	9,58° C	182 micromhos/cm
13h56	599	356	9,92	190
13h57	659	339	10,22	190
13h58	782	286	10,28	189
13h59	918	171	10,04	172
14h00	5 160 074	126	9,87	189
14h01	206	073	9,54	175
14h02	280	718 988	9,98	162
14h03	459	922	9,22	135
14h04	543	879	8,73	123
14h05	679	845	8,38	112
14h07	834	888	8,22	100
14h08	901	826	8,10	98
14h09	949	752	7,88	92
14h10	5 161 023	668	7,72	87
14h11	094	596	7,04	75
14h12	182	536	6,40	60
14h13	261	449	6,37	52

Les mesures ont été prises de la rive sud vers la rive nord.

SECTION CAP CHARLES (aval de Deschaillons)

MAREE HAUTE

HNE	UTM Nord	UTM Est	Température	Conductivité
14h33	5 160 498 m	723 842 m	9,75° C	200 micromhos/cm
14h34	603	863	10,08	200
14h35	759	939	10,36	192
14h36	900	992	10,24	185
14h38	5 161 169	724 045	9,75	162
14h39	287	034	9,67	149
14h40	391	044	9,36	139
14h41	517	032	9,75	120
14h42	699	056	8,17	75
14h43	804	723 993	7,55	55
14h44	903	916	6,64	42
14h45	999	860	6,07	35
14h46	5 162 091	805	5,78	35

SECTION AMONT DE LA SAINTE ANNE

DEBUT DU BAISSANT

HNE	UTM Nord	UTM Est	Température	Conductivité
15h51	5 156 748 m	716 675 m	10,05° C	300 micromhos/cm
15h52	863	601	10,05	297
15h53	5 157 031	521	10,44	297
15h54	134	438	10,45	287
15h55	177	334	10,46	282
15h56	203	262	10,30	280
15h57	229	164	10,30	272
16h00	387	715 898	10,16	255
16h02	549	702	10,10	242
16h04	658	574	10,05	230
16h06	808	444	9,86	215
16h08	931	290	9,58	198
16h09	5 158 040	154	9,01	165
16h10	094	077	8,69	143
16h11	142	714 991	8,44	127
16h12	170	944	8,44	115
16h13	213	899	8,06	100
16h14	258	815	7,70	80
16h15	296	751	6,58	50
16h16	329	682	6,62	45
16h17	345	622	6,84	42
16h18	376	560	7,05	45

Les mesures commencent dans le chenal et se terminent à 50 m de la rive nord juste en amont de l'embouchure de la Sainte Anne.

SECTION AVAL DE LA SAINTE ANNE

DEBUT DU BAISSANT

HNE	UTM Nord	UTM Est	Température	Conductivité
16h20	5 158 418 m	714 710 m	6,81° C	36 micromhos/cm
16h22	494	997	6,60	35
16h25	715	715 227	7,37	50
16h26	847	393	7,05	45
16h27	912	414	6,75	37
16h28	5 159 021	388	5,77	30
16h29	078	418	6,03	30
16h30	118	456	5,92	28
16h31	111	520	6,95	35
16h31 30s	116	599	7,35	50
16h32	120	676	7,53	55
16h33	147	737	7,66	60
16h33 30s	142	830	7,83	65
16h35	074	716 003	7,98	70
16h37	031	299	8,18	80
16h38	173	445	8,36	90

Les mesures prises de 16h20 à 16h30 étaient situées devant l'embouchure de la rivière. A partir de 16h31, le transect aval perpendiculaire à la rive commence.

SECTION BRICKYARD (amont de Deschaillons)

MILIEU DU BAISSANT

HNE	UTM Nord	UTM Est	Température	Conductivité
17h03	5 160 505 m	718 750 m	8,42°C	90 micromhos/cm
17h04	466	859	8,60	107
17h05	423	947	8,68	115
17h06	390	719 026	9,08	130
17h07	361	114	9,40	153
17h08	336	190	9,46	162
17h09	293	293	9,75	170
17h12	210	587	10,38	195

Les mesures ont été prises de la rive nord jusqu'au centre du chenal (à l'inverse des autres passages).

SECTION CAP CHARLES (aval de Deschaillons)

MILIEU DU BAISSANT

HNE	UTM Nord	UTM Est	Température	Conductivité
17h30	5 160 870 m	723 915 m	10,22° C	195 micromhos/cm
17h32	945	943	10,22	195
17h33	5 161 032	987	9,93	185
17h34	114	724 043	9,65	172
17h35	214	137	9,39	170
17h36	291	190	9,20	155
17h37	332	242	9,20	145
17h38	400	293	8,95	125
17h39	449	351	8,78	115
17h40	522	426	8,54	105
17h42	582	538	8,14	80
17h43	658	574	7,54	60

ANNEXE 4

TRAITEMENT NUMÉRIQUE D'IMAGES ACQUISES
PAR LES CAPTEURS AÉROPORTÉS MEIS ET DAEDALUS

PAR: Clément Dubé et Jean-Pierre Fortin, INRS-Eau

Objectif: Effectuer le traitement numérique d'images acquises dans le visible (MEIS) et l'infrarouge thermique (Daedalus) de façon à faire ressortir le panache des rivières Batiscan et Sainte-Anne dans le fleuve St-Laurent et aider à identifier les zones d'instabilité et de circulations secondaires (tourbillons).

Données:

1. Caractéristiques principales des capteurs

1.1 MEIS

1.1.1 Bandes spectrales $\lambda(\mu)$

0	0.7349	-	0.7671
1	0.7586	-	0.7954
2	0.8479	-	0.9022
3	0.6226	-	0.6594
4	0.5795	-	0.6145
5	0.5060	-	0.5300
6	0.4030	-	0.4331
7	0.5333	-	0.5646

1.1.2 Angle d'ouverture: 0.6 milliradian

1.2 Daedalus

1.2.1 Bandes spectrales $\lambda(\mu)$

11	4.5	-	5	infrarouge moyen
12	8	-	13	infrarouge thermique

1.2.2 Angle d'ouverture: 2,09 milliradians

2. Caractéristiques principales des survols

2.1 Altitude: 8230 m approximativement

2.2 Dimensions des pixels sur les documents fournis

MEIS : 10 m

Daedalus : 17 m

2.3 Heures et capteurs utilisés (le 25 octobre 1986)

2.3.1 Marée basse: 10h25 (MEIS et Daedalus)

2.3.2 Marée mi-montante: 12h25 (MEIS et Daedalus)

2.3.3 Marée haute: 14h50 (MEIS et Daedalus)

2.3.4 Marée mi-baissante: 18h40 (Daedalus)

Systèmes de traitement numérique utilisés

Les données ont été traitées sur le système de traitement numérique ARIES III de DIPIX relié à un ordinateur VAX 780, à l'INRS-Eau. Elles ont été par la suite transférée à un micro-ordinateur IBM PC/AT et imprimés sur papier par une imprimante couleur IBM Color Jet Printer 3852.

Traitement numérique particulier des données de chaque capteur

1. Données MEIS

Parmi les bandes spectrales disponibles, les bandes 0, 3 et 5 ont été retenues pour les deux premiers survols et les bandes 2, 3 et 5 pour le dernier. Elles correspondent approximativement aux bandes 1, 2 et 3 du satellite français SPOT ou aux bandes 2, 3 et 4 du capteur Thematic Mapper du satellite américain LANDSAT 5 (fig. A.4.1). La composition colorée obtenue permet de distinguer nettement les surfaces d'eau (teintes de bleu) des surfaces nues ou couvertes de végétation (teintes claires à tendance rouge ou jaune). On peut ainsi suivre l'évolution des surfaces couvertes ou non par l'eau dans le cycle des marées. Les conditions limites du modèle d'éléments finis peuvent ainsi être mieux estimées, ce qui améliore les résultats d'autant. Par ailleurs, des variations de teintes des surfaces en eau peuvent aussi être notées. Ainsi, le chenal est d'un bleu plus pur que le reste du fleuve. La zone turquoise du côté sud du fleuve en face de l'embouchure de la rivière Batiscan correspond aux battures Saint-Pierre. D'autres zones claires ou sombres longent la rive nord ou la rive sud. Elles sont dues à des hauts fonds ou aux solides en suspension. Ceci met en évidence le potentiel de ces bandes spectrales dans l'étude de la bathymétrie.

2. Données Daedalus

Uniquement la bande spectrale de 8 à 13 μ a été utilisée. L'information contenue sur 8 bits a d'abord été réduite à 4 bits afin de délimiter des plages discrètes de températures. Le capteur étant par ailleurs affligé d'un bruit linéaire de balayage, il a été nécessaire de filtrer ce bruit. On a par la suite attribué des couleurs à chacune des 16 teintes de gris obtenues par réduction de l'information de 8 à 4 bits. Sachant que la gamme de températures observées sur le fleuve variait approximativement de 5 à 10°C, nous avons défini de 7 à 11 plages (intervalles) de températures.

De manière à faciliter l'interprétation visuelle permettant de séparer les eaux de la rivière Ste-Anne de celles de la rivière Batiscan de celles du fleuve, nous avons gardé les mêmes teintes pour chacun des survols. Ces teintes correspondent donc à des températures différentes selon le survol.

En général, l'eau se réchauffe d'environ 5°C en passant du bleu foncé au bourgogne. La rivière Sainte-Anne apparaît en bleu foncé et la rivière Batiscan prend les autres teintes de bleu. On note que les eaux les plus chaudes correspondent à celles du chenal. Les données au sol indiquent par-ailleurs une forte corrélation entre les données de conductivité et celles de température, les eaux les plus froides étant les moins conductrices. Ainsi, la conductivité augmente d'environ 30 à 40 μ mhos à plus de 200 μ mhos lorsque l'on passe de 5° à 10°C, c'est-à-dire du bleu foncé au bourgogne.

LISTE DES DIAPOSITIVES

T21		
T22		
T23	MARÉE BASSE (10h25) THERMIQUE (8-13 μ m)	
T24		
T25		
T26		
T27	MARÉE MI-MONTANTE (12h25) THERMIQUE (8-13 μ m)	
T28		
T29		
T30		
T31		
T32	MARÉE HAUTE (12h45) THERMIQUE (8-13 μ m)	
T33		
T34		
T35		
T36	MARÉE MI-BAISSANTE (18h45) THERMIQUE (8-13 μ m)	
T37		
T 8	NOIR ET BLANC	MARÉE BASSE (10h25) THERMIQUE
T13	COULEURS	
T 9	NOIR ET BLANC	MARÉE MI-MONTANTE (12h25) THERMIQUE
T16	COULEURS	
T10	NOIR ET BLANC	MARÉE HAUTE (14h45) THERMIQUE
T18	COULEURS	
T11	NOIR ET BLANC	MARÉE MI-BAISSANTE (18h45) THERMIQUE
T20	COULEURS	

V 2

V 5

V 7

V 9 MARÉE BASSE (10h25)

V11 VISIBLE

V12

V15

V17

V19

V21

V22 MARÉE MI-MONTANTE (12h25)

V25 VISIBLE

V28

V30

V32

V33

V36 MARÉE HAUTE (14h45)

V38 VISIBLE

V2a

V2b

MARÉE BASSE

COULEUR	TEMPÉRATURE (°C)
Bourgogne	10.01 - 10.50 et +
Rouge	8.83 - 10.00
Orange	8.50 - 8.82
Jaune	7.30 - 8.49
Jaune-verdâtre	7.15 - 7.29
Vert	7.00 - 7.14
Bleu pâle	6.42 - 6.99
Bleu moyen	5.86 - 6.41
Bleu foncé	5.30 - 5.85

MARÉE MI-MONTANTE

Bourgogne	9.86 - 10.32 et +
Rouge	8.76 - 9.85
Orange	7.56 - 8.75
Jaune	7.20 - 7.55
Vert	6.86 - 7.19
Aqua-marine	6.52 - 6.85
Bleu pâle	6.18 - 6.51
Bleu moyen	5.84 - 6.17
Bleu foncé	5.50 - 5.83

MARÉE HAUTE

COULEUR	TEMPÉRATURE (°C)
Bourgogne	10.28 - 10.45
Rouge	9.98 - 10.27
Orange	9.58 - 9.97
Jaune	9.22 - 9.57
Jaune-vert	8.22 - 9.21
Vert	6.73 - 8.21
Aqua-marine	6.38 - 6.72
Bleu pâle	6.36 - 6.379
Bleu moyen	6.26 - 6.35
Bleu foncé	6.13 - 6.24

MARÉE MI-BAISSANTE

Bourgogne	10.10 - 10.46 et +
Rouge	8.81 - 10.09
Orange	8.45 - 8.82
Jaune	8.06 - 8.44
Vert	6.62 - 8.05
Bleu pâle	6.03 - 6.61
Bleu moyen	5.90 - 6.02
Bleu foncé	5.77 - 5.89

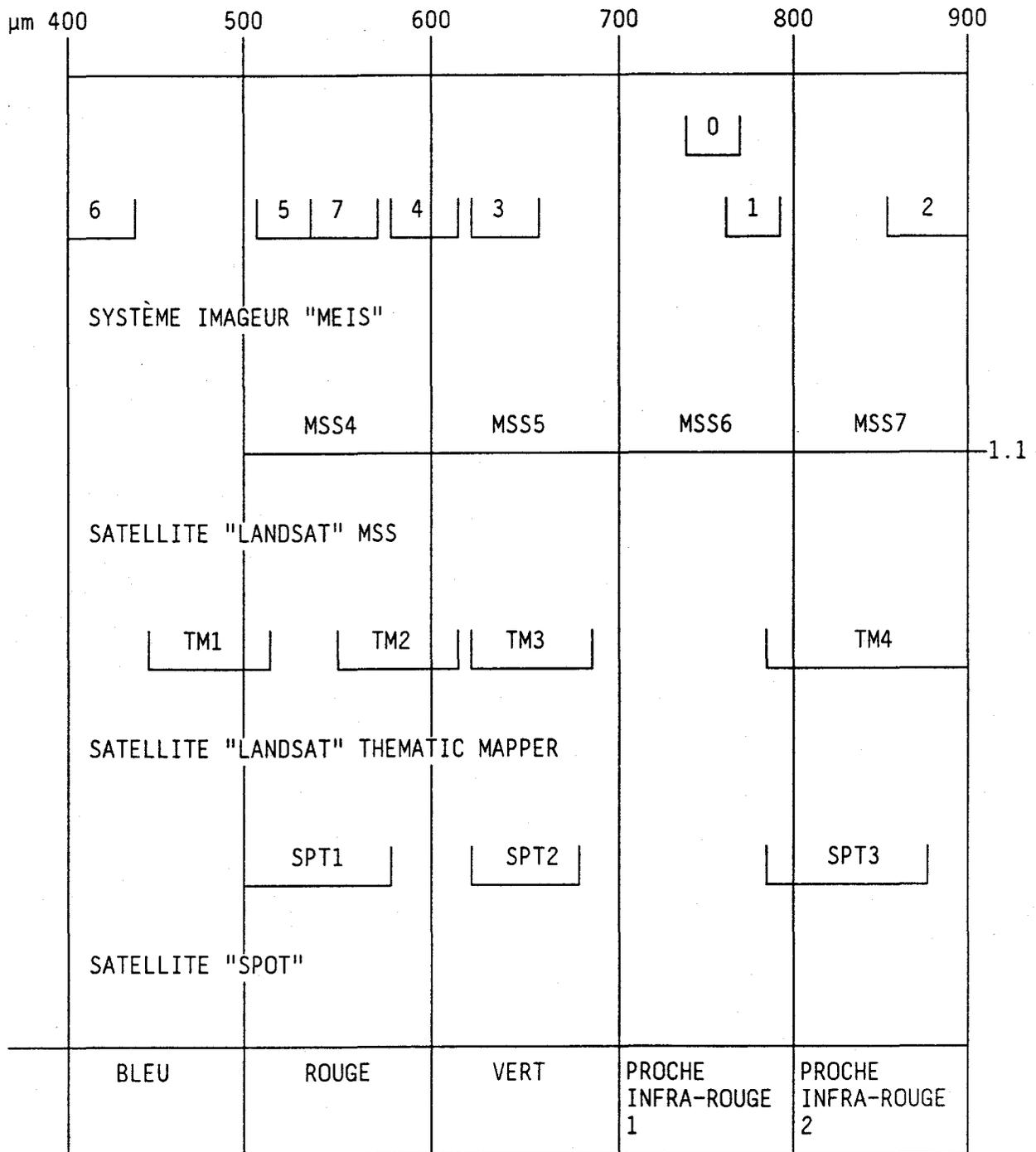


Figure A.4.1 Intervalles spectraux du capteur MEIS en comparaison avec ceux des satellites opérationnels.

ANNEXE 5

RÉSULTATS PARTIELS DU
MODÈLE MEFLU-2.0 -
MODULE D'AUTOMNE -
CONDITIONS ACTUELLES

Note: Le texte de la section 6.8 décrit le comportement hydrodynamique du fleuve illustré dans cette annexe.

LISTE DES PLANCHES

- Planche 1: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 0h après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 2: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 2h après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 3: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 4h après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 4: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 6h après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 5: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 8h après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 6a: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 10h après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 6b: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, détail des vecteurs-courants simulés 10h après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 7a: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 10h30 après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 7b: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, détail des vecteurs courants simulés 10h30 après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 8a: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 11h après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 8b: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, détail des vecteurs-courants simulés 11h après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 9: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 11h30 après la pleine mer inférieure à Grondines.

- Planche 10a: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 12h après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 10b: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, détail des vecteurs-courants simulés 12h00 après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 11a: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 12h30 après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 11b: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, détail des vecteurs-courants simulés 12h30 après la pleine mer inférieure à Grondines.
- Planche 11c: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, détail des vecteurs-courants simulés 12h30 après la pleine mer inférieure à Grondines.

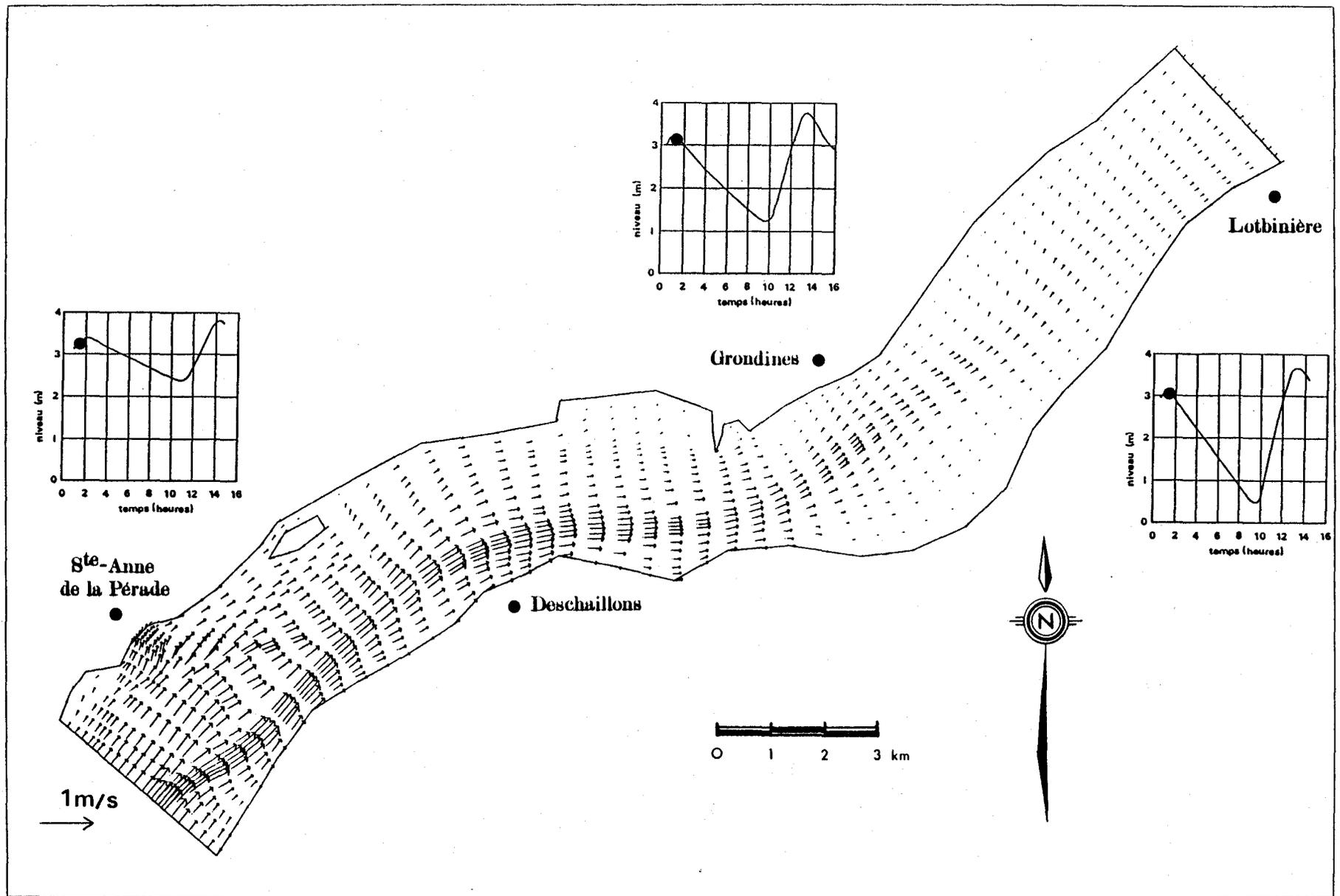


Planche 1: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 0h après la pleine mer inférieure à Grondines.

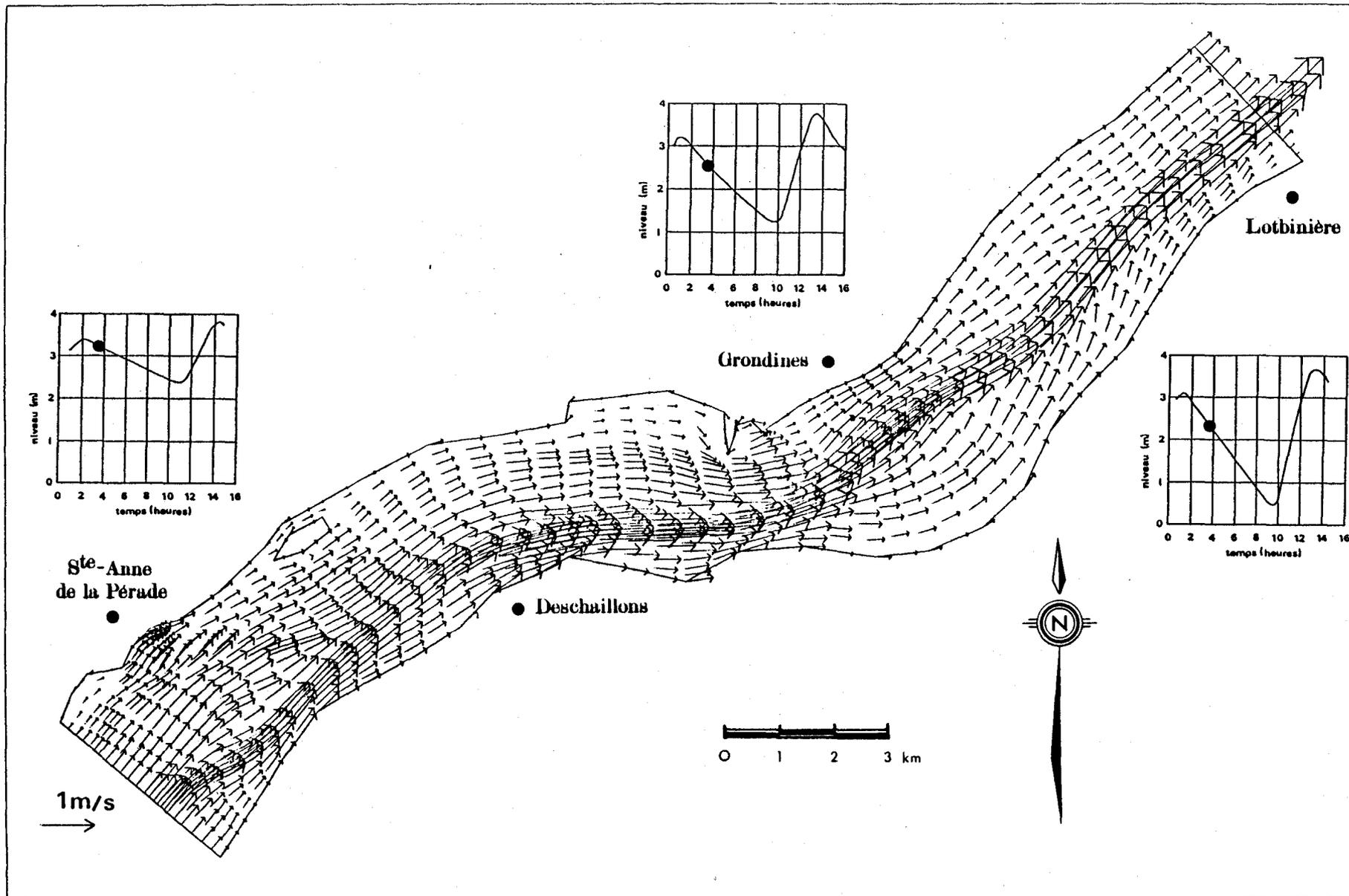


Planche 2: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 2h après la pleine mer inférieure à Grondines.

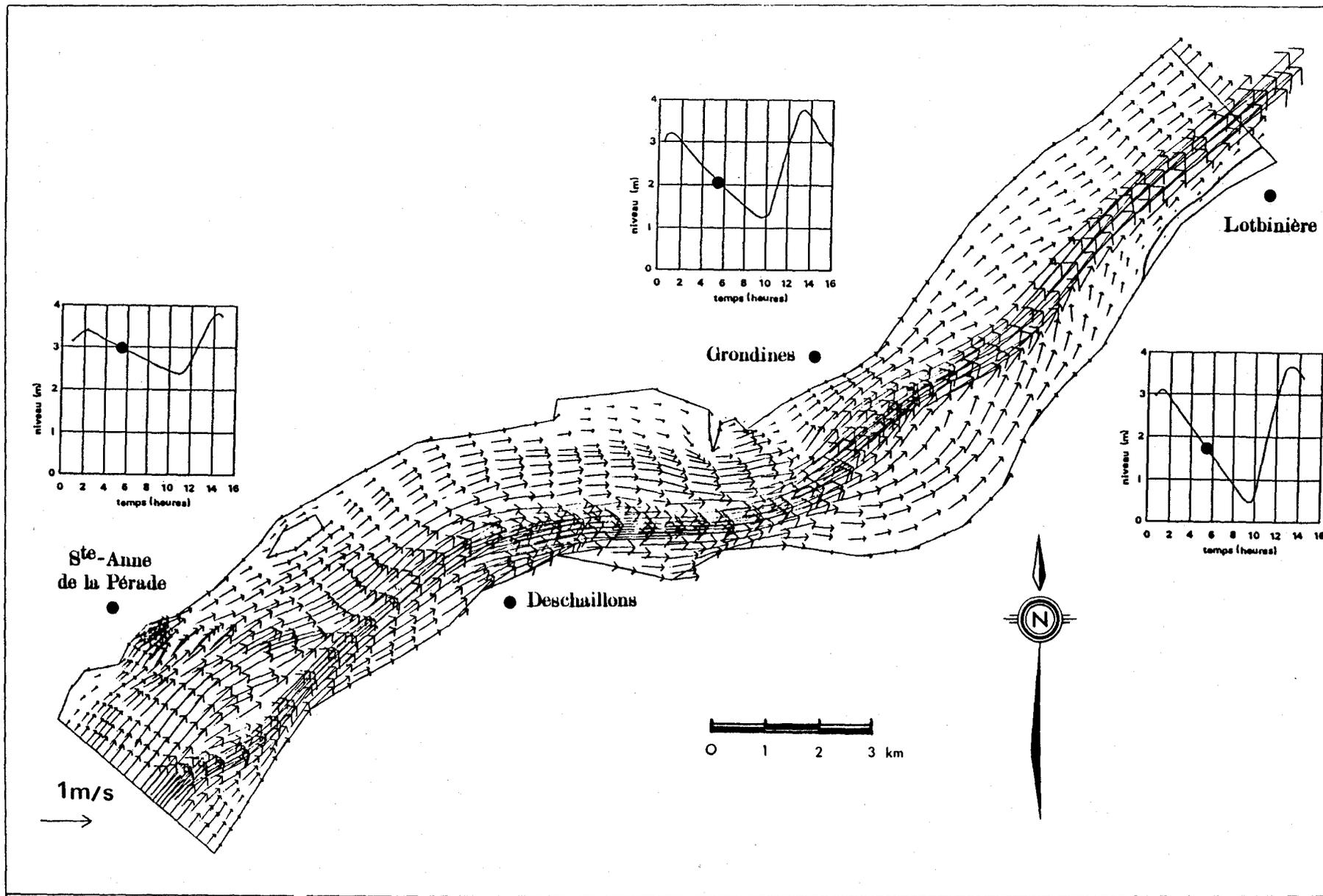


Planche 3: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 4h après la pleine mer inférieure à Grondines.

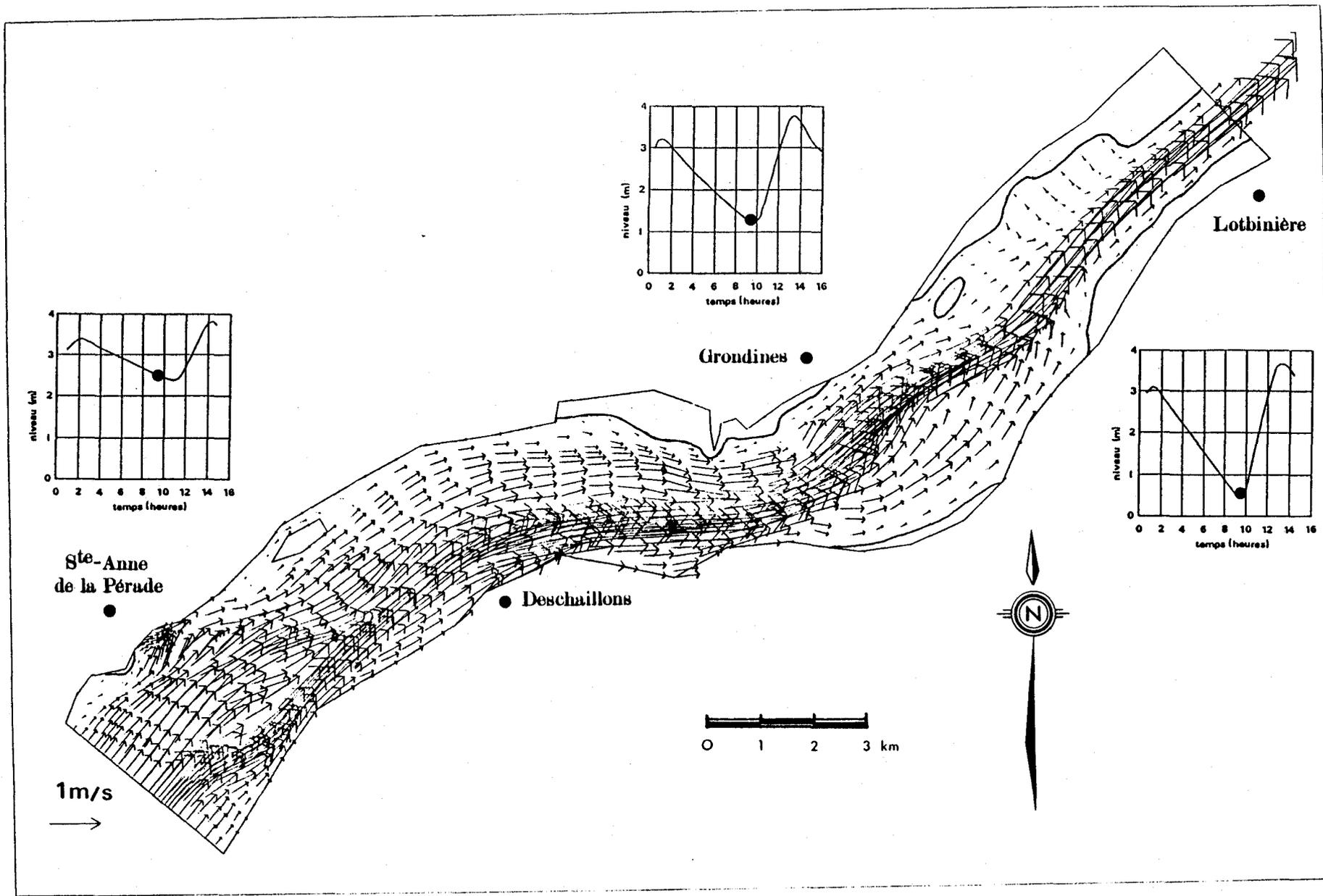


Planche 5: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 8h après la pleine mer inférieure à Grondines.

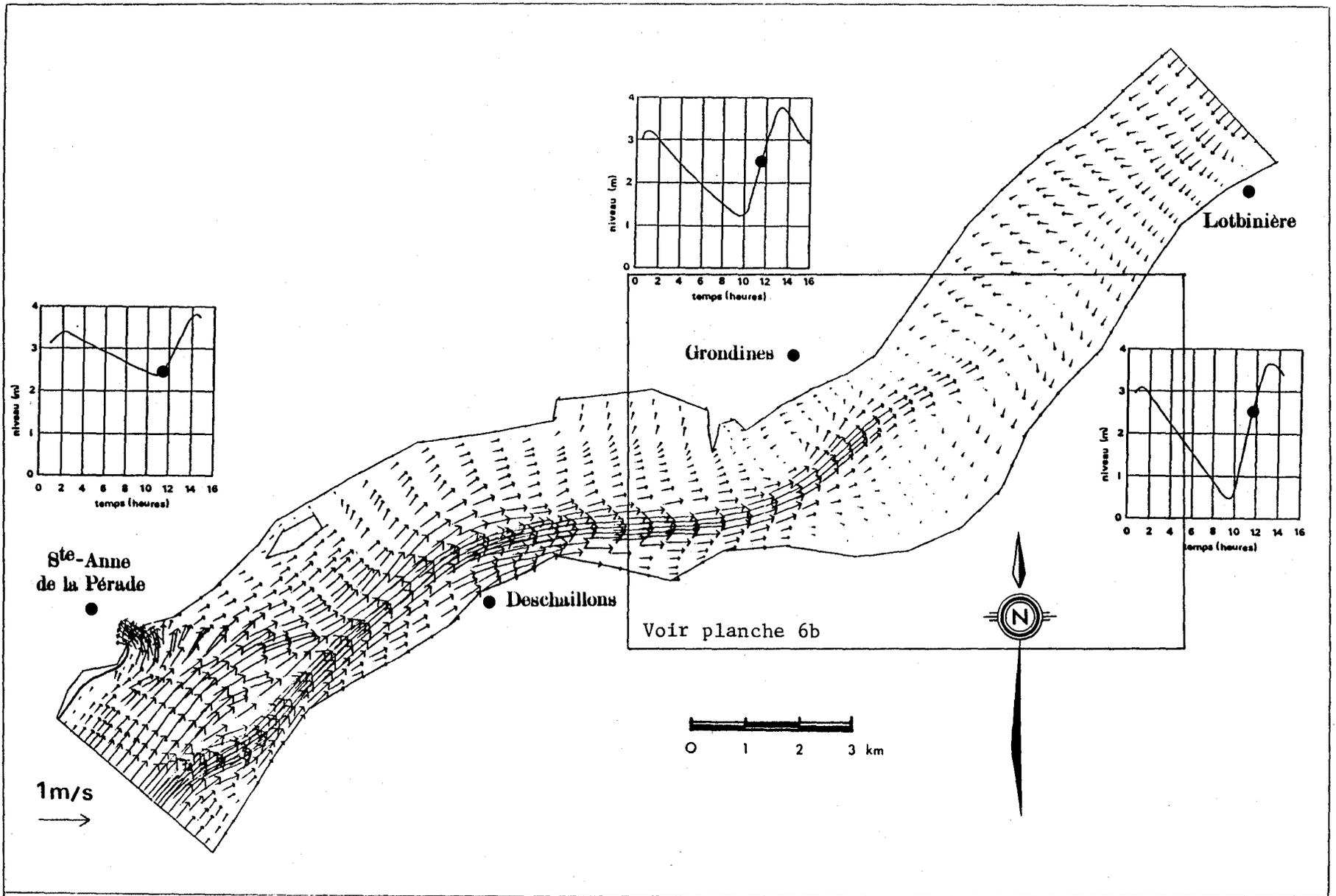


Planche 6a: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 10h après la pleine mer inférieure à Grondines.

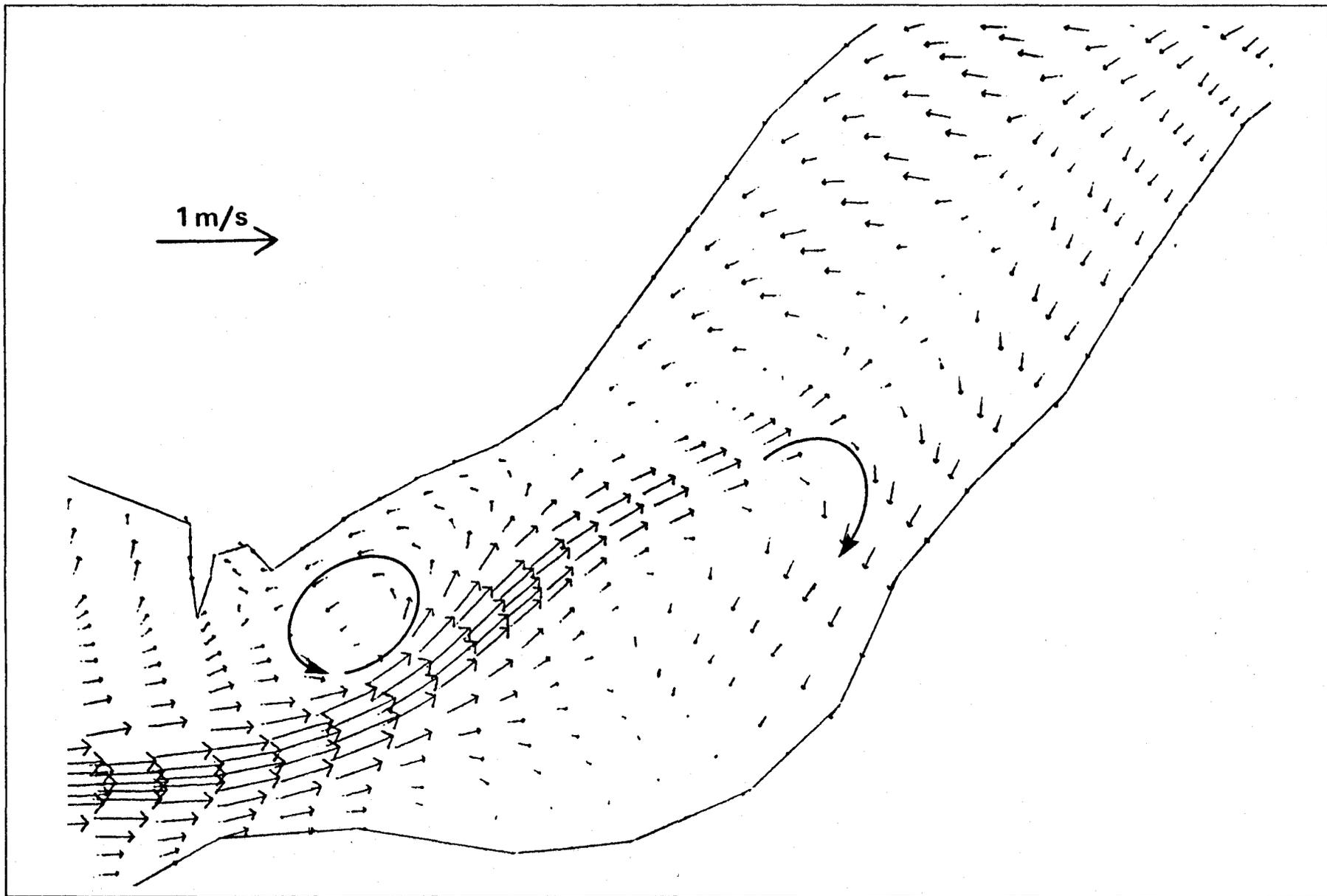


Planche 6b: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, détail des vecteurs-courants simulés 10h après la pleine mer inférieure à Grondines.

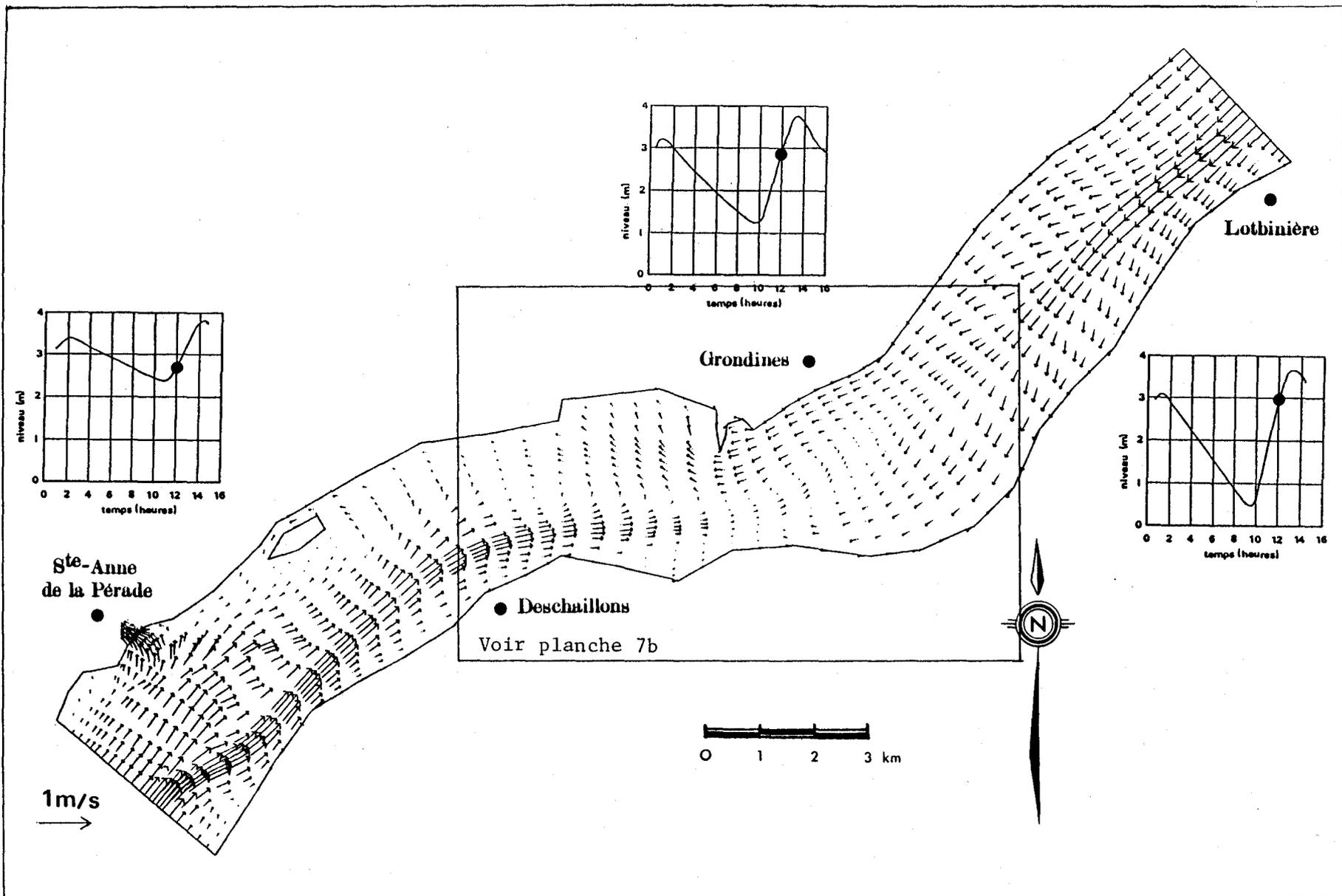


Planche 7a: Fleuve Saint-laurent, de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 10h30 après la pleine mer inférieure à Grondines.

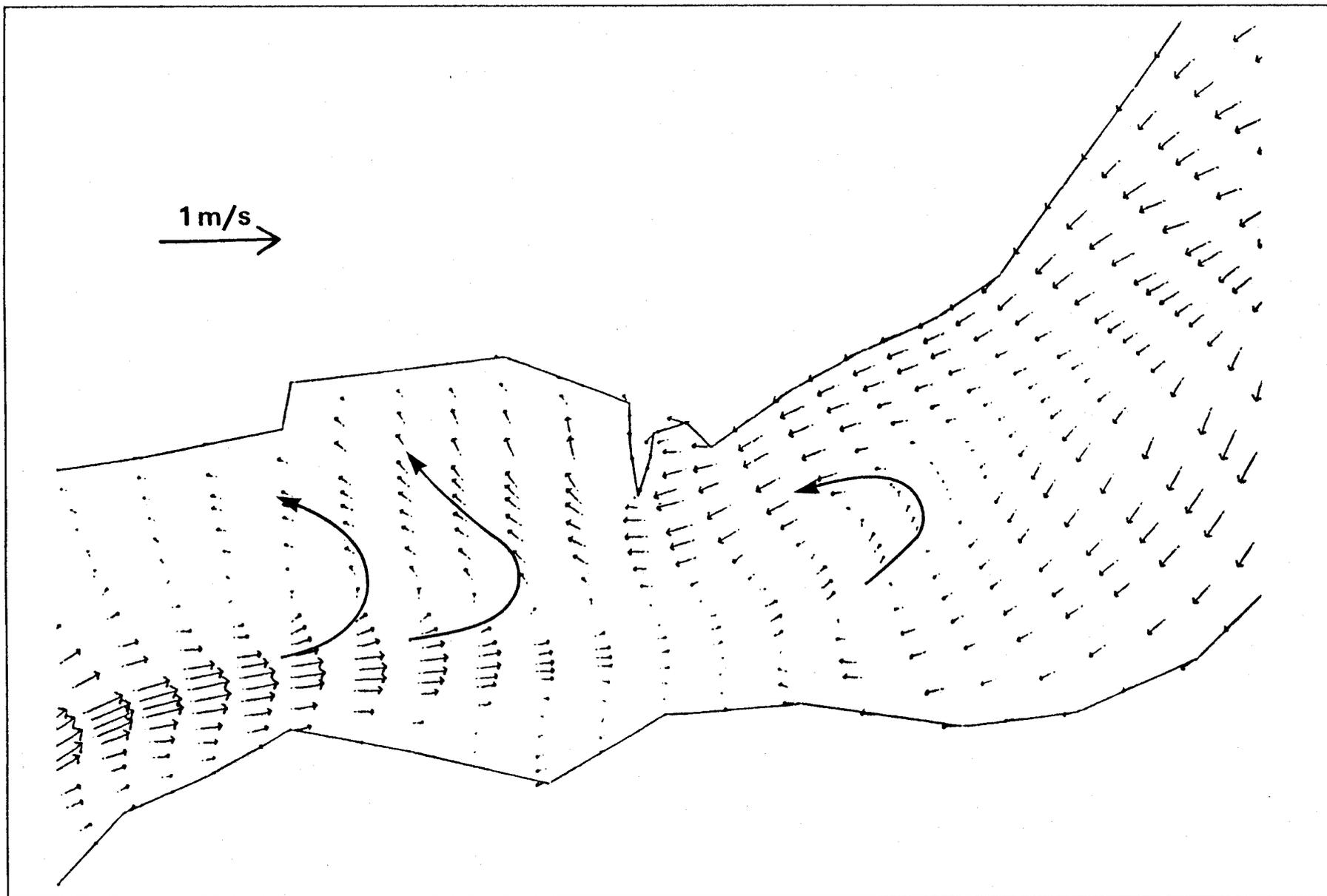


Planche 7b: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, détail des vecteurs courants simulés 10h30 après la pleine mer inférieure à Grondines.

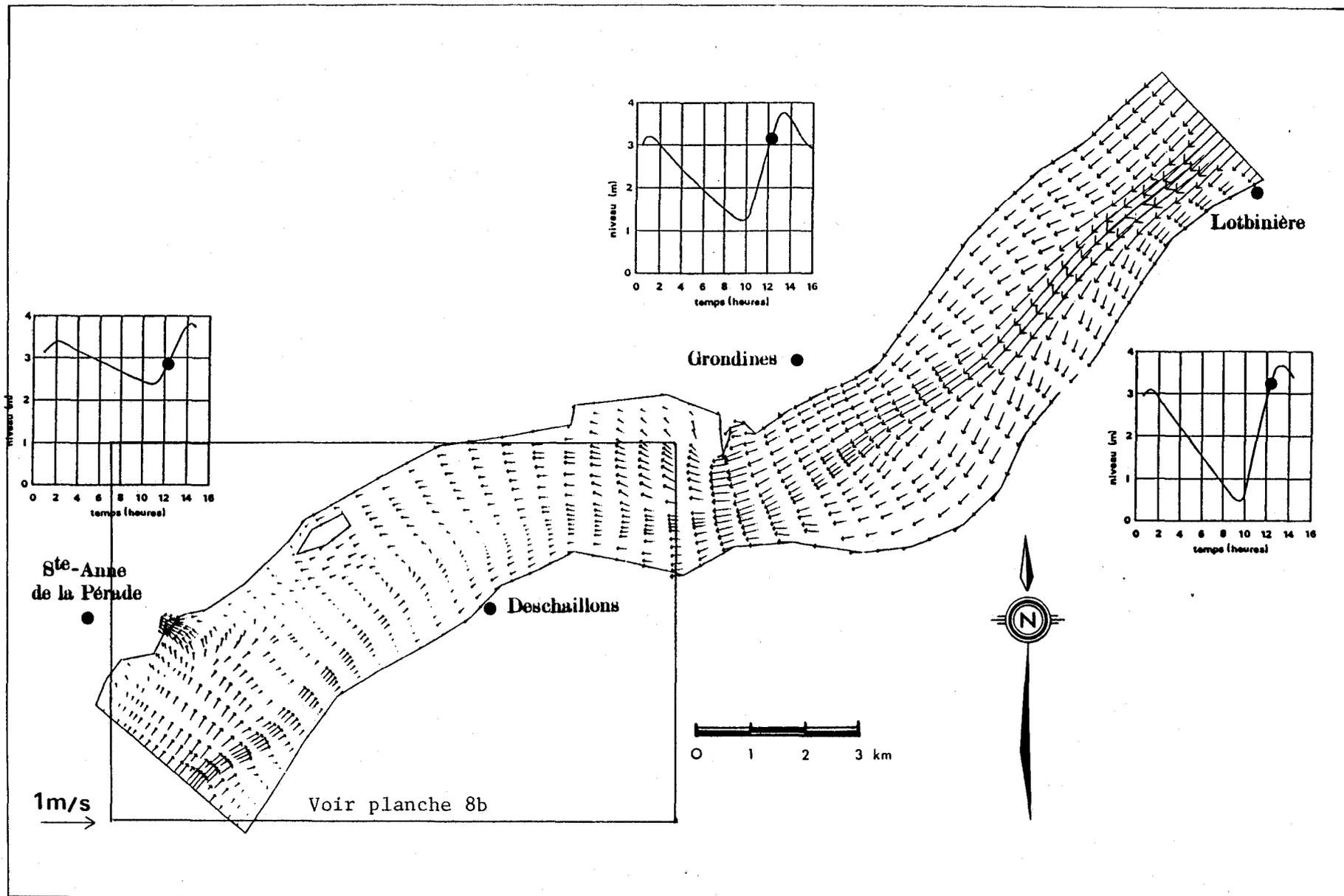


Planche 8a: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 11h après la pleine mer inférieure à Grondines.

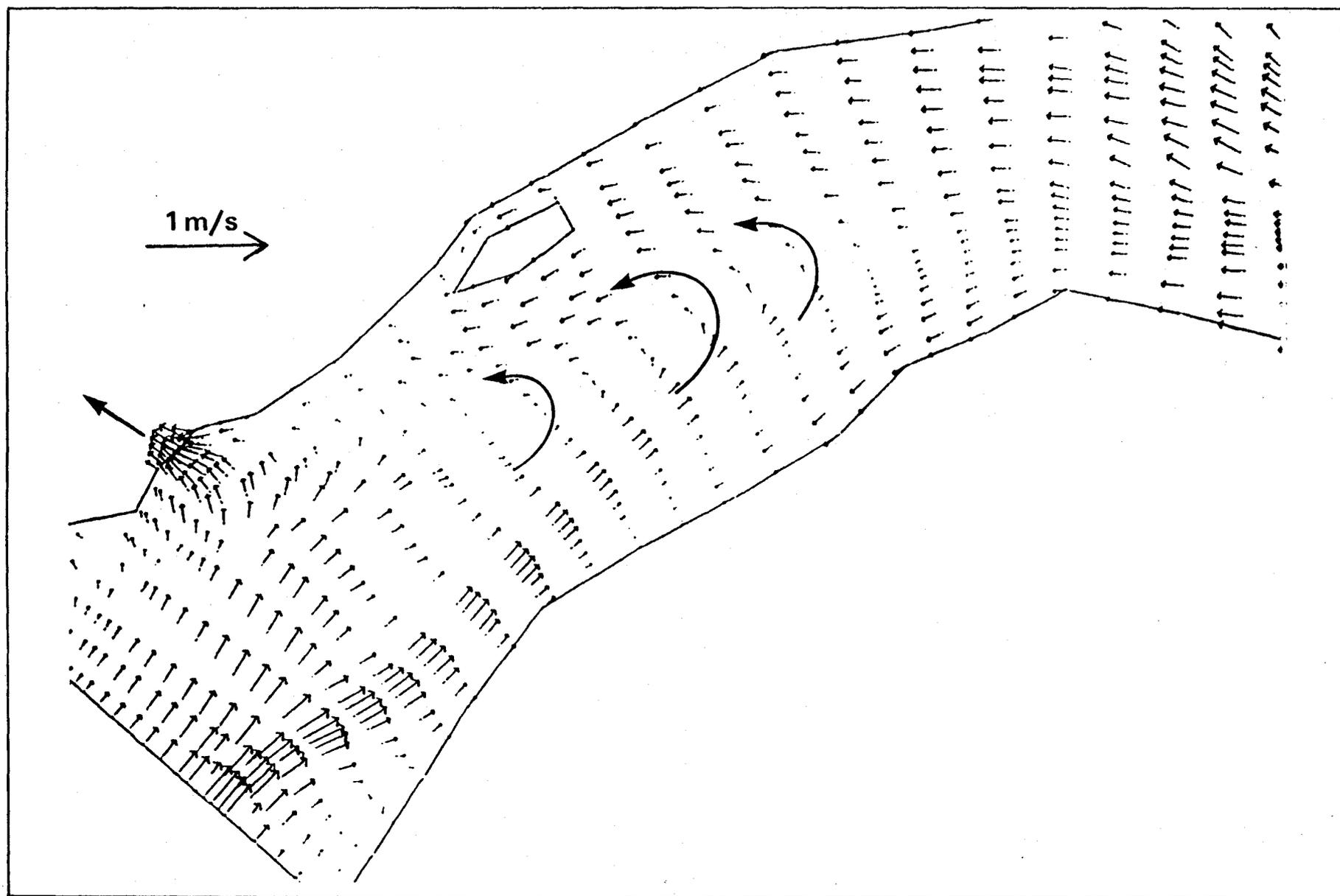


Planche 8b: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, détail des vecteurs-courants simulés 11h après la pleine mer inférieure à Grondines.

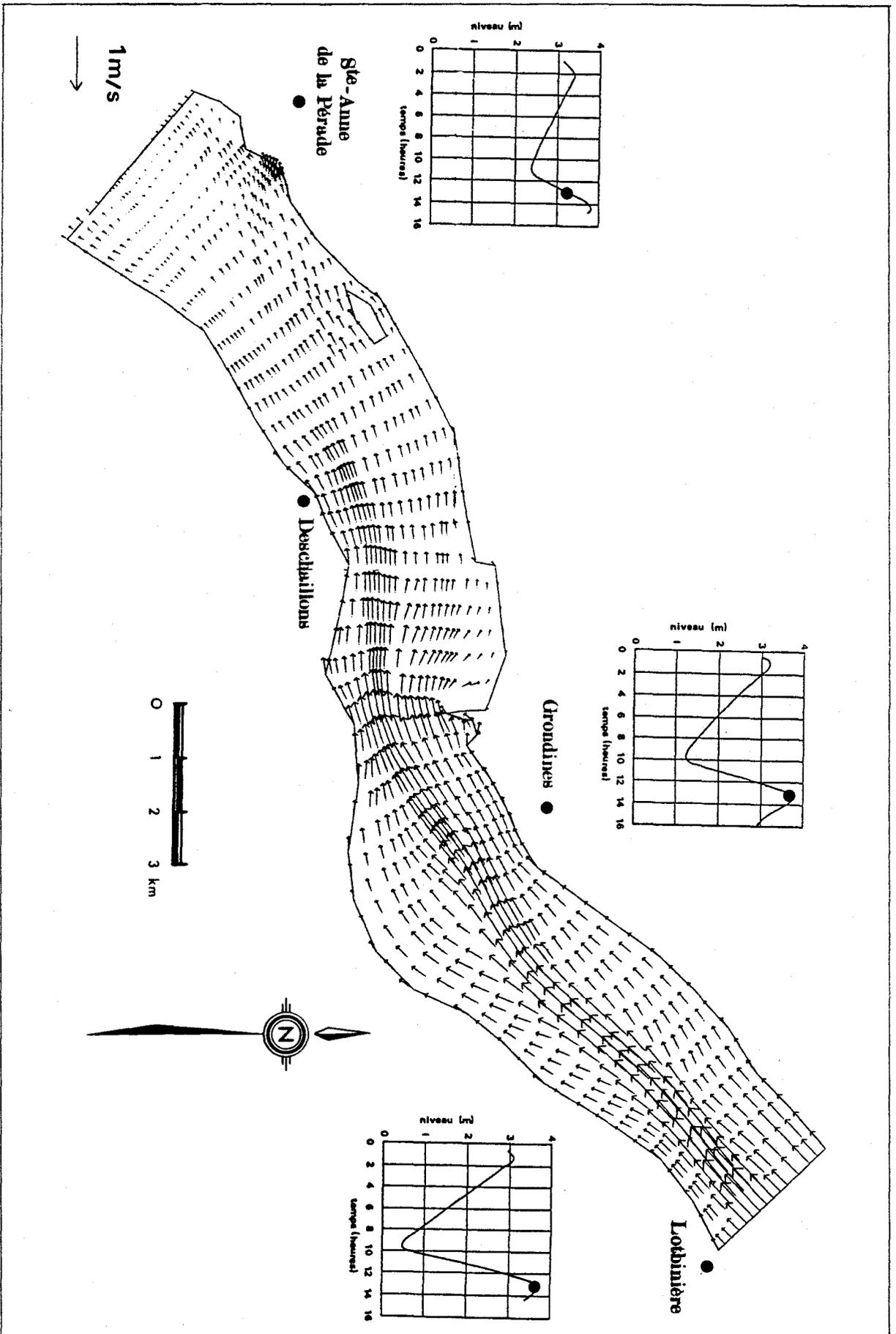
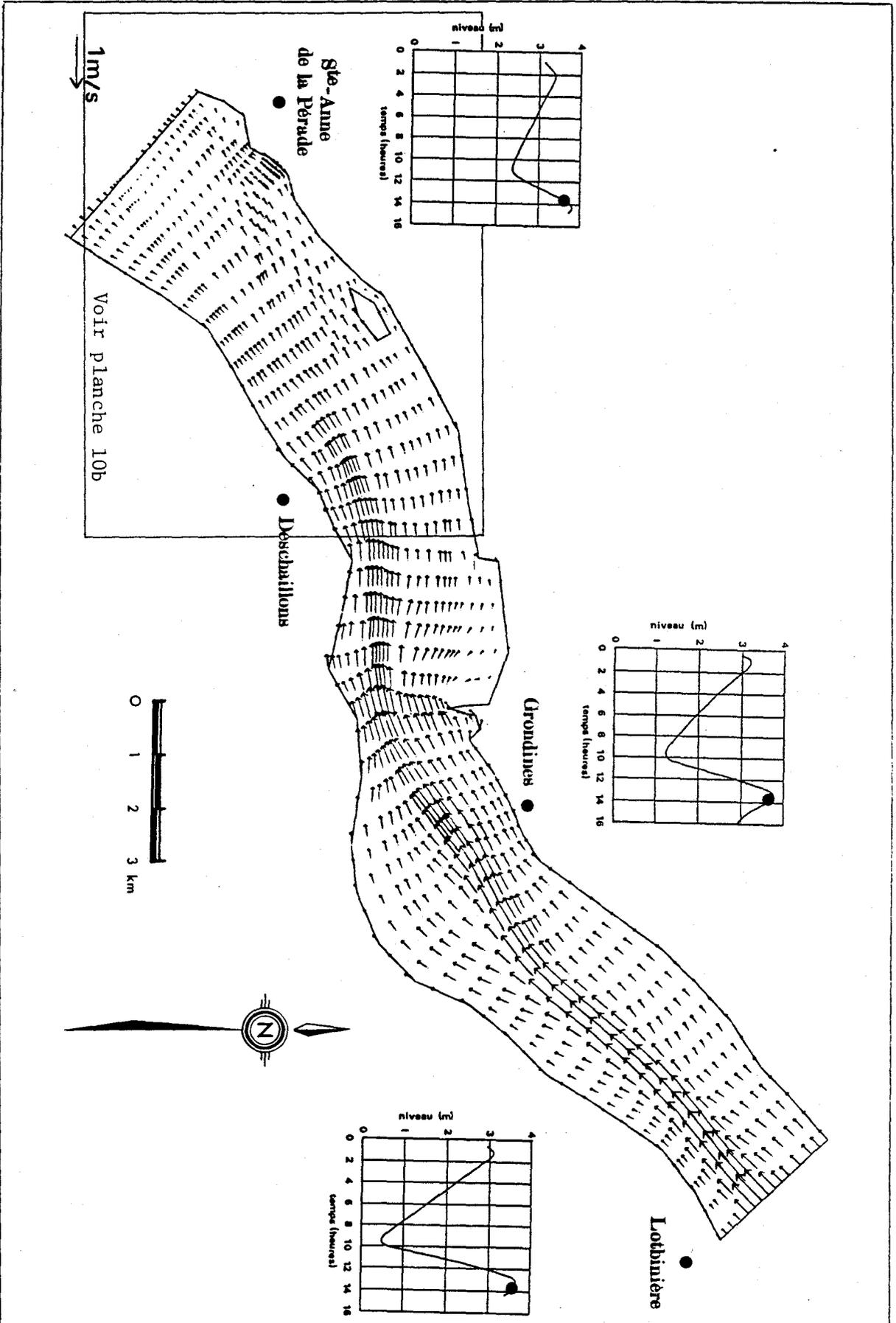


Planche 9: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 11h30 après la pleine mer inférieure à Grondines.

Planche 10a: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 12h après la pleine mer inférieure à Grondines.



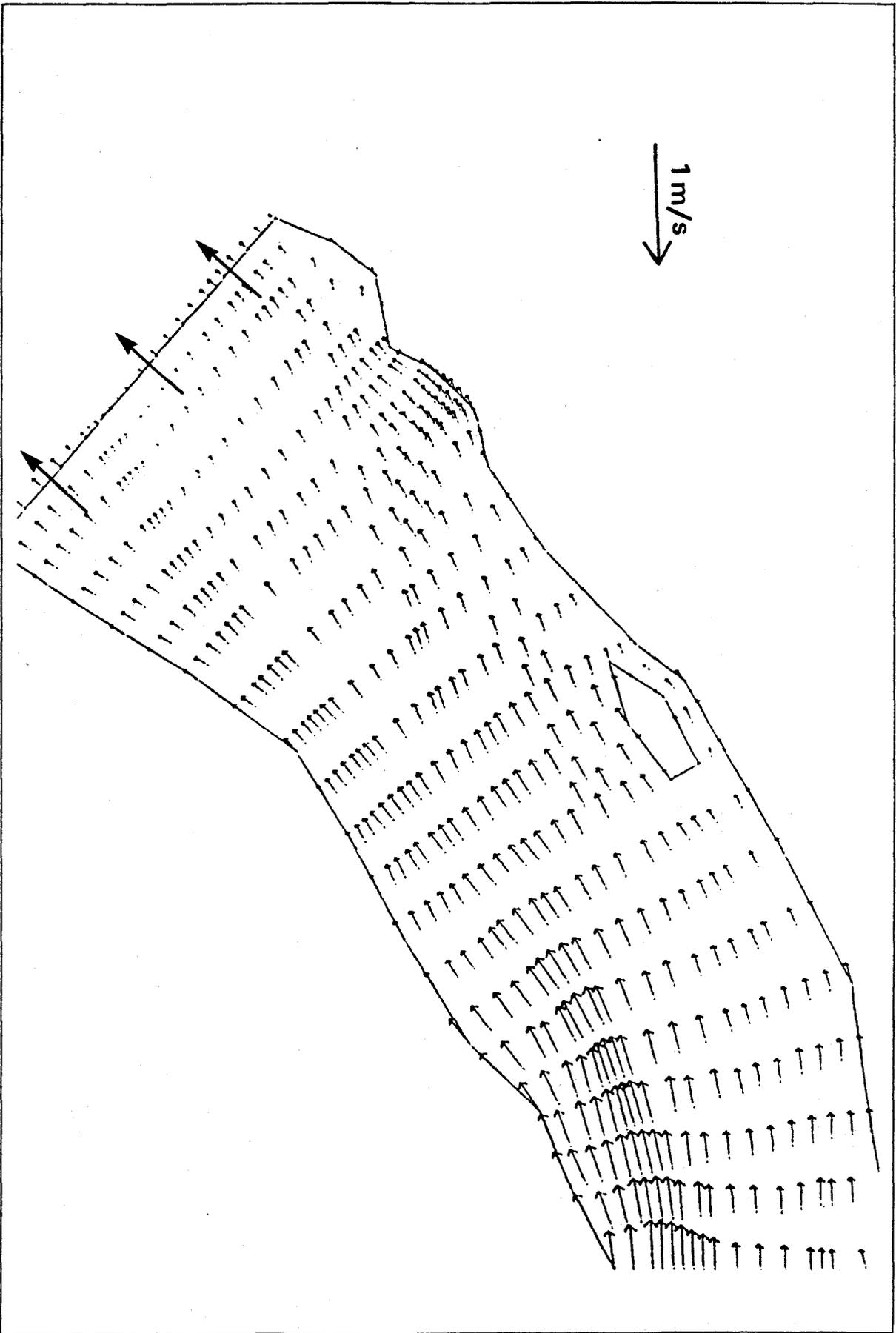


Planche 10b: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, détail des vecteurs-courants simulés 12h00 après la pleine mer inférieure à Grondines.

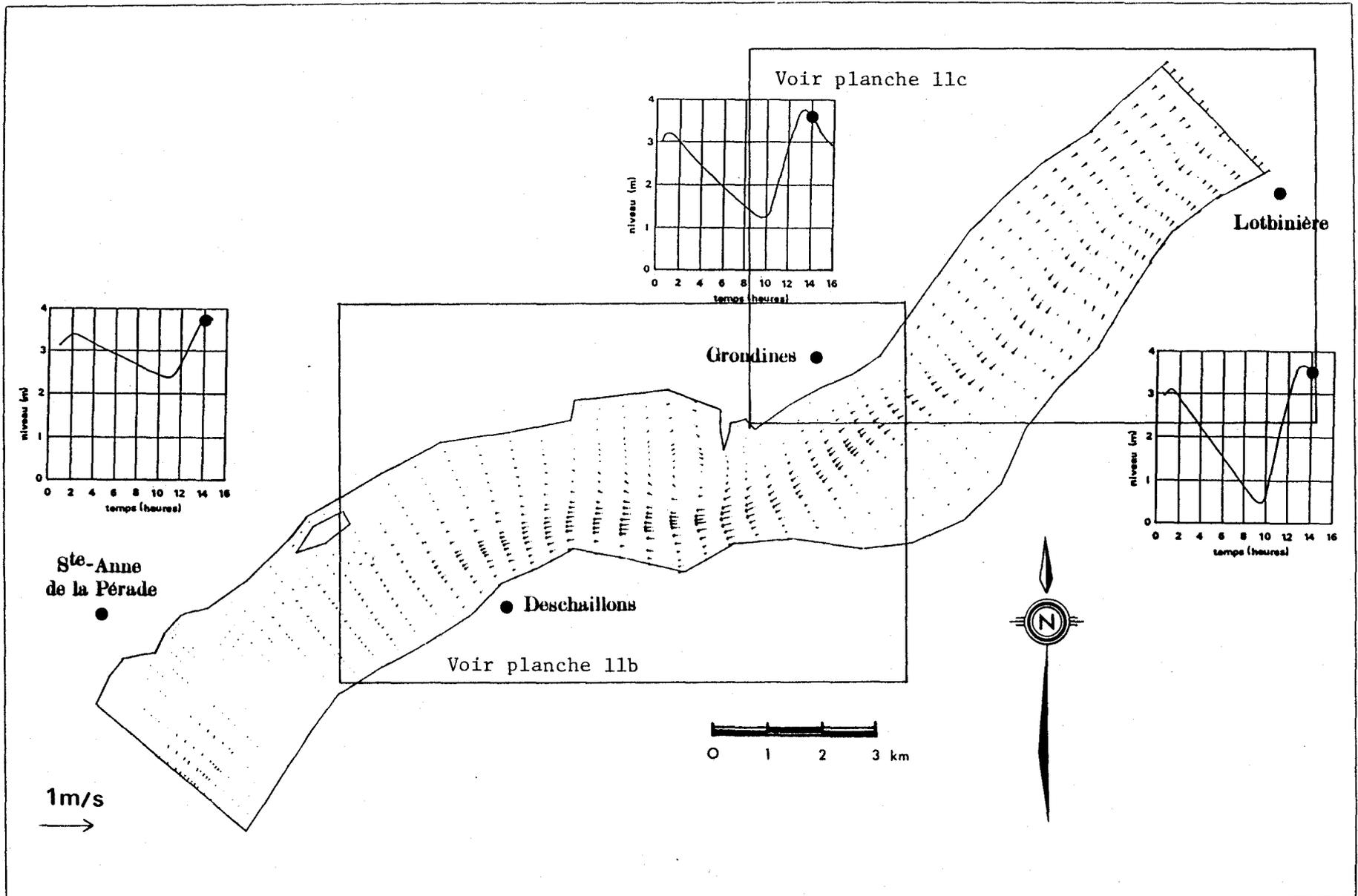


Planche 11a: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, vecteurs-courants simulés 12h30 après la pleine mer inférieure à Grondines.

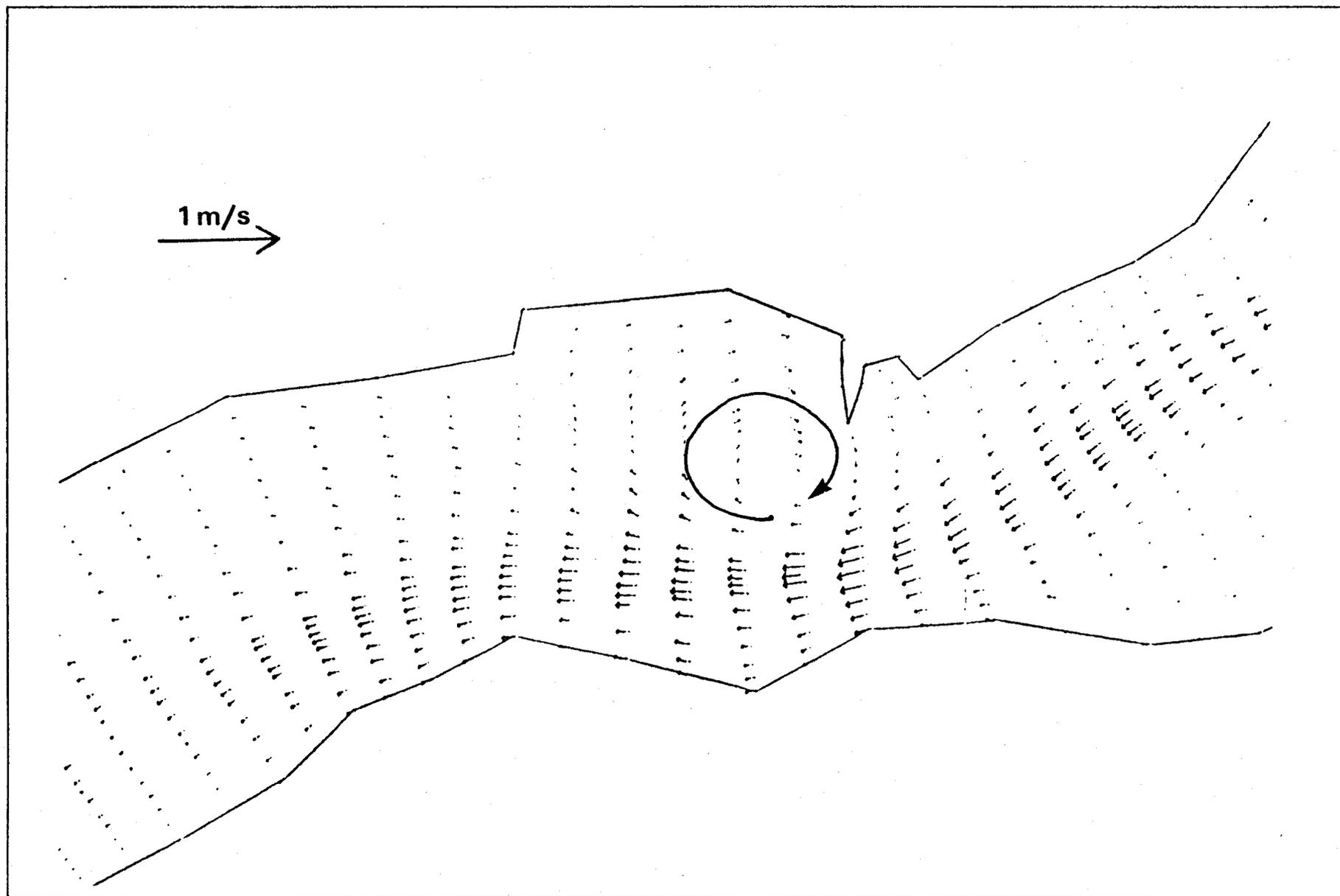


Planche 11b: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, détail des vecteurs-courants simulés 12h30 après la pleine mer inférieure à Grondines.

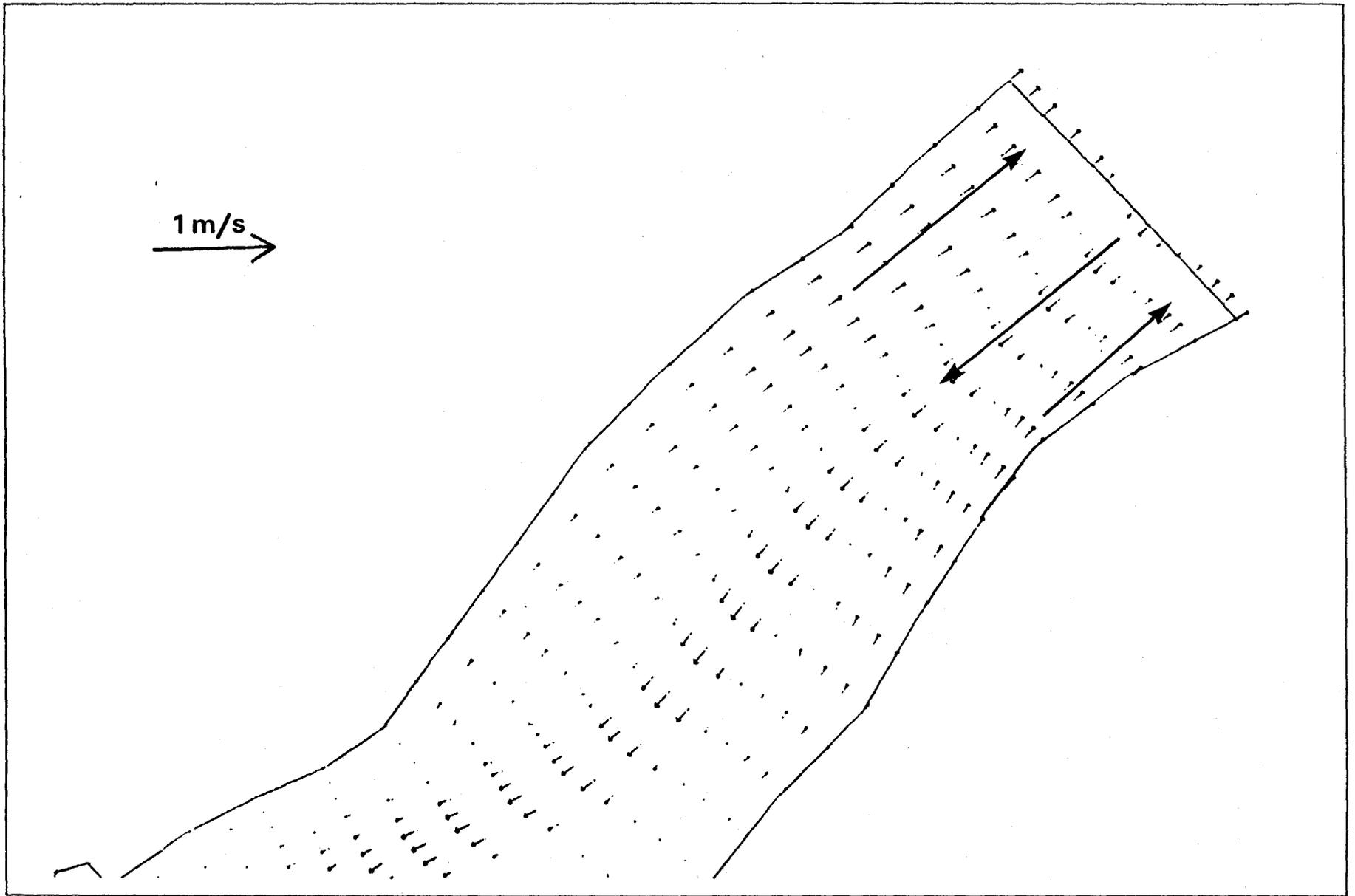


Planche 11c: Fleuve Saint-Laurent de Lotbinière à Ste-Anne de la Pérade - Hydrodynamique, détail des vecteurs-courants simulés 12h30 après la pleine mer inférieure à Grondines.