94431 (bibH2)

TD
227
.S2
S97
1974

SERVICES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT DU QUEBEC
MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES DU QUEBEC
ENVIRONNEMENT CANADA
MINISTERE DES TRANSPORTS DU CANADA

CENTRE DE DOCUMENTATION CSL
105, McGILL, 2e étage
MONTRÉAL (Québec) H2Y 2E7
Tél.: (514) 283-2762
Fax: (514) 283-9451

ETUDE DU FLEUVE SAINT-LAURENT

Tronçon Cornwall-Montmagny

MODELES MATHEMATIQUES DE SIMULATION HYDRODYNAMIQUE ET DE LA QUALITE DES EAUX

SURVEYER, NENNIGER & CHENEVERT INC., Montréal, Québec
CARRIER, TROTTIER, AUBIN, Québec, Québec

Environnement Canada / Environment Canada
Bibliothèque Montréal Library
105, rue McGill
Montréal (Québec) H2Y 2E7
Tél. / Tel. (514) 283-9503

17 SEP. 2008

31 mars 1974

ENVIRONNEMENT CANADA
BIBLIOTHÈQUE
LONGUEIL

SURVEYER, NENNIGER & CHÊNEVERT INC.
1550 ouest, boul. de Maisonneuve, Montréal, Qué.
CARRIER, TROTTIER, AUBIN
990, avenue Holland, Québec, Qué.

le 31 mars 1974

N/Réf.: 3494 (SNC)
3372 (CTA)

Services de Protection de l'Environnement
Edifice "D"
Hôtel du Gouvernement
Québec

A l'attention de M. Gilles Jolicoeur, ing. M.Sc.
Directeur des Services

Messieurs,

Les firmes de consultants Surveyer, Nenniger & Chênevert Inc. et Carrier, Trottier, Aubin ont le plaisir de présenter leur deuxième rapport d'études du fleuve Saint-Laurent sur "Les modèles mathématiques de simulations hydrodynamique et de qualité des eaux".

Un premier rapport d'études a été soumis en mars 1973 concernant la vérification du modèle hydrodynamique dans le tronçon Cornwall-Varennes et le développement d'un modèle mathématique de simulation de certains paramètres de la qualité des eaux.

Ce deuxième rapport d'études comprend principalement la vérification des modèles mathématiques de simulations hydrodynamique et de qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent, dans le tronçon Cornwall-Montmagny, le développement d'un modèle mathématique pour l'étude de paramètres de la qualité des eaux, de même que certaines simulations de solutions possibles pour le traitement des eaux usées de la région de Montréal.

Ce rapport est un jalon essentiel au programme d'études entrepris par les gouvernements fédéral et provincial concernant la planification et la gestion des eaux du fleuve Saint-Laurent. Il serait utile de poursuivre la vérification des modèles et de connaître

...2

Services de Protection de l'Environnement le 31 mars 1974

le comportement de certains paramètres de la qualité des eaux sous différentes conditions de débits et de traitement des eaux usées par les principales agglomérations riveraines du Saint-Laurent. D'autres recommandations pertinentes à cette étude sont contenues dans le rapport.

Nous désirons remercier les membres des gouvernements qui ont collaboré à l'étude par leurs excellentes suggestions et leur disponibilité pour nous permettre d'effectuer le tout dans les délais prévus.

Nous vous prions d'agréer, Messieurs, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

SURVEYER, NENNIGER & CHENEVERT INC.

Carole D. Burnham, Ph.D., ing.

CARRIER, TROTTIER, AUBIN

R. Robert Carrier, ing.

TABLE DES MATIERES

(suite)

		Page
4.	VERIFICATION DU MODELE HYDRODYNAMIQUE	
4.1	Brève revue du modèle	4-1
4.2	Vérification du sous-réseau 1 (de Cornwall au Canal de Beauharnois)	4-4
4.3	Vérification du sous-réseau 2 (de Carillon aux Rapides de Lachine)	4-4
4.4	Vérification du sous-réseau 3 (bassin de Laprairie à Lanoraie)	4-5
4.5	Vérification du sous-réseau 4 (rivières des Prairies et des Mille-Iles)	4-8
4.6	Distribution du débit d'eau	4-9
4.7	Commentaires sur la vérification de la région Cornwall à Lanoraie	4-9
4.8	Vérification du sous-réseau 5 (de Lanoraie à Montmagny)	4-12
5.	SIMULATION DE LA QUALITE DES EAUX	
5.1	Considérations générales	5-1
5.2	Condition stables	5-1
5.3	Coefficient de biodégradation de la DBO, K_1	5-2
5.4	Coefficient de réaération K_2	5-3
5.5	D.B.O. et O.D. du sous-réseau 1	5-3
5.6	D.B.O. et O.D. du sous-réseau 2	5-4
5.7	D.B.O. et O.D. des sous-réseaux 3A et 3B	5-6
5.8	D.B.O. et O.D. du sous-réseau 4	5-9
5.9	D.B.O. et O.D. du sous-réseau 5	5-11
6.	SOLUTIONS POUR L'ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES DE LA REGION DE MONTREAL	
6.1	Description des solutions	6-1
6.2	Sous-réseaux 1 et 2	6-6
6.3	Sous-réseau 4	6-6
6.4	Sous-réseaux 3B et 3A	6-9

TABLE DES MATIERES

(suite)

Page

7. RECOMMANDATIONS 7-1

REFERENCES R-1

Annexe A-1. Cartes hydrographiques
Annexe A-2. Vérification hydrodynamique des sous-réseaux

Annexe B. Guide de traitement des données (séparé du rapport)

*Annexe C-1. Fichiers des données hydrodynamiques et de qualité des eaux
*Annexe C-2. Résultats de la simulation hydrodynamique
*Annexe C-3. Résultats de la simulation de la qualité des eaux

* Ces documents contiennent des listes des résultats imprimés par l'ordinateur, et sont transmis en un exemplaire détaché du texte.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau no		Page
2.1	Localisation des limnographes en amont de Lanoraie	2-6
2.2	Niveaux moyens d'eau à long terme et conditions stables d'élévation de la surface de l'eau le 12 juillet 1969	2-7
2.3	Localisation des limnographes dans l'estuaire	2-8
2.4	Niveaux d'eau horaire mesurés le 12 et 13 juillet 1969. Sous-réseau 5	2-9
2.5	Conditions stables de débits d'eau le 12 juillet 1969	2-12
2.6	Débits et localisation des principaux tributaires du Saint-Laurent entre Lanoraie et Montmagny	2-14
2.7	Points d'injection des charges d'eaux usées. Sous-réseau 1	2-18
2.8	Points d'injection des charges d'eaux usées. Sous-réseau 2	2-19
2.9	Points d'injection des charges d'eaux usées. Sous-réseau 3B	2-20
2.10	Points d'injection des charges d'eaux usées. Sous-réseau 3A	2-21
2.11	Points d'injection des charges d'eaux usées. Sous-réseau 4	2-22
2.12	Points d'injection des charges d'eaux usées. Sous-réseau 5	2-23
2.13	Débits enregistrés à la station de jaugeage de LaSalle	2-27

LISTE DES TABLEAUX

(suite)

Tableau no		Page
3.1	Modèle chimique simplifié du Saint-Laurent	3-24
3.2	Espèces chimiques des phosphates quand l'apatite ne précipite pas	3-25
3.3	Valeurs typiques des coefficients du système	3-34
3.4	Rapport de la radiation solaire réfléchie sur celle incidente	3-50
4.1	Sous-réseau 1. Comparaison des niveaux d'eau mesurés et calculés	4-4
4.2	Sous-réseau 2. Comparaison des niveaux d'eau mesurés et calculés	4-5
4.3	Sous-réseau 3B. Comparaison des niveaux d'eau mesurés et calculés	4-6
4.4	Sous-réseau 3A. Comparaison des niveaux d'eau mesurés et calculés	4-7
4.5	Différences maximales entre les marées mesurées et calculées aux limnographes installés dans l'estuaire	4-16
4.6	Débits moyens maxima (pcs) calculés pour la période des 12 - 13 juillet 1969	4-17
6.1	Points d'injections variables pour chacune des solutions	6-2
6.2	Valeurs constantes des points d'injections pour toutes les solutions	6-7
6.3	Variations de la DBO pour chacune des solutions	6-10

TABLE DES MATIERES

		Page
	Liste des tableaux	vii
	Liste des planches	ix
	Liste des figures	x
	Sommaire des conclusions et recommandations	xi
	Remerciements	xvi
1.	INTRODUCTION	
1.1	But de l'étude	1-1
1.2	Mandat	1-1
1.3	Description du fleuve Saint-Laurent	1-2
1.4	Description des rivières des Prairies et des Mille-Iles	1-3
1.5	Modèles mathématiques du fleuve Saint-Laurent	1-5
2.	DONNEES HYDROGRAPHIQUES ET DE QUALITE DES EAUX	
2.1	Données hydrographiques	2-1
2.2	Sous-réseau 5. Transformation des données du Conseil National de Recherches	2-1
2.3	Niveaux d'eau	2-5
2.4	Données sur les débits	2-11
2.5	Données sur la qualité des eaux	2-13
2.6	Déficiences dans les données	2-24
3.	MODELE DE LA QUALITE DE L'EAU	
3.1	Conception du modèle	3-1
3.2	Salinité, température, oxigène dissous et DBO	3-2
3.3	Nutriments	3-10
3.4	Coliformes	3-33
3.5	Lignines	3-39
3.6	Modèle de simulation de la température	3-46
3.7	Description du modèle	3-59
3.8	Considérations sur la programmation	3-60

LISTE DES PLANCHES

Planche no		Page
1	Représentation des sous-réseaux et tronçons	1-4
2	Localisation des limnographes	2-10
3	Points d'injection	2-16
4	Profils de DBO et OD. Sous-réseau 1	5-5
5	Profils de DBO et OD. Sous-réseau 2	5-7
6	Profils de DBO et OD. Sous-réseaux 3A et 3B	5-8
7	Profils de DBO et OD. Sous-réseau 4	5-10
8	Profils de DBO et OD. Sous-réseau 5	5-13
9	Points de déversement des eaux usées traitées	6-3
10	Assainissement des eaux usées de la région de Montréal. Sous-réseau 4	6-8
11	Assainissement des eaux usées de la région de Montréal. Sous-réseaux 3A et 3B	6-11

LISTE DES FIGURES

Figure no		Page
2.1	Symboles des sections pour le traitements des données des CNR	2-2
3.1	Diagramme schématique d'un estuaire typique avec plusieurs points d'injection d'eaux usées	3-3
3.2	Ecosystème aquatique simplifié	3-13
3.3	Mécanismes de transfert de chaleur à la surface de l'eau	3-48
3.4	Flux de chaleur d'évaporation versus température à la surface	3-57
3.5	Organigramme général du modèle pour le calcul dynamique de la qualité des eaux. Sous-routines employées	3-61
3.6	Détermination de la séquence de calculs	3-62
4.43	Districation du débit d'eau dans les tronçons des sous-réseaux 1 et 2	4-10
4.44	Distribution du débit d'eau dans les tronçons du sous-réseau 3	4-11
4.45	Valeurs du coefficient de Manning utilisées pour la vérification hydrodynamique du sous-réseau 5	4-14
4.1 à 4.42 et 4.46 à 4.75.	Vérification hydrodynamique	Annexe A-2

SOMMAIRE DES CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

En 1972, les gouvernements du Canada et du Québec ont entrepris des études concernant des alternatives pour la gestion de la qualité des eaux du fleuve Saint-Laurent. La première étape de ces études (1972-1973) comprenait le développement et la vérification des modèles de simulations hydrodynamique et de la qualité des eaux du fleuve. Ces travaux ont été entrepris par les firmes Surveyer, Nenniger & Chênevert et Carrier, Trottier, Aubin et rapportés au document intitulé "Study of the St. Lawrence River, Cornwall-Varennes section. Hydrodynamic Simulation Model", le 31 mars 1973.

Les modèles ont été conçus de façon à représenter le cours d'eau par des segments unidimensionnels avec des sections variables reliées par des noeuds et formant des boucles là où existe la présence d'îles. Les modèles sont basés sur la solution numérique des équations hydrodynamiques et de transport de masse. Même si les modèles sont essentiellement unidimensionnels, les réseaux peuvent être conçus de façon à permettre une simulation bi-dimensionnelle approximative des paramètres hydrodynamiques et de qualité des eaux si nécessaire. Ces derniers paramètres considérés par le modèle étaient au nombre de quatre: la demande biochimique d'oxygène (DBO), l'oxygène dissous (OD), la salinité et la température de l'eau.

Lors de la deuxième étape (1973-74), les activités principales ont inclus l'extension de la zone d'étude, la vérification finale des modèles concernant l'hydrodynamique et la qualité des eaux de toute la zone et l'essai de trois nouveaux groupes de paramètres ajoutés au modèle de la qualité des eaux. Les modèles ont été appliqués à la région affectée par les marées jusqu'à Montmagny, en aval de l'île d'Orléans, la vérification hydrodynamique ayant compris tous les sous-réseaux définis à la première étape et le sous-réseau 5, de Lanoraie à Montmagny. La simulation de la qualité des eaux du fleuve a été représentée par seulement deux paramètres, la DBO et l'OD. Le modèle qualitatif lui-même a été développé afin d'inclure le calcul des effets des nutriments (l'azote et le phosphore), des coliformes et des lignines, de même qu'une amélioration du modèle d'oxygène dissous car sa concentration est liée à l'évolution des nutriments. Afin de permettre une simulation meilleure et plus rigoureuse de la température variable des eaux, cette dernière a été reliée aux variations des conditions météorologiques en utilisant des méthodes développées récemment.

En ce qui concerne les données utilisées pour schématiser les tronçons du fleuve, de Lanoraie à Montmagny, elles ont été obtenues en traitant les données de base fournies par le laboratoire d'Hydraulique du Conseil National de la Recherche. Les données hydrographiques pour toute la région étudiée semblent maintenant adéquates pour des vérifications

hydrodynamiques futures.

Les données de qualité des eaux pour la zone comprise entre Cornwall et Montmagny ont été rassemblées en recourant à des sources diverses et en utilisant des hypothèses concernant les charges de pollution (BOD et OD) provenant des municipalités et des industries. Certaines déficiences dans les données de base de la qualité des eaux ont été relevées et des correctifs appropriés ont été suggérés.

Le chapitre 3 du rapport décrit brièvement la théorie du modèle de la qualité des eaux et une revue générale du modèle simplifié de l'écosystème aquatique que nous proposons ainsi que la formulation mathématique adoptée pour la simulation de ce modèle. Il est à remarquer que les théories qui décrivent le cycle des nutriments, les coliformes et les lignines sont encore à l'état de développement, ce qui affecte nécessairement l'exactitude et l'interprétation des résultats prédits par ce modèle. Il reste encore beaucoup de travail à effectuer de la part des chercheurs pour arriver à la détermination des valeurs des coefficients qui apparaissent dans les équations utilisées dans la description de l'écosystème aquatique.

Le chapitre 4 est une description des résultats de la vérification hydrodynamique (niveaux d'eau, débits) pour toute la région étudiée. Cinq sous-réseaux furent requis pour la simulation des modèles hydrodynamiques et de la qualité des eaux, dans le tronçon Cornwall-Montmagny du fleuve St-Laurent et dans les rivières des Prairies et des Mille-Iles. La vérification du modèle hydrodynamique a donné de bons résultats sauf dans les rivières des Prairies et des Mille-Iles où le manque de temps nous a empêchés de préciser les valeurs des différents coefficients. La capacité du modèle pour simuler des phénomènes variant en fonction du temps a été démontrée lors de la vérification du sous-réseau 5, dans la zone affectée par les marées.

La vérification du modèle de la qualité des eaux pour l'oxygène dissous et la demande biochimique en oxygène (Chapitre 5) s'est avérée excellente, sauf dans la partie aval du sous-réseau 5 (Lanoraie-Montmagny) où il aurait fallu prolonger la période de simulation pour obtenir des conditions stables. Les résultats de cette étude donnent une idée générale de la qualité des eaux pour la section du fleuve entre Cornwall et Montmagny et ils servent à identifier des zones du fleuve où des problèmes particuliers de qualité des eaux se présentent.

Le chapitre 6 décrit la façon dont les modèles peuvent être utilisés pour l'investigation d'alternatives concernant la gestion du fleuve:

sept solutions différentes de traitement des eaux usées ont été simulées pour la région de Montréal (Chapitre 6). Ces essais de simulation montrent des écarts importants entre les solutions pour la DBO, le niveau de l'OD dans le St- Laurent étant pratiquement le même d'une solution à l'autre.

Les essais de simulation pour l'épuration des eaux de la région de Montréal démontrent que le degré de traitement joue un rôle important et que le fait d'avoir un seul ou plusieurs postes de traitement de même degré d'épuration n'affecte pas la qualité de l'eau à l'aval (Lanoraie). Par rapport à un traitement secondaire, les écarts dans les résultats de la DBO du fleuve St- Laurent sont accrus de 33% et de 54%, si l'on considère respectivement un traitement primaire ou aucun traitement. En amont des rapides de Lachine, un traitement secondaire des eaux usées n'améliore pas la qualité générale des eaux du St- Laurent pour l'OD et la DBO. Tout porte à croire que les effets se font sentir localement plutôt que sur l'ensemble du fleuve St- Laurent. L'élimination des rejets d'eaux usées dans la rivière des Prairies améliore de beaucoup la qualité de l'eau de cette rivière.

Le dernier chapitre du rapport énumère les recommandations pour des travaux futurs. Celles-ci peuvent se résumer comme suit:

a) Maintenir, pour l'instant, le territoire d'études au tronçon Cornwall-Montmagny à cause des déversements d'eaux usées majeurs dans ce territoire par rapport à la partie de l'aval.

b) Les paramètres suivants devraient être inclus dans la simulation: oxygène dissous, demande biochimique en oxygène, température, salinité, azote, phosphore, zooplancton, phytoplancton, coliformes fécaux, lignines conservatrices et biodégradables.

c) Entreprendre des essais de sensibilité sur les 23 coefficients de la qualité des eaux.

d) Mesurer, dans un tronçon donné du fleuve St- Laurent où l'on connaît les caractéristiques d'entrée et de sortie d'eau, plusieurs des 23 coefficients de la qualité des eaux.

e) Environ dix stations permanentes seraient requises pour connaître la qualité de l'eau de façon continue.

f) Il y aurait avantage à entreprendre des simulations additionnelles pour différentes conditions de débits et de température.

g) L'étude des rejets d'eaux usées entreprise par les Services de Protection de l'Environnement devrait être accentuée.

h) Le développement d'un modèle bidimensionnel est proposé dans les zones d'intérêts particuliers où l'on retrouve des rejets importants d'eaux usées.

i) Il y aurait lieu de compléter la vérification des modèles dans les rivières des Prairies et des Mille-Iles, ainsi qu'en aval de Lanoraie.

j) Différentes conditions de traitement d'eaux usées pourraient être simulées pour les principales agglomérations du territoire d'études, afin d'aider le gestionnaire des eaux du St-Laurent à établir une politique d'ensemble.

k) Une étude statistique serait requise sur les données recueillies jusqu'à ce jour pour connaître le comportement du fleuve St-Laurent sous différentes conditions de débit et de température.

REMERCIEMENTS

Cette deuxième étape de l'étude a été financée par les Services de Protection de l'Environnement du Québec et coordonnée par le Groupe de travail Québec-Canada pour le fleuve Saint-Laurent.

Les Consultants Surveyer, Nenniger & Chênevert Inc. et Carrier, Trottier, Aubin sont reconnaissants de l'aide et de la coopération apportées, pendant toute la durée de l'étude, par les membres du Groupe de travail. Nos remerciements vont aussi aux agences gouvernementales suivantes pour leur contribution en ce qui concerne les données hydrodynamiques et de la qualité des eaux: Les Services de Protection de l'Environnement du Québec, le Ministère des Richesses Naturelles du Québec, l'Hydro-Québec, la Communauté Urbaine de Montréal et le Laboratoire d'Hydraulique du Conseil National de Recherches du Canada.

Nous soulignons tout particulièrement l'apport très précieux du Dr M.L. Thatcher pour le travail qu'il a effectué en vue du développement du nouveau modèle de la qualité des eaux, et pour ses judicieux conseils dont nous avons bénéficié au cours de la vérification hydrodynamique et de la simulation de la qualité des eaux.

Finalement, la contribution des docteurs D.R.F. Harleman et F. Morel de même que celle d'autres membres du Laboratoire R.M. Parsons du Massachusetts Institute of Technology s'est avérée des plus profitables à l'étude des nouveaux paramètres inclus dans le modèle de la qualité des eaux.

H.W. Pearson, ing., B.C.E.
Directeur du Projet

Personnel Technique

S. Bobrow, ing., M.Sc.	SNC Inc.
M. Leblanc, ing., B.C.E.	SNC Inc.
R. Mayor-Mora, ing., Dr.Sc.	SNC Inc.
L. Aubin, ing., M.Sc.	CTA
H. Sohier, ing., M.Sc.	CTA

1. INTRODUCTION

1.1 But de l'étude

Les Gouvernements du Québec et du Canada ont entrepris un vaste programme d'études concernant le fleuve Saint-Laurent, afin de recueillir des données sur les aspects physiques, chimiques, biologiques, hydrologiques et hydrauliques. Dans le cadre de ce programme, le Gouvernement du Québec a jugé opportun de confier en date du 30 novembre 1973 un deuxième mandat aux firmes de Consultants Surveyer, Nenniger & Chênevert Inc. de Montréal et Carrier, Trottier, Aubin de Québec aux fins d'établir des modèles mathématiques de simulation hydrodynamique et de qualité des eaux pour le tronçon Cornwall - Montmagny du fleuve Saint-Laurent, et pour les rivière des Prairies et des Mille-Iles.

Cette étude vise particulièrement à connaître le comportement du fleuve Saint-Laurent sous différentes conditions particulières, après avoir vérifié au préalable l'exactitude des modèles mathématiques établis en simulant des données quantitatives et qualitatives qui ont prévalu antérieurement dans ce cours d'eau.

Le premier mandat avait pour but de développer des modèles mathématiques de simulation hydrodynamique dans le tronçon du fleuve compris entre Cornwall et Varennes et pour les rivières des Prairies et des Mille-Iles. Un rapport à cet effet fut soumis en mars 1973 (1)*.

1.2 Mandat

Tel que convenu dans l'entente intervenue entre le Gouvernement du Québec et Surveyer, Nenniger & Chênevert Inc. et Carrier, Trottier, Aubin, les Consultants, ces derniers s'engagent à rendre les services professionnels suivants: (2)

1.2.1 Détermination du tronçon: le tronçon couvre le fleuve Saint-Laurent entre Cornwall et Montmagny.

1.2.2 Sans aucunement en restreindre l'étendue, le projet devra comprendre les éléments suivants:

- Extension des modèles existants vers l'aval jusqu'à Montmagny en utilisant les données disponibles pertinentes. En particulier, les données recueillies et utilisées par le Conseil National de Recherche pour la fabrication de son modèle hydrodynamique à l'aval de Montréal devront être utilisées au maximum.

* Le numéro de la référence est indiqué entre parenthèses.

- Construction d'un modèle de simulation de la qualité de l'eau. Le modèle devrait inclure au moins l'étude de la demande biochimique en oxygène, l'oxygène dissout, les organismes coliformes, les matières nutritives de base, les chlorures et si possible les lignines et la température.

- Vérification des aspects hydrodynamiques et de la qualité de l'eau du modèle pour toute la zone d'étude (le fleuve Saint-Laurent de Cornwall à Montmagny, de même que les rivières des Prairies et des Mille-Iles).

- Augmentation de la densité du réseau dans les zones critiques afin d'obtenir une meilleure représentation bi-dimensionnelle. Le réseau sera défini par les Consultants et devra être approuvé par le Gouvernement.

- Développement d'un système de coordonnées pour introduire des données sur les profils en travers et le calcul des paramètres pour les différentes sections. Une technique simple devra aussi être développée pour repérer les erreurs importantes dans les données avant leur introduction dans le programme.

- Confection d'un modèle flexible qui puisse permettre l'introduction des coefficients de friction à chaque section transversale. L'on pourra utiliser des écoulements en parallèle pour introduire, si nécessaire, des coefficients de friction différents dans une même section.

- Etablissement de relation niveau-débit en plusieurs points du cours d'eau à partir des données existantes (aux rapides seulement).

1.2.3 Les Consultants devront réaliser certains essais spécifiques, à la demande du Gouvernement, dans le but de déterminer les alternatives de planification.

1.2.4 Les Consultants devront faire des recommandations relatives au manque de données aussitôt que ces lacunes se manifestent.

1.3 Description du fleuve Saint-Laurent

Le fleuve Saint-Laurent est l'un des plus majestueux cours d'eau en Amérique et est certes le plus important de l'est du Canada. Il sert à la navigation, à la production d'énergie hydro-électrique, à l'approvisionnement en eau, à l'élimination des eaux résiduelles et à la pêche commerciale et sportive, etc.

Le bassin hydrographique du St-Laurent au Québec couvre une superficie de 230,000 milles carrés si on inclut la partie du bassin de la rivière Outaouais, en Ontario, de même que les prolongements des rivières Richelieu et St-François aux Etats-Unis. On retrouve

onze bassins hydrographiques secondaires de 4,000 milles carrés ou plus, le plus important étant celui de l'Outaouais, le second celui du Saguenay (voir planche No 1).

A Cornwall, le débit moyen annuel du fleuve est de 232,000 pi. cu./sec. alors qu'il est de quelque 325,000 pi.cu./sec. en aval de Montréal. L'apport additionnel provient principalement de la rivière Outaouais dont le débit moyen au barrage de Carillon s'établit à 69,000 pi.cu./sec. On évalue à plus de 500,000 pi.cu./sec. le débit du fleuve à Lévis; ce débit s'éleve jusqu'à deux millions de pi.cu./sec. à certaines marées hautes.

La dénivellation entre Cornwall et Québec est légèrement supérieure à 150 pieds. La majeure partie de cette dénivellation se produit à Beauharnois (80 pieds) et dans les rapides de Lachine (30 pieds).

En dépit d'un nombre considérable de grèves et de plages de sable, d'îles et de bas-fonds, d'ensablements et de plaines subissant une inondation saisonnière, le St-Laurent est considéré comme un fleuve jeune. Ses rives sont généralement escarpées et un grand nombre de ses affluents sont encore plus récents que le fleuve lui-même.

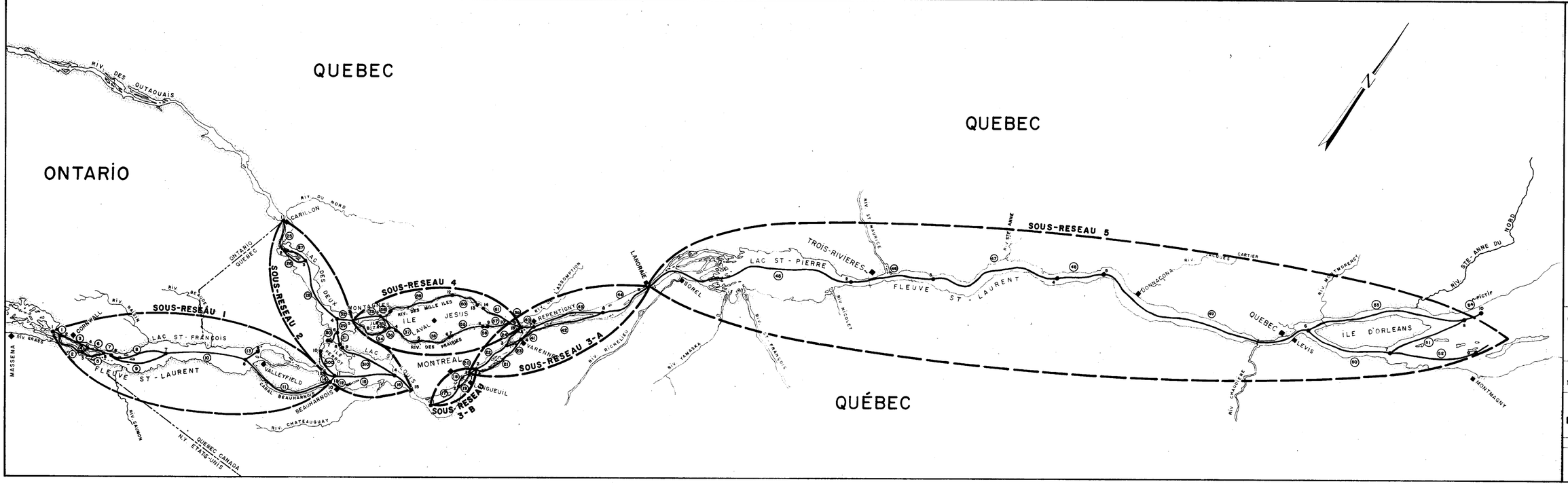
Le St-Laurent draine la presque totalité des eaux usées du Québec, soit par des rejets directs comme c'est le cas de l'île de Montréal et de la région de Québec, ou encore par l'intermédiaire de tributaires comme le St-François, le St-Maurice, le Richelieu et la Yamaska. Ces volumes d'eaux usées domestiques et industrielles ne sont pas sans effet sur ce cours d'eau et il importe d'en évaluer toutes leurs conséquences.

1.4 Description des rivières des Prairies et des Mille-Iles.

Les rivières des Prairies et des Mille-Iles sont deux cours d'eau récepteurs de la rivière des Outaouais et coulent en direction nord-est à partir de l'extrémité nord-ouest de l'île de Montréal. La dénivellation totale de ces rivières à partir de leur tête, du lac des Deux-Montagnes jusqu'au confluent du fleuve St-Laurent est de 55 pieds.

Le débit total maximum de ces deux rivières peut excéder 150,000 pi.cu./sec. et le débit minimum se situe aux environ de 15,000 pi.cu./sec. Sur une période de cinquante ans, le débit moyen excède légèrement 44,000 pi.cu./sec.

La rivière des Prairies, la plus au sud, est longue de 30 milles environ. L'entrée sur la rivière, à partir du lac des Deux-Montagnes se fait à deux endroits, soit au sud de l'Ile Bizard en passant par les rapides du Cap St-Jacques, soit au nord de l'Ile Bizard en passant par les rapides Lalemant. A mi-chemin du parcours, on trouve une centrale hydro-électrique à l'Ile de la Visitation. Le



LEGENDE

1-4

- SOUS-RESEAU
- TRONCON
- (2) NUMERO DU TRONCON
- 10 NUMERO DU NOEUD

CANADA
ENVIRONNEMENT CANADA
MINISTERE DES TRANSPORTS

QUEBEC
LES SERVICES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES

FLEUVE ST-LAURENT
MODELES MATHEMATIQUES DE SIMULATION

REPRESENTATION DES SOUS-RESEAUX ET TRONCONS

ECHELLE : 1 = 500,000 | PLANCHE Nº: 1

SURVEYER, NENNIGER & CHENEVERT INC.
CARRIER TROTTIER AUBIN
CONSULTANTS

03/74

débit moyen de la rivière des Prairies est de 37,400 pi.cu./sec.

La rivière des Mille-Iles, qui a son départ à St-Eustache-sur-le Lac, baigne de nombreuses îles. Son débit moyen est de quelque 7,100 pi.cu./sec. A Terrebonne il existe un barrage utilisé pour élever le niveau d'eau alimentant un vieux moulin.

La qualité de l'eau de ces rivières est affectée par des rejets importants d'eaux usées provenant principalement des municipalités de Laval, St-Eustache, Ste-Thérèse, Terrebonne et Bois-de-Filion en plus de l'apport, en amont, de la rivière des Outaouais et de la rivière du Nord. La rivière des Prairies reçoit, de plus, les eaux usées du versant nord de l'Île de Montréal.

1.5 Modèles mathématiques du fleuve St-Laurent.

La dégradation de la qualité des eaux de nos rivières est devenue un problème sérieux du fait que celles-ci reçoivent de plus en plus d'eaux usées en provenance des industries et des municipalités. Afin d'évaluer avec une certaine précision l'efficacité des mesures qu'il entend prendre pour enrayer cette pollution, le planificateur fait de plus en plus appel au modèle mathématique comme outil devant le guider dans sa prise de décision.

Pour prédire adéquatement les résultats d'une solution proposée, le modèle mathématique doit reproduire fidèlement les conditions naturelles d'écoulement du fleuve. Il doit entre autres respecter les critères suivants:

a) Reproduire fidèlement les caractéristiques hydrodynamiques du cours d'eau. Il faut donc que l'on puisse représenter la topographie naturelle, de même que prévoir les effets résultant des modifications apportées au fleuve par la nature ou par l'homme, comme la construction de barrages et autres ouvrages de régularisation.

b) Il doit être compatible avec l'hydrographie particulière du St-Laurent que l'on peut assimiler à un réseau d'embranchements et de boucles.

c) La conception et l'établissement du modèle doivent être suffisamment souples pour permettre d'étudier les différents aspects du cours d'eau et ce, à divers degrés d'importance. Dans cette optique, on doit pouvoir facilement étendre le modèle afin d'y inclure des régions où les marées se font sentir.

d) Le modèle doit être capable de prévoir les valeurs des différents paramètres hydrauliques de même que celles relatives à la qualité des eaux.

Les modèles hydrodynamique et de qualité des eaux récemment mis au point par MM. Harleman, Thatcher et Daily (3, 4) répondent à ces quatre critères et conviennent parfaitement au projet d'étude du St-Laurent.

Ce modèle est basé sur la solution numérique des équations hydrodynamiques et du transport de masse qui définissent l'écoulement non permanent et non uniforme ainsi que la variation des paramètres de qualité de l'eau dans les cours d'eau et leurs estuaires. Cette solution est mise au point pour un réseau comportant des embranchements et des boucles et constitué de tronçons linéaires à sections variables.

2. DONNEES HYDROGRAPHIQUES ET DE QUALITE DES EAUX

2.1 Données hydrographiques

Pour le secteur compris entre Cornwall et Lanoraie, les données hydrographiques requises pour l'étude sont celles qui furent utilisées dans la première étape (1). Quelques changements ont toutefois été apportés à la schématisation des réseaux et ceux-ci sont montrés sur les cartes nautiques (en annexe A-1). Pour les rivières des Prairies et des Mille-Iles, nous avons obtenu récemment de nouvelles données du Ministère des Richesses Naturelles sur les caractéristiques physiques de ces cours d'eau de même que sur les profils d'écoulement d'eau. Ces renseignements nous ont permis de localiser plus facilement les rapides et d'apporter plus de précisions à la simulation hydrodynamique de ces deux rivières (57).

Nous avons ajouté cette année une nouvelle zone à l'étude du modèle hydrodynamique soit la section d'estuaire comprise entre Lanoraie et Montmagny. Cette zone est montrée en détail (en annexe A-1) sur les cartes nautiques (N^{os} A-11 à A-17) du Service Canadien de l'Hydrographie et à la planche No 1 (sous-réseau 5). Les données utilisées pour la schématisation proviennent de renseignements transmis par le Conseil National de la Recherche.

2.2 Sous-réseau 5 - Transformation des données du Conseil National de la Recherche.

2.2.1 Données de base du CNR

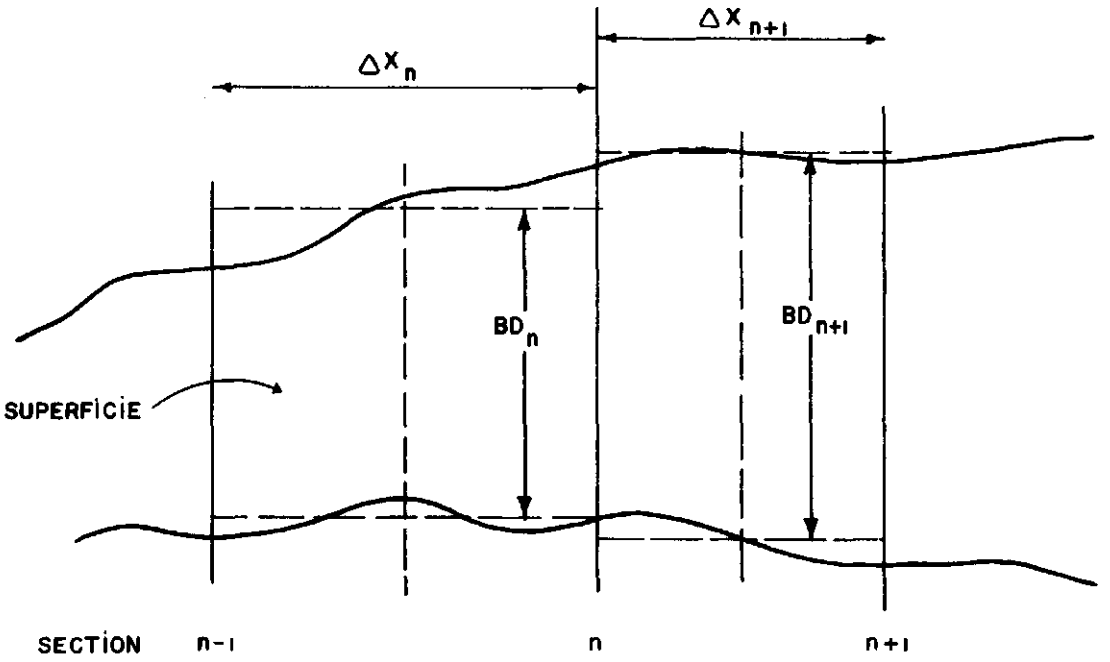
Les données de base utilisées pour schématiser les sections du fleuve dans l'estuaire (sous-réseau 5) ont été obtenues du Laboratoire d'Hydraulique du Conseil National de la Recherche. Prandle et Crookshank (5) ont divisé le parcours en sections transversales à l'écoulement en les espaçant de six milles dans les tronçons en aval de l'Ile-aux-Grues et de 3, 2 et 1.8 milles pour les tronçons en amont de cet endroit.

Les données du CNR couvrent 330 milles de parcours du fleuve, de Pointe-au-Père à Montréal avec un total de 120 sections qui incluent les détails suivants (voir figure 2.1):

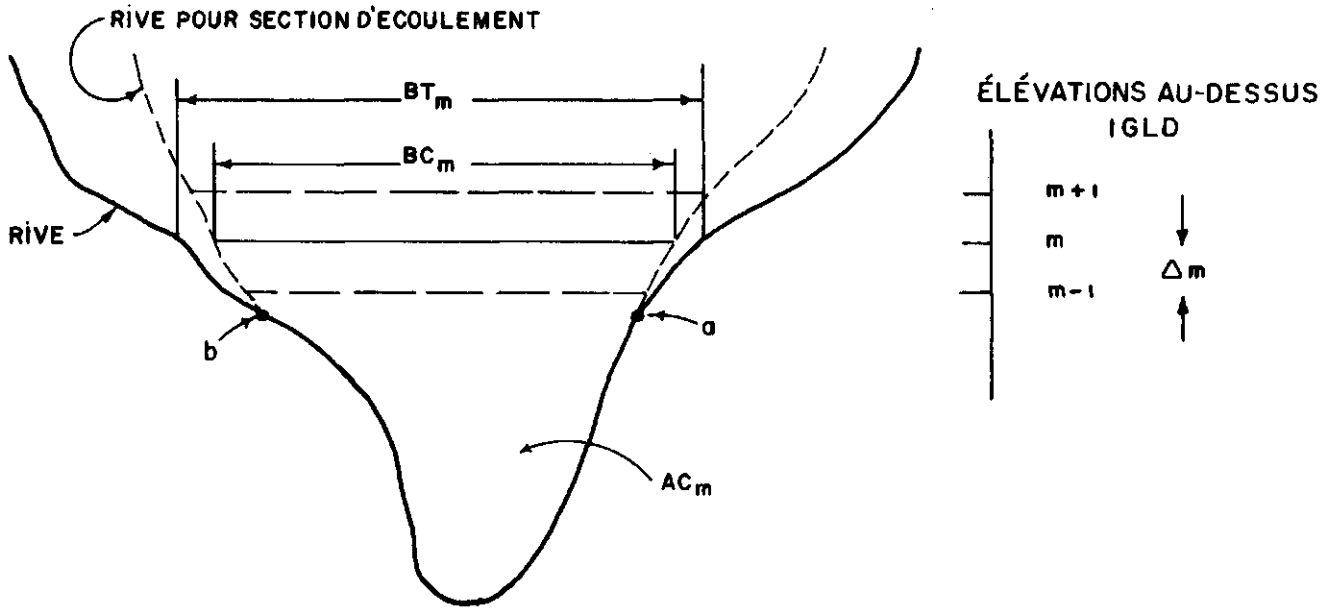
- Les aires des sections d'écoulement (AC_m) au-dessous de 19 différentes élévations (de 12 pieds au-dessous du repère IGLD 1955 - International Great Lakes Datum - à 24 pieds au-dessus de ce repère) pour chaque section transversale.

- Les largeurs en surface des canaux entre sections transversales consecutives, (BD_n) aux 19 différentes élévations.

- Les profondeurs hydrauliques moyennes (non utilisées dans cette étude).



a) VUE EN PLAN D'UN TRONÇON DU FLEUVE A L'ÉLÉVATION m



b) PROFIL VERTICAL A UNE SECTION TRANSVERSALE n

FIGURE 2-1 — SYMBOLES DES SECTIONS POUR LE TRAITEMENT DES DONNÉES DU CNR

- Les distances entre sections transversales.

- Profils des sections transversales de Grosse Ile (section N-17 sur la figure A-17) jusqu'à Trois-Rivières (section N-96, figure A-13). Ces profils montrent des lignes qui délimitent, à partir du lit du fleuve et d'une façon approximative, les zones d'écoulement et d'emmagasinement. Toutefois, certaines sections transversales énumérées ne représentent pas l'aire actuelle d'une rive à l'autre.

- Les cartes hydrographiques de Trois-Rivières à Pointe-aux-Orignaux montrant la localisation des sections transversales de N-2 à N-96.

- Les cartes hydrographiques de Trois-Rivières à Montréal montrant la ligne des plus grandes profondeurs et le millage sur son parcours.

2.2.2 Traitement des données du CNR

En se référant au Guide de Traitement des Données (annexe B), les paramètres géométriques requis pour une section transversale irrégulière avec une largeur variable à la surface de l'eau sont: l'élévation de la surface de l'eau, la largeur totale en surface (BT_n), la largeur de la section d'écoulement (BC_m), l'aire de la section d'écoulement (AC_m), le périmètre mouillé de la section d'écoulement (PC_m) et l'aire totale de la section transversale (AT_m).

Seulement deux paramètres (AC_m et BD_n) sont fournis avec les données du CNR et il faut trouver un moyen d'obtenir les quatre autres paramètres (BT_m, BC_m, PC_m et AT_m). Comme on le verra plus loin, il a fallu effectuer certaines simplifications et émettre certaines hypothèses pour les obtenir.

Selon N. Crookshank du CNR (communication verbale), on a divisé le fleuve en tranches et ensuite on a dessiné les sections transversales de chaque extrémité d'une tranche, et les aires de chacune de ces sections (AC_m) ont été mesurées pour chaque élévation. La superficie de chacune de ces tranches a été mesurée pour chaque élévation correspondante. Ces aires ont été extraites des cartes nautiques et laissent place à un grand nombre d'interprétations pour les valeurs comprises entre les marées hautes et les marées basses. Les valeurs de ces superficies ont, par la suite, été divisées par la distance entre deux sections transversales consécutives (Δx) pour obtenir BD aux élévations correspondantes.

Les hypothèses de base et les simplifications sont:

- pour une élévation quelconque "m":

$$BT_n = (BD_n + BD_{n+1})/2 \qquad (2.1)$$

- pour une section transversale "n":

$$BC_m = (AC_{m+1} - AC_{m-1})/4 \qquad (2.2)$$

$$AT_m = AT_{m+1} + (BT_m + BT_{m-1}) \cdot (\Delta m/2) \qquad (2.3)$$

$$PC_m = PC_{m-1} + \sqrt{16 + (BC_m - BC_{m-1})^2} \qquad (2.4)$$

où: Δm = 2 pieds, n varie de 2 (à Pointe-au-Père) à 121 (à Montréal) et m varie de 1 à 19.

D'autres simplifications ont été adoptées: par exemple, le cas des points a et b (figure 2.1) en bas de m = 1:

$$AT_1 = AC_1 \qquad BC_1 = BT_1 \qquad PC_1 = BT_1$$

On a apporté également certaines simplifications pour les cas spéciaux où m = 19, n = 2, n = 121. Aussi aux endroits où BT_m était plus petit que BC_m, on l'a égalé à BC_m. Dans certains cas, la forme des tronçons du fleuve a été étudiée en détail considérant des particularités telles que les transitions entre un canal étroit et un lac ou vice versa, des embranchements de canaux, etc. Les paramètres ont été calculés pour tenir compte des propriétés individuelles des tronçons et/ou des sections.

La procédure décrite permet, à l'aide d'un programme d'ordinateur, la conversion des données du CNR dans la forme requise pour les besoins de cette étude. On a obtenu des sections transversales "équivalentes" le long du fleuve, qui incluaient non seulement les propriétés des sections mais également les effets des caractéristiques géométriques (à travers BD_n) en amont et en aval de la section transversale.

Ceci marque un écart important par rapport à la méthode utilisée dans l'étape I de cette étude (1) en ce qui concerne la représentation des zones d'emmagasinement: dans les sous-réseaux 1 à 4, une frontière subjective était tracée sur les cartes pour distinguer les zones d'écoulement des zones d'emmagasinement telles que les baies; dans le sous-réseau 5, le critère subjectif est appliqué à chaque section transversale (rive de section d'écoulement montrée à la figure 2.1), l'aire entre les rives actuelles et les rives d'écoulement représente la zone d'emmagasinement, c'est-à-dire celle qui ne contribue pas à l'écoulement du fleuve.

2.2.3 Définition du sous-réseau 5.

Les cartes hydrographiques en annexe A-1 (figures A-11 à A-17) localisent les différentes sections transversales du sous-réseau 5, qui est la région de l'estuaire comprise entre Lanoraie (située à 2300 pieds en amont de la section N-109) et une section arbitraire près de Montmagny qui sert de frontière en aval.

Ce sous-réseau a été divisé en dix tronçons pour les fins de simulation (voir planche N° 1). Les sections numérotées par le CNR ont été conservées, les limites des tronçons étant comme suit:

Tronçon N°	de la section	à la section	Longueur approximative du tronçon en milles
45	N-109	N-96	38
46	N-96	N-88	16
47	N-88	N-76	24
48	N-76	N-72	8
49	N-72	N-52	40
50	N-52	N-23	15
51	N-23	N-17	12
52	N-23	N-33	13
53	N-52	N-17	26
54	N-17	10,000 pi en aval (tronçon fictif)	

2.3 Niveaux d'eau.

Pour la simulation et la vérification du modèle hydrodynamique du fleuve St-Laurent entre Cornwall et Lanoraie, nous avons utilisé, tel qu'expliqué dans le rapport de l'étape I (1), les niveaux d'eau moyens journaliers du 12 juillet 1969 (6). Tous les niveaux se réfèrent à la base de référence IGLD-1955 mais pour les fins pratiques du modèle, nous avons ajouté cent pieds afin de ne pas obtenir des valeurs négatives pour les élevations.

Les tableaux 2.1 et 2.2 donnent la liste des limnographes le long du fleuve St-Laurent et de la rivière des Outaouais ainsi que leur localisation géographique et schématique par rapport à notre subdivision du St-Laurent en réseau et tronçons. Il est à noter que les stations sont identifiées par les nouveaux numéros donnés par le Ministère de l'Environnement Canada (7) aux limnographes sur le parcours du St-Laurent (voir planche N° 2). Pour fins de vérification, nous avons également indiqué les limnographes situés dans le canal de la voie maritime.

Pour le tronçon compris dans l'estuaire du St-Laurent entre Lanoraie et Montmagny, nous avons utilisé le volume 2 (8), pour la localisation des limnographes (tableau 2.3). Un limnographe temporaire à Brickyards nous a fourni des lectures pour le mois de juillet 1969 (9).

Les niveaux d'eau horaires mesurés les 8, 9, 10, 11, 12 et 13 juillet 1969, tel que montré au tableau 2.4 pour le 12/7/69 proviennent de listes obtenues de la Direction des Sciences Marines.

TABLEAU 2.1 - LOCALISATION DES LIMNOGRAPHES EN AMONT DE LANORAIE

(DATUM IGLD 1955)

Station	No.	Latitude nord	Longitude ouest	Elévation du limnographe	Numéro du tronçon	Distance du noeud amont
Cornwall	14870	45°00.92'	74°42.64'	164.45	3	13550.
Summerstown	14940	45°03.58'	74°33.21'	166.16	8	7820.
Côteau-Landing	15110	45°15.19'	74°12.68'	156.76	13	5740.
Côteau-du-Lac	15140	45°17.79'	74°10.00'	158.35	--	-----
Cascades Pt.	15220	45°20.13'	73°57.28'	80.44	300	19000.
Beauharnois (écluse, amont)	15260	45°17.98'	73°55.83'	165.27	11	86200.
Beauharnois (écluse, aval)	15262	45°19.22'	73°54.96'	89.70	12	3200.
Pointe Claire	15330	45°25.71'	73°49.30'	83.87	310	39000.
Lachine	15390	45°25.87'	73°40.26'	74.43	16	15000.
Côte Ste-Catherine (écluse, amont)	15450	45°24.50'	73°34.48'	57.32	16	6000.*
Laprairie	15470	45°27.90'	73°30.90'	55.10	17	22500.
Pont Champlain	088W	45°28.08'	73°30.60'	133.70	17	23200.
St-Lambert (écluse, amont)	15505	45°29.14'	73°30.92'	49.34	dans la Voie Maritime	
St-Lambert (écluse, aval)	15507	45°30.23'	73°31.27'	49.34	19	12500.*
Montréal, jetée No. 1	15520	45°30.29'	73°32.87'	45.58	18	6750.
Montréal, rue Frontenac	15540	45°31.71'	73°32.56'	49.74	18	14250.
Longue Pointe**	099W	45°34.97'	73°30.43'	41.87	22	6250.
Pointe-aux-Trembles	15630	45°37.94'	73°29.46'	49.38	22	23630.
Varennes	15660	45°41.08'	73°26.41'	53.84	21	48500.
Repentigny	15668	45°44.53'	73°26.20'	41.79	43	1500.
Verchères	15720	45°46.74'	73°21.45'	31.34	42	38300.
Contrecoeur	15790	45°51.49'	73°14.42'	27.16	44	0
Lavaltrie	15973	45°53.00'	73°16.42'	43.21	44	3800.
Lanoraie	15860	45°57.56'	73°12.90'	39.19	44	37000.
Carillon (écluse, aval)	16032	45°34.08'	74°22.47'	97.72	25	2000.
Ste-Anne-de-Bellevue	16005	45°24.34'	73°57.42'	86.60	31	7000.
Des Prairies, Cité de Pont Viau	043318			60.53	38	≈20000.
Des Prairies, 1.0 mi. aval Route 25	043317			32.27	55	8500.
Des Prairies, Île Maheu	043319			27.46	57	4900.

* à l'intérieur du canal de la Voie Maritime. Elévation moyenne prise à l'endroit indiqué.

** Discontinué depuis 1965.

TABLEAU 2.2 - NIVEAUX MOYENS D'EAU A LONG TERME ET CONDITIONS STABLES D'ELEVATION DE LA SURFACE DE L'EAU

LE 12 JUILLET 1969

Station	No.	Moyenne annuelle	Nombre d'années	Elévation moyenne surface d'eau (IGLD)
Cornwall	14870	153.82	51	153.71
Summerstown	14940	152.26	50	152.84
Côteau Landing	15110	151.77	51	152.05
Côteau du Lac	15140	133.20	49	132.25
Cascades Point	15220	69.22	51	70.94
Beauharnois (écluse, amont)	15260	149.91	11	149.32
Beauharnois (écluse, aval)	15262	68.96	11	70.96
Ste-Anne-de-Bellevue	16005	71.85	51	71.99
Carillon (écluse, aval)*	16032	72.63	7	72.19
Laprairie	15470	33.28	3	33.69
Pont Champlain	088W	32.26	7	------
Pointe Claire	15330	68.72	55	70.41
Lachine	15390	67.63	51	69.57
Côte Ste-Catherine (écluse, amont)	15450	68.50	11	70.50
St-Lambert (écluse, amont)	15505	36.79	10	37.55
St-Lambert (écluse, aval)	15507	20.24	11	21.38
Montréal, jetée No. 1	15520	23.66	57	22.34
Montréal, rue Frontenac	15540	20.41	31	21.37
Pointe-aux-Trembles	15630	18.67	12	------
Varennes	15660	19.59	63	19.54
Repentigny	15668	17.71	26	18.71
Verchères	15720	17.59	47	18.33
Contrecoeur	15790	16.18	12	17.20
Lavaltrie	15973	16.28	9	17.30
Lanoraie	15860	16.49	59	16.59
Des Prairies, Cité de Pont-Viau	043318**	55.09	1	55.57
Des Prairies, 1.0 mi aval Route 25	043317***	29.07	5	28.78
Des Prairies, île Maheu	043319**	-	-	20.45

* Elévation géodésique (GD), IGLD = G.D. - 0.27 à Carillon, basé sur le limnographe de Ste-Anne-de-Bellevue.

** Limnographes du Ministère des Richesses Naturelles du Québec.

*** Echelle du MRN du Québec.

--- Pas de mesure le 12 juillet 1969

TABLEAU 2.3 - LOCALISATION DES LIMNOGRAPHES DANS L'ESTUAIRE

(DATUM IGLD 1955)

Station	No.	Latitude nord	Longitude ouest	Elévation des limnographes	Moyenne annuelle (10 ans)	Tronçon	Distance du noeud amont (pi)
Lanoraie	15860	45°57.56'	73°12.90'	39.19	16.23	45	0
Sorel	15930	46°02.82'	73°06.96'	47.30	15.79	45	44,540
Louiseville	15972	46°13.29'	72°55.51'	44.15	14.13	45	126,380
Port-St-François	15995	46°16.35'	72°37.16'	24.83	13.23	46	4,800
Trois-Rivières	3360	46°20.10'	72°32.64'	28.73	12.96	46	34,400
Champlain	3350	46°26.42'	72°20.42'	39.46	11.21	47	13,100
Batiscan	3345	46°30.04'	72°14.82'	27.96	10.33	47	54,300
Brickyards**	3337	46°33'	72°09.0'	154.09	5.46(1)*	47	84,500
Cap-à-la-Roche	3335	46°33.77'	72°06.38'	154.09	8.31	47	98,000
Grondines	3325	46°35.11'	72°02.34'	24.88	7.21	47	117,000
Portneuf	3300	46°40.91'	71°52.72'	17.20	4.39	49	4,300
Neuville	3280	46°41.79'	71°34.42'	57.52	3.41(7)*	49	86,100
Lauzon	3250	46°49.80'	71°09.93'	19.36	1.72	49	208,200
St-François	3100	46°59.79'	70°48.57'	16.33	0.87	51	30,700

* Nombre d'années si différent de 10.

** Limnographe temporaire.

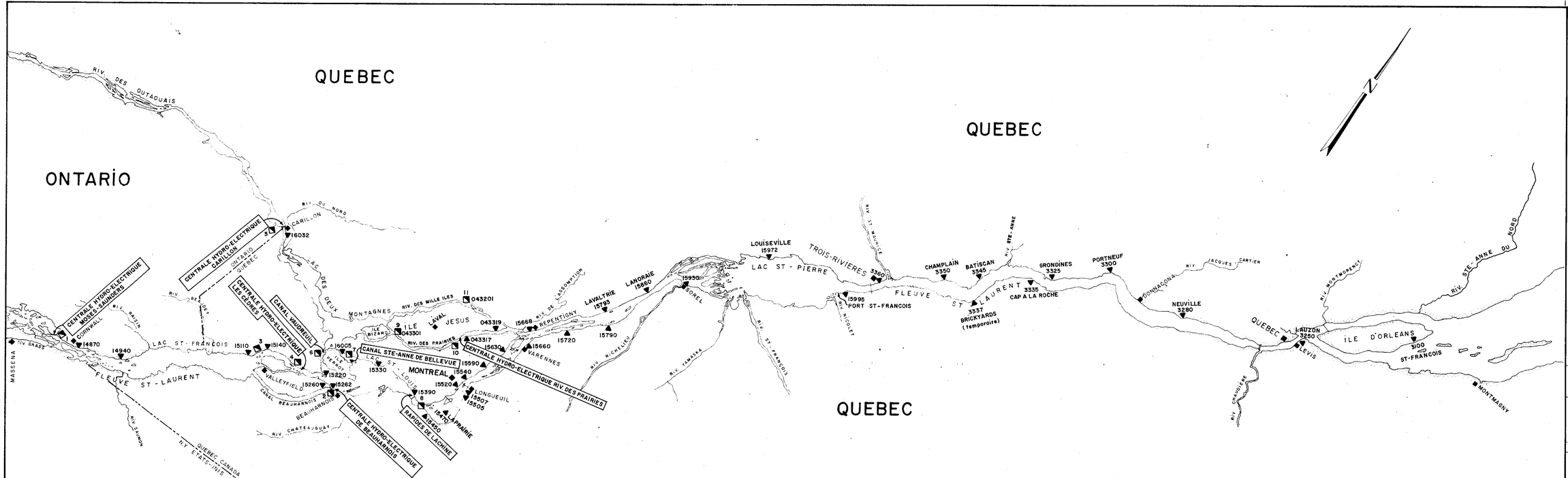
TABLEAU 2.4 - NIVEAUX D'EAU HORAIRE MESURES LES 12 ET 13 JUILLET 1969

SOUS-RESEAU 5

15860 LANORAIE												
16.52	16.52	16.52	16.51	16.51	16.52	16.53	16.53	16.57	16.60	16.61	16.61	16.63
16.66	16.68	16.69	16.68	16.68	16.67	16.68	16.69	16.70	16.71	16.72	16.76	
15930 SOREL												
16.03	16.02	16.03	16.03	16.02	16.02	16.04	16.07	16.11	16.12	16.15	16.16	16.16
16.20	16.21	16.19	16.21	16.20	16.22	16.18	16.21	16.22	16.23	16.26	16.29	
15972 LOUISEVILLE												
14.35	14.34	14.34	14.32	14.28	14.26	14.39	14.46	14.55	14.56	14.59	14.57	14.58
14.62	14.56	14.52	14.50	14.46	14.43	14.51	14.55	14.55	14.61	14.61	14.63	
15995 PORT ST-FRANCOIS												
13.13	13.09	13.03	13.00	13.02	13.23	13.55	13.53	13.50	13.50	13.52	13.49	13.42
13.35	13.28	13.26	13.20	13.21	13.31	13.42	13.46	13.44	13.43	13.39	13.31	
3360 TROIS-RIVIERES												
12.77	12.71	12.65	12.78	13.22	13.48	13.31	13.24	13.23	13.37	13.19	13.10	13.02
12.95	12.91	12.88	12.91	13.12	13.24	13.20	13.16	13.15	13.08	12.95	12.89	
3350 CHAMPLAIN												
10.47	10.39	10.57	11.51	12.45	12.49	12.19	11.87	11.63	11.43	11.30	11.11	10.90
10.74	10.57	10.67	11.13	11.70	11.79	11.66	11.47	11.31	11.13	10.93	10.76	
3337 BRICKYARDS												
7.67	8.77	10.47	11.57	11.37	10.87	10.37	9.87	9.27	8.87	8.57	8.17	7.87
7.67	8.47	9.57	10.47	10.27	9.97	9.57	9.17	8.77	8.37	8.07	7.77	
3345 BATISCAN												
9.16	9.32	10.15	11.54	12.00	11.79	11.43	11.02	10.64	10.33	10.13	9.87	9.62
9.40	9.41	9.88	10.73	11.04	10.97	10.75	10.49	10.25	9.98	9.74	9.50	
3335 CAP-A-LA-ROCHE												
6.43	8.15	10.31	11.67	11.32	10.45	9.73	9.07	8.43	7.79	7.39	6.80	6.36
6.39	7.57	9.20	10.40	10.02	9.35	8.81	8.30	7.72	7.24	6.74	6.41	
3300 PORTNEUF												
6.22	8.79	10.52	10.36	8.43	6.66	5.08	3.52	2.18	0.88	-0.37	-0.90	2.12
5.31	7.48	9.01	8.53	6.86	5.21	3.87	2.49	1.38	0.23	0.60	4.72	
3280 NEUVILLE												
6.68	8.98	9.59	8.64	6.74	4.83	3.06	1.42	-0.13	-1.51	-2.16	0.46	3.01
5.49	7.64	8.05	6.74	5.07	3.42	1.80	0.26	-0.85	-0.22	2.62	5.45	
3250 QUEBEC (LAUZON)												
8.24	9.05	6.80	4.43	2.62	0.54	-1.60	-3.36	-4.84	-5.06	-1.14	2.37	4.71
6.13	6.45	4.43	2.60	0.90	-1.14	-2.87	-3.75	-1.88	2.06	5.29	7.92	
3100 ST-FRANCOIS												
9.23	7.30	4.29	1.34	-0.93	-3.06	-4.81	-6.07	-5.26	-1.87	1.55	4.45	6.41
6.31	4.54	1.98	-0.33	-2.18	-3.62	-4.41	-2.68	1.00	4.57	7.85	9.99	

* Niveaux sur base IGLD (1955) débutant le 12 juillet à 4h a.m. (heure normale de l'est)

Aucune mesure disponible à la station 3325, Grondines.



LEGENDE 2-10

3300 ▼ LIMNOGRAPHE

◪ STATION DE JAUGEAGE

CANADA
ENVIRONNEMENT CANADA
MINISTERE DES TRANSPORTS

QUEBEC
LES SERVICES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES

FLEUVE ST-LAURENT
MODELES MATHEMATIQUES DE SIMULATION

LOCALISATION DES LIMNOGRAPHES

ECHELLE 1 : 500,000 | PLANCHE Nº: 2

SURVEYER, NENNIGER & CHENEVERT INC.
CARRIER TROTTIER AUBIN
CONSULTANTS

08/74

Ce tableau localise la station et donne les niveaux horaires sur la base IGLD de 4 heures a.m. le 12 jusqu'à 4 heures a.m. le 13 juillet 1969.

Il est à noter que les niveaux d'eau dans l'estuaire (sous-réseau 5) se réfèrent au IGLD - 1955 et servent à la vérification directe du modèle. Contrairement à la partie en amont de Lanoraie, où nous avons ajouté 100 pieds à la base IGLD, nous obtenons dans le sous-réseau 5 des valeurs négatives pour les profondeurs et les élévations.

Pour de futures références, les données des limnographes temporaires suivants peuvent compléter celles des limnographes permanents:

- Quai de l'Immigration, Québec (3251), octobre 1971.
- Bassin de la rivière St-Charles (3246), octobre 1971.
- Pointe-au-Pic (3045), avril à octobre 1971 et octobre 1970.
- St-Irénée (3048), mai et juin 1971.
- Pointe-aux-Orignaux (3160), mai et juin 1971.
- Les Escoumins (2900), de mai à septembre 1969 et 1970.
- St-Siméon (3030), de mai à septembre 1969 et 1970.

2.4 Données sur les débits.

Sur la planche No 2, on peut voir la localisation des stations de jaugeage de débits. Les débits utilisés comme conditions limites pour la vérification hydrodynamique sont montrés au tableau 2.5. Les débits mesurés ont subi des modifications basées principalement sur les résultats de vérification obtenus de l'étape I (1) et c'est pour cette raison que les valeurs montrées au tableau 2.5 ne coïncident pas avec les mesures aux stations de jaugeage. Ces dernières mesures sont, de toute façon, probablement entachées d'erreurs ou d'imprécisions.

Le débit total d'eau en aval de l'île Ste-Hélène, le 12 juillet 1969, était de 332,940 p.c.s. (mesures à LaSalle, Canal de Lachine et Voie Maritime ajoutées) tandis que si l'on considère les mesures à Bauharnois, les Cèdres, Vaudreuil, Ste-Anne-de-Bellevue et le débit de la rivière Châteauguay, le débit pour la même journée serait de 320,172 p.c.s., c'est-à-dire accusant une différence d'environ 4%, donnant ainsi une idée de la grandeur des imprécisions ou erreurs.

TABLEAU 2.5 - CONDITIONS STABLES DE DEBITS D'EAU LE 12 JUILLET 1969

(Conditions limites utilisées pour la vérification hydrodynamique)

No. de la Station	Localisation	Débit, p.c.s.
1	Cornwall	297,000
2	Barrage Beauharnois	257,800
3	Barrage Côteau	39,200
4	Barrage des Cèdres	40,100
5	Barrage Carillon	69,800
6	Canal Vaudreuil	11,300
7	Canal Ste-Anne-de-Bellevue	19,800
8	Rapides de Lachine	329,000
9	Rapides du Cheval Blanc	39,900
10	Centrale des Prairies	39,900
11	Pont-Route 65, Rivière des Mille-Iles	6,100

Les débits employés aux conditions limites amont à Lanoraie pour la région estuaire, du 8 au 12 juillet 1969, sont respectivement 373,600 p.c.s., 375,500 p.c.s., 376,500 p.c.s., 378,300 p.c.s. et 379,500 p.c.s. Ils correspondent à l'ensemble des débits mesurés à LaSalle, au canal de Lachine, à la Voie Maritime du Saint-Laurent, aux Rivières Mille-Iles et des Prairies et au débit de la rivière L'Assomption.

Il n'y a aucune mesure des débits du St-Laurent en aval de Lanoraie. On a considéré l'apport des principaux tributaires (10) pour déterminer l'écoulement dans l'estuaire. Les localisations des tributaires de même que leurs débits moyens approximatifs pour la période du 8 au 12 juillet 1969 sont montrés au tableau 2.6; quelques tributaires de moindre importance dans le sous-réseau 5 sont également mentionnés. L'importance des contributions de ces tributaires est évidente, étant donné que leurs débits représentent plus de 13% du débit total du St-Laurent à Lanoraie, leur bassin de drainage ayant environ 40,000 milles carrés. Il est évident aussi que l'importance relative des rivières diminue lorsqu'on approche des sections du fleuve très affectées par les marées (voir la section 4.6.2).

2.5 Données sur la qualité des eaux.

2.5.1 Cours d'eau.

Les données de base qui ont servi à établir certains paramètres de la qualité de l'eau du fleuve St-Laurent et de ses tributaires de même que des rivières des Prairies et des Mille-Iles proviennent des sources suivantes:

- fleuve St-Laurent et ses tributaires:

  a) rapports des Services de Protection de l'Environnement sur leurs campagnes de relevés de 1972 et 1973

  b) rapport de "Environmental Research, division of Korab Marine Ltd" sur leurs relevés du St-Laurent en juillet et septembre 1972.

  c) étude effectuée pour le compte d'Environnement-Canada par Centreau (1971).

- Rivière des Prairies et des Mille-Iles:

  rapport de la Régie des Eaux du Québec (1972). Ce rapport traite également du lac des Deux-Montagnes.

- Rivière des Outaouais (à partir de Carillon):

  rapport publié par la Régie des Eaux du Québec et l'Ontario Water Resources Commission" en 1971

TABLEAU 2.6 - DEBITS ET LOCALISATION DES PRINCIPAUX TRIBUTAIRES DU ST-LAURENT ENTRE LANORAIE ET MONTMAGNY

No.	Rivière	Tronçon	Distance du noeud amont, pi	Bassin de drainage mi^2	Débit moyen journalier, p.c.s. (juillet 1969)				
					8	9	10	11	12
-	à Lanoraie	45	0	-	373,600	375,500	376,500	378,300	379,500
1	Richelieu	45	43,400	8,510	12,600	12,200	12,200	12,200	11,600
2	Yamaska	45	105,200	1,190	740	590	510	500	1,080
2	St-François	45	105,200	3,710	4,930	4,100	3,460	3,640	5,400
3	du-Loup*	45	126,400	1,542	980	690	640	610	630
3	St-Maurice	46	42,200	16,300	18,000	19,100	19,700	20,200	19,200
3	Bécancour	46	63,400	394	380	280	280	280	280
4	Batiscan	47	63,360	1,730	1,580	1,470	1,430	1,410	1,470
4	Ste-Anne	47	73,920	640	840	760	760	820	1,460
4	Jacques Cartier**	49	38,700	997	1,440	1,460	1,010	1,100	2,010
5	Chaudière***	49	163,700	2,523	1,960	1,500	1,280	1,140	1,200
5	Etchemin	49	174,200	576	420	340	310	320	660
-	Montmorency	53	15,840	425	800	680	610	600	2,430
-	Ste-Anne du Nord	53	105,600	376	420	430	400	500	2,700
	TOTAL			38,913	45,090	43,600	43,590	43,320	50,120
	% du débit à Lanoraie				12.1	11.6	11.3	11.4	13.2

* inclut les rivières Maskinongé et Nicolet

** inclut la rivière Portneuf

*** inclut la rivière St-Charles

NOTE: Les débits des rivières avec le même No. ont été combinés pour la simulation.

Dans plusieurs cas, il a fallu faire des interprétations pour déterminer la qualité de l'eau, soit parce que les stations d'échantillonnage étaient localisées à des endroits différents de nos points de contrôle ou encore parce qu'il y avait un écart appréciable entre les quelques statistiques que nous possédions sur la valeur des paramètres étudiés. Il faut noter de plus que les conditions imposées au modèle mathématique, en ce qui concerne particulièrement le débit et la température, ne sont pas nécessairement les mêmes que celles qui ont prévalu en nature au moment des prélèvements d'échantillons; ainsi on peut retrouver des écarts dans les valeurs mesurées en nature et les valeurs simulées par le modèle.

2.5.2 Charges de pollution.

L'établissement des charges de pollution déversées dans le fleuve St-Laurent ne fut pas chose facile car il n'existe pas à notre connaissance d'inventaire systématique au Québec qui nous permette de connaître rapidement la nature et le point de localisation des déversemements d'eaux usées domestiques, industrielles et autres.

Les données qui nous ont servi à établir ces charges de pollution proviennent principalement des sources suivantes:

- Rapports d'études régionales d'assainissement des eaux usées publiés par les Services de Protection de l'Environnement et par la Régie des Eaux du Québec.

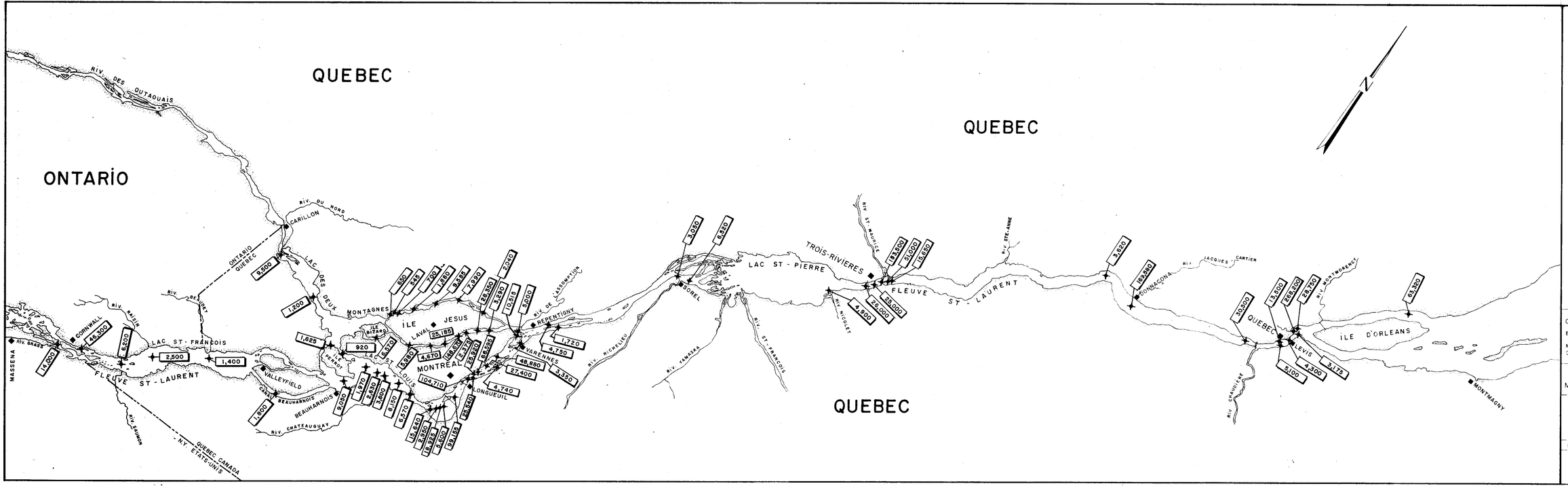
- Services d'Assainissement des Eaux de la Communauté Urbaine de Montréal pour le territoire de la CUM. Cet organisme a commencé en 1973 un programme d'échantillonnage des eaux usées de ses principaux émissaires et nous a transmis ses données qui ont été utilisées intégralement dans l'étude présente.

- Service Industriel des Services de Protection de l'Environnement sur certaines industries.

- Rapport de la qualité des eaux des rivières des Mille-Iles et des Prairies par la Régie des Eaux du Québec. Ce rapport a servi à l'établissement des charges de la ville de Laval.

Les charges de DBO qui sont montrées à la planche No 3 représentent la demande carbonacée ultime (CDBO). Cette demande est celle qui fut utilisée comme charge dans le modèle de simulation. D'après Thomann, les eaux usées domestiques ont une concentration en $CDBO_5$ de 180 mg/l alors que la demande ultime CDBO possède une concentration moyenne de 220 mg/l, ce qui signifie que le rapport $\frac{\text{CDBO ult.}}{CDBO_5}$ est de 1.22 (12).

Nous avons majoré toutes les charges connues en terme de DBO_5 d'un facteur de 1.22 pour obtenir la demande biochimique en oxygène ultime carbonacée.



LEGENDE

2-18

5,000 — CHARGE EN LBS. DBO/jour

NOTE: LES CHARGES DE POLLUTION DES RIVIERES RICHELIEU, YAMASKA, ST-FRANCOIS ST-MAURICE ET JACQUES-CARTIER NE SONT PAS INDIQUEES. LEURS APPORTS ONT ETE INCLUS SOUS FORME DE CONCENTRATION AVEC LES DEBITS.

CANADA
ENVIRONNEMENT CANADA
MINISTERE DES TRANSPORTS

QUEBEC
LES SERVICES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES

FLEUVE ST-LAURENT
MODELES MATHEMATIQUES DE SIMULATION

POINTS D'INJECTION

ECHELLE 1 : 500,000 | PLANCHE Nº 3

SURVEYER, NENNIGER & CHENEVERT INC.
CARRIER TROTTIER AUBIN
CONSULTANTS

Règle générale, nous avons utilisé dans les municipalités une charge per capita de 0.25 lb de CDBO/jour afin de tenir compte des charges industrielles mineures non déterminées et du rapport entre la demande ultime et la demande à 5 jours. Les charges de pollution des principales industries ont été établies séparément des charges domestiques.

La demande biochimique en oxygène azotée NDBO sera traitée plus loin au chapitre 3 avec l'étude des nutriments.

Plusieurs tributaires du St-Laurent ont été considérés comme étant des points d'injection de charges d'eaux usées. Ces rivières n'étaient pas incluses comme apport d'eau du St-Laurent dans le modèle hydrodynamique. Pour établir leurs charges, nous avons multiplié le débit de la rivière pour la journée de l'échantillonnage par la concentration du paramètre considéré.

Les tableaux 2.7 à 2.12 montrent les points d'injection et leur charges en lb DBO/jour pour chacun des cinq sous-réseaux.

TABLEAU 2.7 - POINTS D'INJECTION DES CHARGES D'EAUX USEES

SOUS-RESEAU 1

No. des points d'injection	Tronçon	Distance du noeud amont en pieds	Charges en lb DBO/jour	Identification
1	3	21,000	46,300	Cornwall
2	2	4,500	14,000	Massena
3	8	37,500	2,500	Rivière Raisins
4	9	10,500	6,200	Rivière aux Saumons
5	10	40,000	1,400	Rivière Beaudet
6	11	39,000	1,800	Dominion Textile

TABLEAU 2.8 - POINTS D'INJECTION DES CHARGES D'EAUX USEES

SOUS-RESEAU 2

No. des points d'injection	Tronçon	Distance du noeud amont en pieds	Charges en lb DBO/jour	Identification
1	25	22,800	9,500	Rivière du Nord
2	28	28,600	1,200	Hudson
3	300	0	1,625	Dorion
4	310	1,800	920	Ste-Anne-de-Bellevue
5	310	26,900	1,970	Beaconsfield & Baie d'Urfé
6	310	38,150	2,630	Pointe-Claire
7	310	45,650	3,600	Pointe-Claire
8	15	8,750	9,050	Beauharnois
9	16	0	8,150	Rivière Châteauguay
10	16	5,600	6,570	Dorval

TABLEAU 2.9 - POINTS D'INJECTION DES CHARGES D'EAUX USEES

SOUS-RESEAU 3B

No. des points d'injection	Tronçon	Distance du noeud amont en pieds	Charges en lb DBO/jour	Identification
1	17	200	15,640	LaSalle
2	17	5,000	2,950	Ste-Catherine, St-Constant, Delson
3	17	8,000	18,925	Verdun
4	17	12,000	5,600	Candiac, Laprairie
5	17	26,000	99,155	Collecteur St-Pierre (CUM)
6	18	12,435	104,710	Collecteur Sherbrooke (CUM)
7	19	16,625	25,540	Collecteur Voie Maritime
8	20	5,675	25,920	Longueuil
9	20	7,760	66,595	Collecteur Molson (CUM)

TABLEAU 2.10 - POINTS D'INJECTION DES CHARGES D'EAU USEES

SOUS-RESEAU 3A

No. des points d'injection	Tronçon	Distance du noeud amont en pieds	Charges en lb DBO/jour	Identification
1	21	16,670	4,740	Boucherville
2	21	48,600	3,350	Varennes
3	22	9,720	27,400	Collecteur Mercier (CUM)
4	22	21,370	48,880	Raffineries & Montreal-Est
5	24	16,000	10,515	Pointe-aux-Trembles
6	39	12,000	5,000	Rivière l'Assomption
7	42	37,000	1,720	Verchères
8	43	1,000	4,750	Repentigny

TABLEAU 2.11 - POINTS D'INJECTION DES CHARGES D'EAUX USEES

SOUS-RESEAU 4

No. des points d'injection	Tronçon	Distance du noeud amont en pieds	Charges en lb DBO/jour	Identification
1	34	28,000	6,570	Pierrefonds
2	37	6,700	5,980	Pierrefonds
3	37	25,300	4,670	Ville de Laval
4	38	9,840	25,185	Ville de Laval
5	55	10,000	148,670	Ville de Montréal (0-8)
6	55	7,300	2,375	Ville de Laval
7	55	18,540	28,350	Ville de Montréal
8	55	28,750	3,290	Ville de Montréal
9	58	9,200	650	Deux Montagnes
10	59	1,450	545	Laval-Ouest
11	59	4,600	700	St-Eustache
12	59	18,950	1,880	Ville de Laval
13	59	38,300	9,585	Ste-Thérèse, Rosemère, Blainville
14	59	57,700	7,990	Ville de Laval
15	61	650	2,040	Terrebonne

TABLEAU 2.12 - POINTS D'INJECTION DES CHARGES D'EAUX USEES

SOUS-RESEAU 5

No. des points d'injection	Tronçon	Distance du noeud amont en pieds	Charges en lb DBO/jour	Identification
1	45	33,700	3,050	Tracy
2	45	36,300	6,520	Sorel, St-Pierre-de-Sorel
3	45	198,000	4,900	Rivière Nicolet
4	46	23,620	26,000	Trois-Rivières, Trois-Rivières Ouest
5	46	31,660	25,000	Trois-Rivières (Père Daniel)
6	46	38,960	153,500	Trois-Rivières (C.I.P.)
7	46	44,260	51,000	Consol. Bathurst
8	46	46,460	15,650	Cap-de-la-Madeleine, Consol. Bathurst
9	49	3,800	3,620	Portneuf
10	49	40,680	169,580	Donnacona
11	49	153,180	30,500	Collecteur Ste-Foy
12	49	174,240	5,100	St-Romuald d'Etchemin
13	49	183,240	13,500	Versant sud Québec
14	49	198,740	4,300	Lévis
15	49	204,040	268,200	Anglo Pulp & Paper
16	49	206,040	28,750	Collecteur Québec
17	49	208,340	3,175	Lauzon
18	53	103,000	63,320	Beaupré (Abitibi Ste-Anne)

2.6 Déficiences dans les données.

2.6.1 Niveaux d'eau, débits et données du CNR.

Les données hydrographiques utilisées dans la vérification des sous-réseaux 1 à 3 sont les mêmes que celles rapportées dans le rapport du 31/3/73 (1) avec quelques corrections et certains raffinements, tel que mentionné au chapitre 4. Il n'y a encore aucune donnée de disponible pour la section du St-Laurent au nord de l'Île Salaberry entre Côteau-Landing et l'Ile des Cascades et pour le chenal Perdu entre Valleyfield et la paroisse de St-Timothée. Ces deux tronçons sont localisés dans un secteur où des sources de pollution existent dû à la présence d'une concentration appréciable d'industries.

Nous avons reçu récemment de nouvelles cartes montrant les profondeurs d'eau dans les sections de Vaudreuil et Ste-Anne-de-Bellevue; les données recueillies peuvent nous donner une meilleure simulation de ces zones. Concernant les données hydrographiques du Conseil National de la Recherche, on a dû apporter une attention particulière lors de leur intégration dans le modèle car on a détecté quelques erreurs dans le calcul des aires d'écoulement; celles-ci ont été corrigées par la suite. On a admis que les données sur les largeurs (BD_n) étaient correctes. L'orientation des sections transversales telle que montrée sur les cartes entre Trois-Rivières et Lanoraie est incertaine, n'ayant reçu aucun profil du CNR à ce sujet; les sections transversales ont toutefois été tracées perpendiculairement à la ligne des plus grandes profondeurs au lac St-Pierre et ses environs (voir figures A-11 et A-12, en annexe A-1)

Nous n'avons pas encore détecté les erreurs probables dans les débits originaux des quelque onze limnographes localisés dans la partie amont; nous avons alors utilisé les données montrées au tableau 2.5. Le nombre limité de limnographes dans quelques tronçons nous a empêchés de faire une vérification plus complète des profils d'eau dans le modèle, tel que mentionné en détail au chapitre 4.

2.6.2 Qualité des eaux.

2.6.2.1 Etablissement des charges de pollution.

Tel que mentionnée à l'article 2.5, il n'existe pas à l'heure actuelle d'inventaire systématique permettant d'établir rapidement les charges de pollution des émissaires qui se deversent dans le St-Laurent. Les Services de Protection de l'Environnement ont confié certaines études sur les effluents urbains mais cela ne couvre pas tous les émissaires et tous les paramètres de la qualité de l'eau: à titre d'exemple, dans l'étude des effluents urbains entre Cornwall et Varennes, on n'a pas fait d'analyses sur le DBO alors que c'est un des principaux paramètres que nous avons considérés dans la simulation de la qualité de l'eau.

Au niveau industriel il a fallu, dans plusieurs cas, utiliser des valeurs théoriques car il n'y avait aucune mesure de disponible sur ces effluents. Dans bien des cas, aucune donnée n'était disponible sur les débits et les procédés industriels: notre mandat ne nous permettait pas de faire une telle recherche. Il semble que le seul paramètre réellement connu à l'heure actuelle dans les industries est la DBO: par exemple, sur les industries de pâtes et papier, il nous est impossible de connaître les déversements de lignines et leur nature exacte; on peut toutefois connaître de façon précise les charges de DBO déversées.

On ne connait que très peu de chose des rejets de substances toxiques résultant principalement des activités industrielles. "Les substances organiques biodégradables telles que les huiles, les phénols, les pesticides et les herbicides, même lorsqu'elles sont présentes à l'état de traces dans le milieu aquatique, exercent un stress considérable sur les écosystèmes. Leur toxicité sera fonction de leur mode d'injection dans l'écosystème aquatique, de la saison et du type d'écosystème affecté" (11).

En résumé, pour étudier le comportement du fleuve St-Laurent avec plusieurs paramètres, il faudrait avoir une connaissance plus approfondie des éléments qui y sont déversés.

Il y aurait lieu d'établir les apports des industries et des municipalités de même que ceux des tributaires pour les paramètres suivants: débit, DBO, DCO, phosphates inorganiques totaux, phosphates organiques, azote organique total, lignines conservatrices, lignines dégradables, les coliformes fécaux. En ce qui concerne les tributaires, il faudrait préciser également la concentration en oxygène dissous, la température de l'eau, les apports de zooplancton et de phytoplancton de même qu'une connaissance générale des autres éléments physiques, chimiques et biologiques.

2.6.2.2 Qualité de l'eau du St-Laurent.

Nous avons éprouvé beaucoup de difficultés pour tracer le profil de la qualité de l'eau du St-Laurent pour l'oxygène dissous et la demande biochimique en oxygène. Ceci est dû principalement aux causes suivantes:

- notre base de référence pour identifier ce parcours du St-Laurent était différente de celle utilisée par les Services de Protection de l'Environnement. Pour les fins de notre étude, le St-Laurent était divisé en réseaux et tronçons et les distances exprimées en pieds selon une ligne de parcours qui n'était pas toujours le chenal, alors que les S.P.E. exprimaient leurs distances en milles en longeant le chenal à partir d'un millage zéro aux Grands-Lacs.

- dans le modèle de simulation de la qualité de l'eau, nous devons commencer avec certaines conditions aux limites amont. Il arrive

que dans plusieurs cas, il n'y avait aucune station d'échantillonnage à ces frontières et nous devions interpoler pour déterminer ces valeurs. A titre d'exemple, le sous-réseau 1 débute à la centrale hydroélectrique de Moses-Saunders, soit en amont de Cornwall, alors que la station d'échantillonnage la plus près est en aval de Cornwall.

- il n'y a que très peu de statistiques disponibles sur la qualité de l'eau pour déterminer de façon précise certaines valeurs. On peut obtenir plusieurs résultats de l'oxygène dissous à un endroit donné mais à des conditions différentes de température (variations de 3.5°C à 24.0°C) et de débits. Cela vaut également pour plusieurs paramètres. De plus, dans la section de l'estuaire, les valeurs peuvent changer en fonction des marées, ce qui ajoute un autre facteur à celui de la température et du débit.

Aux Rapides de Lachine, le débit utilisé dans le modèle est de 329,000 pi.cu./sec. Les données transmises par la Direction Générale des Eaux Intérieures d'Environnement - Canada à sa station de jaugeage de LaSalle sont indiquées au tableau 2.13.

On peut voir d'après ce tableau que les variations de débit sont appréciables et peuvent certes affecter plusieurs paramètres de la qualité de l'eau à cause du changement de facteur de dilution.

A notre avis, il y aurait avantage à installer des stations permanentes de contrôle de la qualité de l'eau dans le St-Laurent à des endroits précis et choisis minutieusement afin de constituer une banque de données valables basée sur un minimum d'échantillons représentatifs du milieu et des conditions naturelles qui s'y déroulent.

Plusieurs études sont en cours présentement afin de connaître la qualité des eaux du St-Laurent. Un nombre imposant de résultats qualitatifs seront compilés. Il y aurait avantage, à notre avis, à concentrer ces échantillonnages à quelques points bien précis tel qu'en aval de Cornwall, au lac St-François, aux barrages de Beauharnois et Carillon, aux lacs St-Louis et des Deux-Montagnes, au confluent de la rivière des Prairies et du St-Laurent, à Lanoraie, à Champlain, au pont de Québec et à Montmagny. Des échantillonnages permanents à ces endroits, permettraient de connaître l'évolution de la qualité de l'eau dans le temps, dans l'espace et en fonction du débit et de la température. On pourrait établir également la qualité de l'eau selon des axes transversaux à l'écoulement sur tout le parcours du St-Laurent.

Pour l'instant, il y aurait lieu de compiler les statistiques existantes sur les résultats qualitatifs afin d'établir des valeurs moyennes et de voir l'influence du débit et de la température sur les différents paramètres qualitatifs. On pourrait de plus, établir les zones de stratification et de mélanges de l'eau afin d'être en mesure de vérifier le modèle mathématique de simulation à partir de valeurs statistiques consistantes.

TABLEAU 2.13 - DEBITS ENREGISTRES A LA STATION DE JAUGEAGE DE LASALLE

Mois	Débit moyen mensuel $pi^3/s \times 10^3$	Débit minimum journalier $pi^3/s \times 10^3$	Débit maximum journalier $pi^3/s \times 10^3$
1972			
Janvier	250	220	274
Février	260	238	279
Mars	284	254	312
Avril	358	297	416
Mai	399	345	446
Juin	355	331	404
Juillet	363	347	387
Août	351	342	375
Septembre	341	330	353
Octobre	337	317	351
Novembre	346	323	373
Décembre	313	264	344
1973			
Janvier	305	276	341
Février	317	277	345
Mars	387	331	471
Avril	408	380	456
Mai	404	384	426
Juin	393	379	414
Juillet	375	353	397
Août	345	326	367
Septembre	335	326	346
Octobre	321	307	349
Novembre	321	308	338
Décembre	305	264	332

3. MODELE DE LA QUALITE DE L'EAU

3.1 Conception du modèle

Daily et Harleman (4) étendirent l'application du modèle numérique aux paramètres de la qualité de l'eau afin de prédire leurs valeurs dans les cours d'eau et leurs estuaires. Ce modèle est basé sur des équations de continuité qui sont résolues pour un réseau comportant des segments avec des sections variables et utilisant la méthode des éléments finis en vu d'obtenir une meilleure précision et un calcul plus rapide.

Le modèle est conçu de façon à représenter le cours d'eau par des segments et des noeuds. Il peut étudier l'intrusion de l'eau salée et les mélanges eaux douces - eaux salées dans la région de l'estuaire du fleuve. Les débits et les volumes d'eau requis pour ce modèle proviennent des données hydrauliques recueillies pour le modèle hydrodynamique (voir rapport du 31/3/73, chap. 3 pour sa description complète).

Nous exposerons dans les pages qui suivent certaines données sur les paramètres qui ont été considérés l'an dernier, soit la salinité, la température, l'oxygène dissous et la demande biochimique en oxygène. Par la suite, on fera état des recherches qui ont été effectuées sur la possibilité d'inclure trois nouveaux groupes de paramètres dans le modèle existant du fleuve Saint-Laurent.

Ces paramètres sont:

a) nutriments
b) coliformes
c) lignines

Pour chaque paramètre étudié, une méthode de simulation est proposée. Compte tenu des recherches intensives qui se font dans le domaine de la simulation de la qualité de l'eau, il n'y a aucun doute que l'avenir sera témoin d'améliorations substantielles par rapport aux méthodes proposées ici. Néanmoins, nous croyons que celles-ci sont aptes à décrire, du moins en première approximation, le comportement respectif de ces paramètres dans les eaux du fleuve Saint-Laurent.

En ce qui concerne les nutriments, l'azote et le phosphore seront étudiés. De façon à simuler ces paramètres, il a été jugé nécessaire de simuler également certains organismes dans le biotope qui sont étroitement liés au comportement des nutriments. On améliorera également le modèle d'oxygène dissous car sa concentration est liée à l'évolution des nutriments.

Le modèle établi pour simuler les bactéries coliformes le sera en fonction des coliformes fécaux plutôt qu'en relation avec les coliformes totaux, les bactéries d'origine fécale constituant un meilleur indicateur de la qualité de l'eau.

Le modèle développé pour la lignine pourra simuler deux catégories principales de déversements définies d'après les procédés de transformation du bois de pulpe.

3.2 Salinité, température, oxygène dissous et DBO.

La salinité, la température, l'oxygène dissous (OD) et la demande biochimique en oxygène (DBO) sont les paramètres qui avaient été considérés dans le modèle mathématique de simulation de l'an dernier (1) (voir figure 3.1).

La distribution de chacun de ces paramètres est obtenue par la solution séquentielle des équations de conservation de masse lesquelles incluent les mécanismes de transport, de mélange et de réaction. Pour déterminer le procédé de transport, les conditions hydrauliques sont établies premièrement par une solution combinée des équations de continuité et de quantité de mouvement. Nous assumons que les procédés de réaction sont du premier ordre et que toute variation en plus ou en moins est fonction de la quantité présente. La formulation mathématique du modèle ne dépend pas seulement de cette hypothèse. Une interaction plus complexe entre les paramètres pourra être incluse dans le modèle lorsque les procédés de réaction seront mieux définis.

Etant donné que le modèle mathématique est une solution numérique d'un ensemble d'équations différentielles partielles, la précision des résultats dépend du traitement approprié des conditions aux limites et de la convergence vers les concentrations exactes. La convergence de la solution numérique est fonction des accroissements de longueur Δx et de temps Δt des calculs. Des critères discrétionnaires ont été développés pour servir de guide dans le choix de ces paramètres pour un cours d'eau ou un estuaire donné.

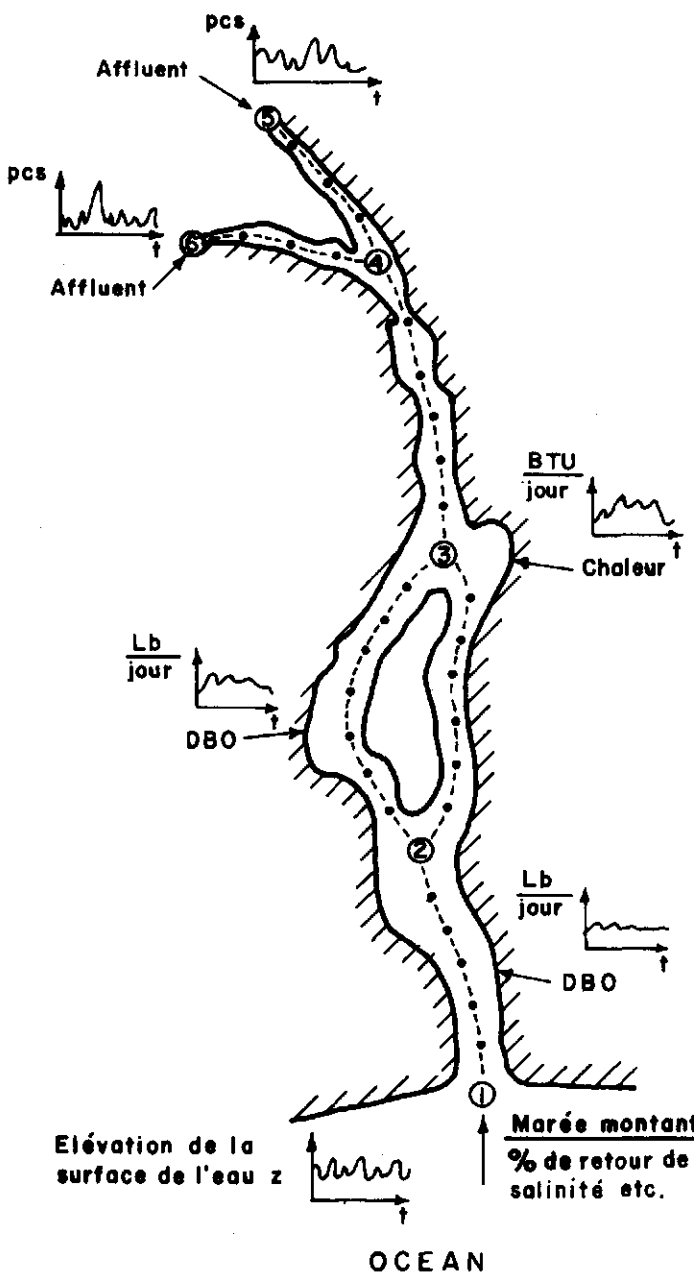
3.2.1 Equation de base

L'équation de base pour simuler la qualité de l'eau est une équation de conservation de masse laquelle inclut les procédés de transport par advection et dispersion et les procédés de réaction où la masse est ajoutée ou enlevée du système:

$$\frac{\partial}{\partial t}(Ac) + \frac{\partial}{\partial x}(Qc) = \frac{\partial}{\partial x}\left(AE\frac{\partial c}{\partial x}\right) + \left\{\frac{r_i}{\rho} + \frac{r_e}{\rho}\right\} A \qquad (3.1)$$

où c = concentration du paramètre.

A = aire de la section transversale.



RESULTATS FOURNIS PAR LE MODÈLE A CHAQUE INTERVALLE DE LONGUEUR ET DE TEMPS DE CALCUL.

1. Elévation de la surface de l'eau, z
2. Débit, Q
3. Salinité, S
4. Temperature, T
5. DBO, L
6. OD, C

Figure 3.1 Diagramme schématique d'un estuaire typique avec plusieurs points d'injection d'eaux usées

Q = débit en période de marée.

E = coefficient de dispersion longitudinal en période de marée.

ρ = densité de l'eau.

r_i = taux de l'addition interne d'une masse par unité de volume en fonction du temps, par génération de substance dans le liquide.

r_e = taux de l'addition externe d'une masse par unité de volume en fonction du temps, par mouvement à travers les frontières du liquide.

Les procédés de réaction représentés par r_i et r_e varieront en fonction des paramètres de la qualité de l'eau considérés. Pour une substance conservatrice telle que la salinité, les deux taux seront nuls. La demande biochimique en oxygène, toutefois est non-conservatrice et sa dégradation dans l'eau est souvent décrite comme une réaction de premier ordre où $r_i = -Kc$. Le coefficient de réaction de premier ordre K est exprimé typiquement dans l'unité de jour^{-1}. Une source externe pourrait être l'apport d'oxygène dissous par transfert de l'air atmosphérique à travers la surface libre d'écoulement.

Si un paramètre quelconque est fonction d'un ensemble de paramètres lesquels agissent les uns sur les autres, une équation de conservation de masse est écrite pour chacun. Pour les quatre constituants considérés, salinité, température, DBO et OD, les équations de conservation de masse sont:

Salinité: $$\frac{\partial}{\partial t}(As) + \frac{\partial}{\partial x}(Qs) = \frac{\partial}{\partial x}\{AE \frac{\partial s}{\partial x}\} \qquad (3.2)$$

Température: $$\frac{\partial}{\partial t}(AT) + \frac{\partial}{\partial x}(QT) = \frac{\partial}{\partial x}\{AE \frac{\partial T}{\partial x}\} - K_T A(T-T_e) \qquad (3.3)$$

DBO: $$\frac{\partial}{\partial t}(AL) + \frac{\partial}{\partial x}(QL) = \frac{\partial}{\partial x}\{AE \frac{\partial L}{\partial x}\} - K_1 AL \qquad (3.4)$$

OD: $$\frac{\partial}{\partial t}(AC) + \frac{\partial}{\partial x}(QC) = \frac{\partial}{\partial x}\{AE \frac{\partial C}{\partial x}\} - K_1 AL + K_2 A\,(C_s - C) \qquad (3.5)$$

où s = concentration de la salinité.

T = température.

T_e = température d'équilibre.

L = concentration de la DBO.

C = concentration de l'OD.

C_s = concentration de saturation de l'OD.

K_T = coefficient de réduction de la température.

K_1 = coefficient de biodégradation de la DBO.

K_2 = coefficient de réaération.

La demande biochimique en oxygène et l'oxygène dissous sont influencés par la température et la salinité en plus de la biodégradation normale exprimée par le terme de réduction $-K_1AL$. Dans les zones affectées par la salinité, les variations de vitesse dans la section transversale sont beaucoup plus grandes que celles en eau douce influencée par la marée; de ce fait, cela accroit les effets de dispersion longitudinale d'un ordre de grandeur de 1 ou 2.

Thatcher et Harleman (3) ont relié le coefficient de dispersion longitudinal E au gradient de salinité locale dans l'espace que dans le temps, et ont obtenu de bons résultats en comparant les valeurs calculées avec les valeurs relevées. Le coefficient de réduction de la DBO, K_1, est dépendant de la température, et C_s, la concentration de saturation de l'oxygène dissous, est fonction du degré de salinité de l'eau.

Le terme le plus important dans l'équation de conservation de masse est celui relatif à l'advection lequel phénomène décrit le mouvement longitudinal par le débit de marée. La méthode la plus directe de déterminer le débit de marée est par la mesure du courant sur place. Cependant, une telle donnée est rarement disponible et il est généralement nécessaire de calculer mathématiquement les débits.

Afin de réduire les erreurs dues à l'arrondissement des valeurs, il est préférable de reformuler l'équation de l'OD en terme de déficit en oxygène dissous (DOD) et de poursuivre les calculs avec une précision normale. Dans les secteurs où les charges de DBO sont nulles, le DOD est voisin de zéro et l'arrondissement des valeurs n'est plus un problème. Aux endroits où la charge

de DBO est appréciable, les erreurs physiques de tolérance dans les coefficients de biodégradation et de réaération, K_1 et K_2, importent plus que les pertes de masse par arrondissement des valeurs. L'équation du DOD peut s'écrire:

$$\text{DOD:} \quad \frac{\partial}{\partial t}(AD) + \frac{\partial}{\partial x}(QD) = \frac{\partial}{\partial x}\{AE \frac{\partial D}{\partial x}\} + K_1AL - K_2AD \qquad (3.6)$$

où $D = C_s - C$.

Une procédure similaire est suivie pour l'équation de la température laquelle est reformulée en terme d'excès de température:

Excès de température:

$$\frac{\partial}{\partial x}(AT^e) + \frac{\partial}{\partial x}(QT^e) = \frac{\partial}{\partial x}\{AE \frac{\partial T^e}{\partial x}\} - K_TAT^e \qquad (3.7)$$

où $T^e = T - T_e$

La salinité résulte de la présence d'une substance conservatrice; donc, il n'y a aucun terme de pertes pour absorber celles de masse dues à l'arrondissement des valeurs. Thatcher et Harleman ont noté de légères pertes de salinité au cours de leurs études; cependant les pertes ne portaient pas à conséquence pour les applications pratiques. Il est probable que la salinité de l'eau de la mer entrant dans l'estuaire pendant le flux compense les pertes dues à l'arrondissement des valeurs.

3.2.2 Calculs dynamiques des coefficients de la DBO et de l'OD.

3.2.2.1 Généralités.

Ces deux réactions, la biodégradation de la DBO et la réaération de l'OD, ont été décrites précédemment selon des taux constants et statiques. Comme les calculs de l'oxygène dissous sont faits en fonction du déficit de sa concentration, (D.O.D.), son point de saturation est une variable connexe. Dans la formulation initiale du modèle de simulation, ces réactions ont été précisées statiquement pour chaque tronçon.

Des recherches ont conduit à l'établissement de rapports entre ces quantités, lesquels permettent leur évaluation en fonction des paramètres de l'eau, tels que la température, la vitesse, l'aire d'écoulement et la salinité. Nous avons inclus de tels paramètres pour mieux représenter les procédés dynamiques. Ces formules incorporent toutefois des constantes évaluées empiriquement;

celles-ci sont placées comme valeurs de substitution dans le programme et l'usager peut les ignorer s'il le désire et préciser de nouvelles valeurs.

3.2.2.2 Coefficient de biodégradation de la DBO.

La formule suivante relie cette réaction avec la température:

$$K_{DBO} = K_{DBO(20)}\,\theta^{(T-20)}$$

Les valeurs de substitution pour $K_{DBO(20)}$ et θ sont respectivement 0.3 $jour^{-1}$ et 1.047. T est la température en degrés centigrades.

3.2.2.3 Coefficient de réaération de l'OD.

Le processus de réaération a été étudié par plusieurs personnes et une variété de modèles mathématiques ont été proposés. Dans l'équation suivante, le coefficient de réaération est la variable K_L pour un volume uniformément mélangé:

$$\frac{d_c}{d_t} = K_L \frac{A_s}{\forall} (C_{Sat.} - C)$$

où: t = temps

A_s = aire d'écoulement

$\forall$ = volume d'eau

C = concentration en OD

$C_{Sat.}$ = point de saturation de l'OD

Les formules pour K_L sont souvent exprimées en relation avec l'expression $A_s/\forall$:

$$K_2 = K_L \frac{A_s}{\forall}$$

et la forme générale découlant de ce rapport s'écrit:

$$K_2 = \text{Const.} \frac{V^a}{H^b}$$

où: V = vitesse moyenne de la section transversale
H = profondeur moyenne
Les constantes a et b sont déterminées expérimentalement.

La température peut également être incorporée:

$$K_2 (T) = K_{2(20)} \theta^{(T-20)}$$

où: θ se situe entre 1.01 et 1.05.

Une excellente revue des diverses formules à été faite par Y.L. Lau en 1972 (49). Vu la grande diversité des équations offertes, il nous a semblé qu'une équation empirique concordante telle que celle formulée par Bennett et Rathbun en 1971 (50), ou par M.K. Bansal en 1973 (51) serait appropriée à notre étude.

L'équation de Bennett et Rathbun est la suivante:

$$K_2 = 8.76 \frac{V^{0.61}}{H^{1.69}}$$

Leurs auteurs précisent que le pourcentage d'erreur peut s'élever à 37.5%.

Bansal a développé un paramètre de réaération, $\frac{K_2 H^2}{\nu}$, (ν = viscosité cinématique) en fonction du nombre de Reynolds. Pour des données relevées en rivière, il obtint l'équation suivante:

$$K_2 = 4.7 \frac{V^{0.6}}{H^{1.4}}$$

Le rapport de concordance avec les valeurs mesurées est de 0.934 et l'erreur moyenne est de 0.131. La figure 2 de la référence (51) montre ce rapport et énumère les quinze rivières utilisées pour le développement de cette équation.

Les unités des équations précédentes sont en jour^{-1} et dans la base logarithmique 10. Pour les convertir en secondes^{-1} et dans la base logarithmique e, il est nécessaire de les diviser respectivement par 86,400 et de les multiplier par 2.31,

L'équation de Bansal devient donc:

$K = 0.000125 \frac{V^{0.6}}{H^{1.4}}$ en secondes^{-1} et dans la base logarithmique e.

Nous avons décidé d'utiliser dans la formulation du nouveau programme, l'équation de Bansal et d'y insérer un paramètre $\theta = 1.016$, pour tenir compte des effets de la température, tel que recommandé par son auteur.

L'équation finale devient:

$$K_2(T) = 0.000125\ (1.016)^{(T-20)}\ \frac{V^{0.6}}{H^{1.4}}$$

Une modification subséquente est souhaitable pour tenir compte de l'influence de $K_2 = \frac{K_1 A_s}{\forall}$; on assume que:

$$\frac{A_s}{\forall} = \frac{1}{H}$$

Cette hypothèse implique une section transversale rectangulaire, ce qui n'est pas représentatif du Saint-Laurent ni de plusieurs autres cours d'eau. Comme le programme utilisé dans cette étude n'est pas restreint à une section rectangulaire, une correction y a été apportée. La largeur totale de la section transversale en surface est une mesure de la surface du tronçon schématisé. Comme cette largeur est un paramètre dynamique, la valeur instantanée est disponible dans le programme et sera utilisée pour simuler le processus de réaération.

Il est nécessaire d'utiliser un nouveau coefficient de réaération K_2' afin d'apporter la correction due à l'hypothèse précitée.

où: $K_2' = \frac{K_2 H A_s}{\forall}$

Pour une section transversale schématisée:

A_s = largeur totale à la surface x Δx.

$\forall$ = surface totale de la section transversale x Δx.

Le coefficient K_2' devient alors

$$K_2' = K_2 H \frac{\text{largeur totale en surface}}{\text{surface totale de la section transversale}}$$

3.2.2.4 Saturation de l'OD en fonction de la température et de la salinité.

On spécifiait auparavant la concentration en oxygène dissous (OD) par tronçon. L'arrangement du programme permet maintenant de calculer le point de saturation de l'oxygène dissous comme une variable dépendante du temps et de la distance, pour les conditions dynamiques des rivières et des estuaires.

Le programme résout l'oxygène dissous en fonction de la salinité et de la température en utilisant l'équation de Fox (52).

L'équation de Truesdale a remplacé celle de Fox, mais des récentes recherches menées par le Laboratoire de Recherches sur la Pollution de l'Eau - "Water Pollution Research Laboratory", indiquent des erreurs systématiques dans les données de Truesdale, à partir de la volatilisation de l'iode par la méthode de Winkler. Une modification de la méthode de Winkler a donné des résultats qui correspondent sensiblement à ceux de Fox.

L'équation de Fox utilisée dans le programme est la suivante:

$$D.O. = 10.291 - 0.2809T + 0.006009T^2 - 0.0000632T^3 - (0.1161 - 0.003922T + 0.0000631T^2)\ Cl‰$$

où: DO = oxygène dissous en ml. à TNP par litre d'eau équilibré avec de l'air sec à une pression totale de 760 mm. Hg.

T = température en ^oC.

Cl‰ = teneur en chlore.

3.3 Nutriments.

3.3.1 Introduction.

Le terme "nutriments" réfère à une variété de composés nécessaires à la croissance des organismes. Les composés utilisés en quantité importante incluent généralement les nitrates, les phosphates et les carbonates appellés macronutriments. De plus, des éléments tels que le sodium, le potassium, le calcium, le soufre, le magnésium, le fer, le zinc, la silice, le cobalt et autres, sont également requis mais en concentration moindre. Les matières requises en très petites quantités sont appelées micronutriments et sont des substances essentielles aux enzymes et aux coenzymes, lesquels contrôlent les procédés bioligiques (36, 37).

Une étude des nutriments en milieu aquatique ne peut être envisagée indépendamment de leur environnement, lequel est fonction des apports météorologiques, des conditions physiques de lumière et de température ainsi que de la nature du biotope. Les raisons en sont doubles. Premièrement, l'absorption et la regénération des nutriments dans les cours d'eau dépendent de la présence et du comportement des organismes vivants. En second lieu, la pollution attribuable aux nutriments est une conséquence du comportement des organismes vivants en leur présence.

Quoiqu'une certaine quantité de nutriments soit essentielle pour la croissance biologique, la situation actuelle résulte souvent d'un problème de surplus plutôt que de déficience. On a évalué que les déversements domestiques de phosphore et d'azote s'élèvent

respectivement à près d'une livre/capita/année et de cinq livres/capita/année. De même, l'apport des terres agricoles par ruissellement est de l'ordre de deux livres/acre/année de phosphore et de quarante livres/acre/année d'azote (35).

Puisqu'une croissance biologique normale ne requiert que de très faibles concentrations de nutriments dans les eaux naturelles (quelque dizaines de ppb), un excès de nutriments peut facilement survenir.

L'effet immédiat de la présence excessive de nutriments se traduit par la stimulation de la croissance de cette partie du biotope connue sous le nom de phytoplancton en autant que les autres conditions de croissance ne sont pas limitatives. Le phytoplancton, ou les algues, sont des producteurs primaires en ce sens qu'ils utilisent la lumière du soleil pour transformer le bioxyde de carbone et l'eau en oxygène et en substances chimiques complexes (photosynthèse). La croissance des algues due à un excès de nutriments est souvent extrêmement rapide, et peut entraîner un ou plusieurs des effets délétères suivants (35):

- Après une période de croissance rapide, "poussée planctonique", la quantité de nutriments disponibles s'épuise et ne peut plus répondre à la demande accrue de cette densité élevée d'algues. De plus, les algues près de la surface de l'eau empêchent la lumière solaire, élément essentiel à la croissance, d'atteindre celles situées à de plus grandes profondeurs. Ces conditions conduisent à une phase de dépérissement, et comme ce processus de décomposition consomme de l'oxygène, on voit apparaître des conditions anaérobies, lesquelles peuvent conduire à la production d'odeurs désagréables (sulfure d'hydrogène) et la destruction du biotope aérobie tel que le poisson.

- L'enrichissement dû aux nutriments occasionnera souvent la prédominance des cyanophycées qui pourront sécréter des toxines.

- Durant la prolifération des algues, la production accrue d'oxygène par le processus de photosynthèse peut entraîner la présence de concentrations d'oxygène excessivement élevées. Des extermination de poissons ont été observées sous ces conditions, probablement dues aux dégagements de gaz qui ont nui au bon fonctionnement des branchies, causant ainsi une défaillance respiratoire.

- Il semble que l'accumulation de cellules d'algues, à la suite d'une poussée planctonique, encourage la prolifération d'insectes.

- Les croissances importantes d'algues altèrent la valeur de l'eau aux points de vue esthétique et récréatif.

La présence des algues est si importante pour la valeur des eaux

naturelles qu'une méthode de classification de la qualité de l'eau a été définie en termes de concentration d'algues, tel qu'indiqué ci-dessous (38):

Etat trophique de l'eau	Concentration d'algues (ppm vol.)
Ultraoligotrophique	Moins que 1
Meso à eutrophique	3 - 5
Hautement eutrophique	Plus que 10

3.3.2 Comportement dans l'environnement aquatique.

3.3.2.1 L'écosystème aquatique.

La figure 3.2 est une illustration hautement simplifiée d'un écosystème aquatique en présence de produits chimiques et de formes variées de vie. Les biotopes à l'intérieur du système peuvent être classifiés en fonction de leurs niveaux trophiques lesquels définissent leur position relative dans la chaîne alimentaire. Les substances chimiques sont introduites dans la chaîne sous leur état propre et sont transformées en état biotique; elles passent par une succession de niveaux trophiques et sont de nouveau dégagées sous une forme différente. Le transfert de ces substances s'effectue aussi bien vers les sources externes que de celles-ci. L'air, le sol et les activités humaines peuvent constituer de telles sources.

Tel qu'indiqué à la figure 3.2, il y a donc un recyclage naturel des nutriments chimiques dans le système écologique.

3.3.2.2 Phytoplancton.

Au premier niveau trophique, on retrouve les producteurs primaires, le phytoplancton. Le milieu phytoplanctonique, en fait, est composé d'un grand nombre d'organismes différents. Dépendant de conditions environnantes particulières, des espèces différentes seront prédominantes. Ainsi on reconnait que les diatomées peuvent prédominer à de basses températures tandis que les algues vertes peuvent prédominer à des températures plus élevées (14).

Cette diversité d'organismes dans les principales catégories introduit une difficulté inhérente dans la tentative de modeler le comportement des organismes vivants. Actuellement, les données disponibles ne sont pas suffisamment détaillées pour représenter la cinétique des espèces individuelles de phytoplancton dans l'environnement naturel. Il en résulte que le comportement des espèces particulières peut être faussé en traitant la population phytoplanctonique comme un tout.

La dynamique de la population des phytoplanctons dépend d'un certain nombre de facteurs, dont voici les principaux:

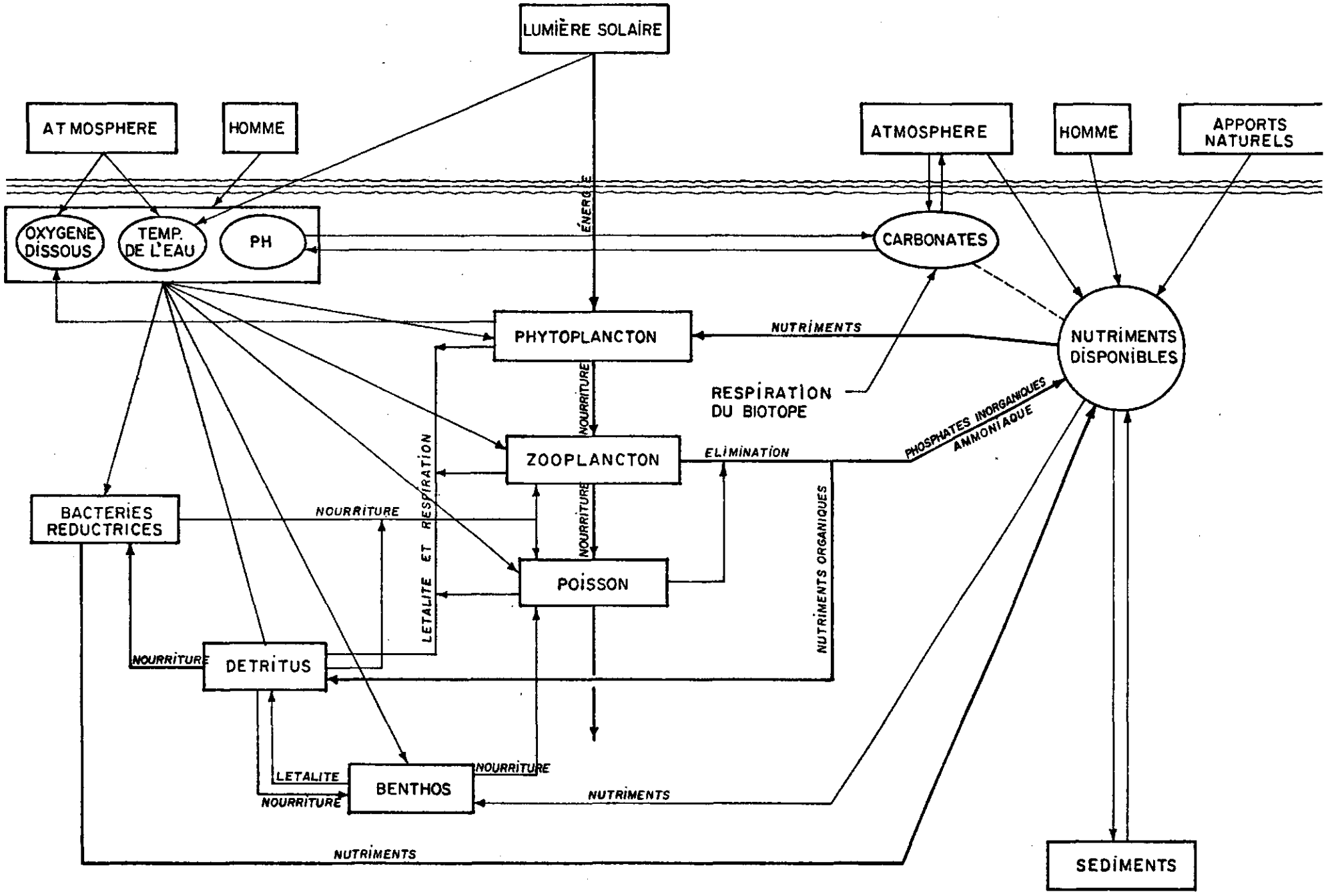


FIGURE 3-2

ECOSYSTEME AQUATIQUE SIMPLIFIE

- Température:

On sait que le taux d'activité biologique est fonction de la température. Dans la gamme des températures applicables à une zone d'étude (moins que 25°C), le taux augmentera avec la température. A des températures suffisamment élevées, l'inverse se produira. Cette dépendance de la température peut être exprimée mathématiquement comme suit:

$$K = K_{20} \times Q_T^{(T-20)} \qquad (3.8)$$

où: K = valeur du coefficient d'activité biologique à T^oC;

K_{20} = valeur du coefficient d'activité biologique à 20^oC;

T = température actuelle de l'eau;

Q_T = une constante.

- Nutriments.

Un concept important dans le modelage d'un système écologique, est le "principe des facteurs limitatifs". D'abord exposé par J. Liebig en 1840 (37), ce principe stipule qu'à un moment donné, et dans des circonstances définies, le taux de croissance des organismes sera limité par un facteur particulier.

Par exemple, s'il existe une déficience au niveau des phosphates, et une abondance des nitrates, la population des organismes sera limitée par son besoin en phosphates et sera, en même temps, insensible aux changements de concentration en nitrates. Mathématiquement, ce phénomène peut être exprimé convenablement au moyen de l'équation de Michaelis - Menten (14):

$$K = \frac{Km\ C}{MMc + C} \qquad (3.9)$$

où: K = coefficient du taux actuel de croissance des organismes;

Km = coefficient du taux de croissance des organismes quand C n'est pas limitatif:

C = concentration du nutriment;

MMc = constante de Michaelis - Menten (parfois appelée constante de demi-saturation).

La constante MMc peut être interprétée comme étant approximativement la concentration à laquelle le nutriment devient limitatif.

On remarquera que lorsque C est beaucoup plus grand que MMc, c'est-à-dire quand le nutriment est abondant, le rapport C/MMc + C est presque égal à 1, et le coefficient du taux de croissance est maximum. D'un autre côté, lorsque C est inférieur à MMc, c'est-à-dire quand le nutriment se fait rare, le taux de croissance sera fortement réduit en proportion de la concentration C.

- Lumière.

Le phytoplancton capte son énergie de la lumière solaire et son taux de croissance y est directement relié. Il existe une intensité lumineuse optimum à laquelle la croissance est maximale. Aux intensités lumineuses au-dessus et au-dessous de l'optimum, une réduction du taux de croissance se produit.

Cet effet est décrit mathématiquement comme suit (41):

$$K = K_m \frac{I}{I_s} \exp\left(- \frac{I}{I_s} + 1\right) \qquad (3.10)$$

où: K = taux de croissance actuel du phytoplancton;

Km = taux de croissance du phytoplancton à une intensité lumineuse optimum;

I = intensité lumineuse actuelle;

I_s = intensité lumineuse optimum.

Dans les eaux naturelles, l'intensité lumineuse est plus grande à la surface de l'eau et décroit avec la profondeur en raison de l'interférence causée par les particules en suspension. Une partie de cette matière en suspension est constituée, en fait, de phytoplancton. Conséquemment, il se produit un effet autorégulateur naturel par lequel des densités élevées de population nuisent à toute croissance additionnelle. La réduction de l'intensité lumineuse est exprimée mathématiquement par (14):

$$I = I_o \exp\left(- K_{E1} \times z\right) \qquad (3.11)$$

où: I = intensité lumineuse actuelle à une profondeur z;

I_o = intensité lumineuse à la surface de l'eau;

K_{E1} = coefficient d'extinction de la lumière;

z = profondeur à partir de la surface de l'eau.

Pour introduire ces équations dans le modèle, il est nécessaire d'établir la moyenne du taux de croissance sur toute la profondeur de l'eau.

Des transformations mathématiques permettent d'obtenir finalement l'expression suivante:

$$K = K_m \frac{2.72}{K_{E1} \times H} \{\exp\left(-\frac{I_o}{I_s} \exp\left(-K_{E1} \times H\right)\right) - \exp\left(-\frac{I_o}{I_s}\right)\} \qquad (3.12)$$

où: H = profondeur de la rivière.

- Réduction de la population phytoplanctonique.

  Le zooplancton contribue à décroître la masse phytoplanctonique. Cette réduction de la population est également causée par la respiration, la létalité et la sédimentation.

3.3.2.3 Zooplancton.

Le zooplancton est la composante majeure du second niveau trophique. Les différents organismes le constituant se nourrissent de phytoplancton et servent à leur tour de nourriture aux poissons du niveau trophique plus élevé. La population dynamique est fonction de:

- L'action des prédateurs.

  L'activité du zooplancton dépend de la température et des espèces particulières de zooplancton et de phytoplancton impliquées. On observe que le taux d'activité est sensible aux changements de concentration du phytoplancton quand celle-ci s'abaisse à un niveau critique. A une concentration élevée de phytoplancton, le taux est par ailleurs indépendant de cette concentration. Ce phénomène a été expliqué en termes de mécanisme d'absorption, lequel est d'abord un processus de filtration. En deça d'une concentration critique de nourriture, l'action du prédateur est limitée par la capacité du zooplancton de filtrer l'eau; au-dessus de cette concentration critique, le taux est alors réduit à la capacité d'ingérer les cellules de nourriture filtrées (14).

  La représentation fonctionnelle de dépendance du taux d'activité du zooplancton sur la concentration du phytoplancton est hyperbolique, et peut être convenablement exprimée mathématiquement au moyen d'une expression-type de Michaelis - Menten.

  Fait à remarquer, le zooplancton s'alimente principalement la nuit. Ceci serait attribuable à une séparation physique qui

survient lorsque le zooplancton descend en profondeur pendant le jour. Un facteur d'efficacité doit donc être appliqué au taux d'activité alimentaire pour tenir compte de sa diminution pendant le jour.

- Croissance.

Le taux de croissance est fermement relié au taux d'absorption décrit ci-dessus. Cependant, une seule partie de la nourriture ingérée est assimilée et utilisée pour la croissance, l'autre partie étant éliminée.

Mathématiquement, ceci est exprimé par:

$$A = I \times E_{za} \qquad (3.13)$$

où: A = assimilation;

I = ingestion;

E_{za} = efficacité d'assimilation.

de même

$$E_x = I \times (1 - E_{za}) \qquad (3.14)$$

où: E_x = taux d'élimination.

On a observé que l'efficacité d'assimilation est fonction de la quantité et de la qualité de la nourriture (39). Des rendements élevés ont été notés à de basses concentrations de nourriture. De même, on a remarqué une efficacité accrue quand le zooplancton se nourrissait d'algues saines comparativement à des matières nutritives constituées en grandes partie de détritus et de résidus non nutritifs. Ce phénomène peut être formulé de la façon suivante:

$$E_{za} = Z_{fcv} \times \exp\ (-K_{cv} \times C_p) \qquad (3.15)$$

où: E_{za} = efficacité d'assimilation;

C_p = concentration de phytoplancton;

K_{cv} = constante;

Z_{fcv} = facteur en rapport avec la valeur calorifique de la nourriture.

- Réduction de la population zooplanctonique.

  La baisse de la population résulte de phénomènes tels que la respiration, la létalité, la sédimentation et l'action des prédateurs (poissons). L'activité des prédateurs peut être formulée par l'expression de Michaelis - Menten:

$$G_r = G_{rm} \times \frac{C_z}{MM_{cz} + C_z} \qquad (3.16)$$

  où: G_r = taux d'assimilation de zooplancton par les poissons;

  G_{rm} = taux d'assimilation maximum;

  C_z = concentration de zooplancton;

  MM_{cz} = constante de Michaelis - Menten.

3.3.2.4 Le cycle des nutriments.

Des considérations pratiques nous empêchent d'étudier toutes les substances chimiques considérées comme nutriments. De plus, conformément à la loi de Liebig,"Law of the Minimum" (37), une étude de tous les nutriments n'est pas nécessaire pour la description du comportement du biotope, puisque celui-ci sera contrôlé par des facteurs limitatifs. Il est vrai que dans certaines circonstances d'autres nutriments peuvent être limitatifs; on admet toutefois que pour la grande majorité des cas, les substances méritant considération se limitent à ce qui suit:

- Phosphore.

  Il a été établi (37) que le phosphore est plus susceptible d'être un facteur limitatif que tout autre nutriment, puisque "le rapport du phosphore aux autres éléments, dans les organismes vivants, tend à être passablement plus élevé que le même taux dans les sources primaires des éléments biologiques". On peut cependant prendre pour acquis qu'il existe de nombreuses exceptions à cette règle générale.

- Azote.

  L'azote est généralement considéré comme étant le second élément en importance en tant que facteur écologique limitatif. En général, cependant, les résultats d'analyses qualitatives de l'eau de la région étudiée indiquent que le phosphore a plus de chances dêtre limitatif que l'azote (généralement le rapport azote/phosphore dans les organismes = 7/1, tandis que le rapport azote/phosphore dans les eaux = 10/1); on admet cependant que l'azote pourrait être l'agent limitatif dans certains secteurs.

- Carbonates.

  La disponibilité du carbone dépend des apports primaires et du pH. On estime que les formes de carbone disponible pour le phytoplancton sont le bioxyde de carbone et l'ion bicarbonate. Il apparaît évident, d'après l'examen des données sur la qualité de l'eau pour la région étudiée, que ces deux formes sont, en fait, prédominantes. Au pH observé de 8 à 8.5, environ 95% du carbone total est sous forme d'ion bicarbonate. D'après les valeurs observées de l'alcalinité de l'eau, de l'ordre de 60 - 90 mg/l, on estime que la concentration d'ion bicarbonate est dans la gamme de 70 à 110 mg/l, correspondant à environ 15 - 20 mg/l de carbone disponible. Ainsi le rapport carbone/phosphore existant dans les eaux est d'environ 400/1, tandis que le rapport carbone/phosphore dans les organismes est de l'ordre de 35/1. Considérant ces rapports, on peut conclure que le phosphore peut être un facteur limitatif dans la région d'étude.

En regard de ce qui précède, il semble évident que le phosphore et l'azote constituent les éléments prédominants et la discussion sera donc limitée à ces deux nutriments.

Un représentation simplifiée du cycle des nutriments est illustrée à la figure 3.2. Les nutriments disponibles, nutriments dissous sous forme de sels inorganiques dans l'eau naturelle, reçoivent un apport primaire de sources externes telles que l'atmosphère, l'érosion et les déchets humains. Le phytoplancton utilise, pour sa croissance, les sels dissous sous forme inorganique et les convertit en substances biotiques assimilables par le zooplancton. Les matières que le zooplancton élimine constituent une étape importante dans la regénération des nutriments, puisqu'une partie de celles-ci sont sous forme inorganique et redeviennent des nutriments disponibles. Les micro-organismes, d'autre part, transforment les substances résultant de la respiration et de la mort du plancton, et constituent de ce fait une source additionnelle de nutriments inorganiques.

L'azote est éliminé sous forme organique et d'ammoniaque. Le biotope utilise l'azote le plus souvent sous forme d'ammoniaque. Par le processus de nitrification biologique, une petite quantité d'ammoniaque est transformée en nitrates.

3.3.2.5 Oxygène dissous.

Les rapports entre le biotope et l'oxygène dissous peuvent être considérés de deux points de vue: les effets du biotope sur la concentration d'oxygène dissous et réciproquement, les effets de la concentration en oxygène dissous sur le comportement du biotope.

- Influence du biotope sur l'oxygène dissous.

Le modèle d'oxygène dissous que nous avons décrit précédemment (1) tient compte de phénomènes tels que les effets de dispersion, la réaération de surface et la consommation d'oxygène comme conséquence de biodégradation des substances organiques. Des discussions précédentes, il semble clair que plusieurs processus influencent l'oxygène dissous.

a) le processus de décomposition des détritus qui, croit-on, devrait être incorporé dans le terme se rapportant à la DBO.

b) la respiration endogène des microorganismes qui devrait être incorporée également dans le terme de la DBO.

c) la demande d'oxygène du benthos. Ce facteur n'a qu'une signification mineure dans les eaux profondes, où le rapport entre la surface du lit de la rivière et le volume d'eau est relativement petit.

d) l'oxydation biochimique de l'ammoniaque (NH_3) en nitrites (NO_2) et en nitrates (NO_3). Si l'on se réfère à la stoechiométrie des réactions, on constate qu'environ 4.5 mg d'oxygène seraient utilisés pour chaque mg d'ammoniaque oxydé en nitrates. On remarquera que dans une séquence de réactions $NH_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO_3$, la seconde étape est très rapide, et la concentration de NO_2 se trouve passablement faible et peut être ignorée. Cette effet ne devrait normalement pas être incorporé dans les essais normalisés (premier stage) de DBO;

e) la respiration du phytoplancton;

f) la respiration du zooplancton;

L'oxygène est produit par:

a) la réaération dont le modèle tient compte;

b) la photosynthèse par le phytoplancton. On a évalué que 1.6 mg d'oxygène sont produits par 1 mg de croissance de phytoplancton.

On peut conclure de ce qui précède que notre modèle d'oxygène dissous peut être raffiné par l'introduction des éléments suivants:

a) nitrification: 4.5 mg d'oxygène consommé par mg d'azote transformé de la forme organique;

b) respiration du phyto et du zooplancton: 1.1 mg d'oxygène consommé par mg de substance;

c) photosynthèse du phytoplancton: 1.6 mg d'oxygène sont produits par mg de croissance du phytoplancton.

- Influence de l'oxygène dissous sur le comportement du biotope.

  Puisque plusieurs des organismes sont aérobies, il est évident qu'un abaissement important d'oxygène disponible réduira rigoureusement leur taux de croissance et augmentera leur taux de dépérissement. On admet généralement que ces effets ne se présenteront que lorsque l'oxygène dissous atteindra un niveau critique (probablement 1 - 2 mg/l); et qu'aucun effet ne sera noté au-dessus d'un tel niveau.

Pour la région étudiée, les niveaux d'oxygène observés (6 - 8 mg/l) sont bien au-delà du niveau critique. On peut donc faire l'hypothèse que les carences en oxygène sont pratiquement inexistantes et il convient de les ignorer dans notre approche.

3.3.2.6 Effets du pH.

Le pH est autant affecté par l'activité biologique qu'il affecte celle-ci. L'influence du biotope sur le pH est relative aux quantités de bioxyde de carbone (CO_2) produites (ex. par réduction de la DBO) et utilisées (par la phtosynthèse du phytoplancton). Quand il se produit un excès de CO_2, les eaux deviennent plus acides. Réciproquement, quand une consommation excessive de CO_2 survient, le pH augmente. Dans le processus de nitrification, la libération des ions hydrogènes aura pour effet d'abaisser le pH.

Le pH de l'eau peut aussi être affecté de façon substantielle par l'échange de CO_2 avec l'atmosphère et par les rejets industriels.

On est généralement d'accord pour dire que le pH joue un rôle essentiel en régularisant la respiration et le système enzymatique des organismes, tout en affectant la composition chimique des nutriments. Plusieurs espèces du biotope sont cependant capables de s'ajuster à différents pH. On reconnait d'autre part que les communautés dans leur ensemble (ex. phytoplancton ou zooplancton) peuvent être relativement insensibles aux variations de pH. Ce phénomène est attribué à l'aptitude des communautés à s'ajuster aux différentes conditions de pH en développant des espèces particulières. Les communautés du biotope étant traitées comme un tout dans cette étude, les effets du pH seront donc ignorés.

3.3.2.7 Contrôle chimique du phosphore.

Le phosphore existe dans les eaux naturelles sous forme d'ions chargés négativement. Ceux-ci sont classifiés en deux groupes principaux: les ortho-phosphates et les poly-phosphates. Ces derniers sont à la base des détergents.

Les ions chargés négativement ont tendance à se combiner avec des ions chargés positivement, les ions calcium entre autres; de ce fait, on retrouve souvent des composés peu solubles dans l'eau. Par exemple, le composé bibasique de phosphate de calcium ($CaHPO_4$) est soluble jusqu'à 2000 mg/l alors que le phosphate de calcium tribasique ($Ca_3(PO_4)_2$) est soluble jusqu'à 25 mg/l et le métaphosphate de calcium ($Ca(PO_3)_2$) est virtuellement insoluble. Habituellement, la solubilité est favorisée par une température élevée et par un pH faible.

Les lois de l'équilibre chimique favorisent la tendance des ions phosphate et calcium à se combiner à des concentrations élevées de calcium. Les mesures d'alcalinité (de l'ordre de 80 mg/l) indiquent qu'effectivement de telles conditions sont prédominantes dans les eaux du Saint-Laurent.

Il en résulte la formation de molécules de phosphate de calcium au-delà du point de solubilité et leur déposition sur les sédiments du fond.

Ce phénomène sera décrit au moyen d'un terme spécial dans les équations d'équilibre des phosphates définies dans les pages qui suivent.

Il est à remarquer que dans certaines conditions, tel qu'une concentration faible de calcium, on peut observer un effet inverse, occasionnant une reprise du phosphore des sédiments. Dans ces conditions, le terme exprimant la déposition prendra une valeur négative.

3.3.2.8 Chimie des orthophosphates dans le fleuve Saint-Laurent.

En plus de leur utilisation par la flore aquatique, les phosphates peuvent réagir chimiquement avec certains métaux en solution pour former soit des complexes, soit des solides. Dans ce dernier cas, ils font alors partie des sédiments en suspension ou de fond; ils peuvent aussi s'incorporer aux sédiments par absorption ou par formation de solutions solides (Stumm et Morgan, 1970 - chap. 10). De façon à identifier les paramètres importants dans ces phénomènes, un modèle chimique simple du Saint-Laurent a été étudié à l'aide d'un programme adéquat: REDEQL2 (McDuff et Morel 1973).

Les données pour le modèle proviennent d'une part des résultats analytiques obtenus pendant la campagne d'étude de 1971 (Centreau - 1971), d'autre part des paramètres thermodynamiques (Stoechiométrie et constantes de formation des complexes et des solides) qui sont en mémoire dans le programme REDEQL2. Le modèle considère simultanément les réactions entre dix métaux et six ligands pour la formation de cinquante-six complexes et dix-sept solides possibles;

La concentration analytique de l'orthophosphate est variée entre $10^{-6.7}$ et 10^{-6}M (0.02 et 0.1 ppm) et le pH entre 7.7 et 8.2.

Les résultats principaux du modèle sont présentés au tableau 3.1. En ce qui concerne les orthophosphates, les résultats sont des plus simples et des plus dramatiques: entre 99% et 100% précipitent à l'équilibre sous forme d'hydroxylapatite (Ca_{10} $(OH)_2$ $(PO4)_6$). Ce résultat ne sera évidemment pas atteint cinétiquement dans le fleuve, surtout au voisinage des sources de phosphates; il indique néanmoins une condition limite importante et un procédé certain d'élimination graduelle des phosphates en solution en aval des sources. En accord avec ce résultat, la présence d'apatite dans les sédiments du Saint-Laurent est notée dans le rapport sur les aspects physiques sédimentologiques (Centreau 1973 - page 97). L'introduction de paramètres cinétiques pour la précipitation d'hydroxylapatite sera donc absolument nécessaire à la simulation des phosphates dans le Saint-Laurent.

Puisque la coprécipitation des phosphates avec le calcium est certainement contrôlée cinétiquement, il est utile d'étudier sous quelles autres formes chimiques on peut trouver les orthophosphates dans les conditions du Saint-Laurent. Notamment, doit-on s'attendre alors à la précipitation de composés de fer ou d'aluminium?

A cette fin, le même modèle a été recalculé sans que la précipitation d'apatite ait été considérée, c'est-à-dire que la sursaturation soit permise sans limite. Comme le montre le tableau 3.2, on a trouvé que dans ce cas, les orthophosphates restaient complètement solubles: à peu près les trois-quarts sous forme libre et le reste sous forme de complexes de calcium et de magnésium. Ni le fer, ni l'aluminium ne peuvent précipiter les phosphates dans ces conditions car ils sont déjà eux-mêmes précipités sous forme d'hydroxides. Cependant il est à noter que la présence de ces hydroxides, comme celle d'argiles, implique très probablement l'adsorption des orthophosphates. Une étude expérimentale des sédiments serait nécessaire pour évaluer l'importance de cette adsorption.

Il ressort de cette étude que la concentration des orthophosphates dans le Saint-Laurent est contrôlée chimiquement par coprécipitation avec le calcium, et probablement aussi par adsorption dans les sédiments. On devra tenir compte de ces phénomènes dans les études de simulation.

3.3.3 Modèle proposé pour les nutriments

3.3.3.1 Hypothèses simplifiées

Plusieurs des hypothèses requises pour la simulation des nutriments ont été préalablement discutées. Voici un résumé des plus importantes hypothèses:

TABLEAU 3.1 - MODELE CHIMIQUE SIMPLIFIE DU SAINT-LAURENT

Données Analytiques		Formes Principales à l'Equilibre
Elément-log (concentration molaire)		
Ca	2.1	Ca^{++}(98.8%); $CaSO_4$(1.1%)
Mg	3.7	Mg^{++}(98.5%); $MgSO_4$(1.4%)
Na	3.4	Na^{+}(100%)
K	5.0	K^{+}(99.9%)
Mn	5.83	Mn^{++}(97.8%); $MnSO_4$(1.1%)
Al	6.3	$Al(OH)_3$(95.4%); $Al(OH)_4^{-}$(4.6%)
Cu	7.4	Cu^{++}(33.9%); $CuCO_3$(22.1%); $CuOH^{+}$(33.5%); $Cu(OH)_2$(10.1%)
Zn	7.4	Zn^{++}(96.5%); $ZnSO_4$(1.1%); $ZnOH^{+}$(2.4%)
Fe^{+++}	6.0	$Fe(OH)_3$(49.8%); $Fe(OH)_3$(50.2%)
CO_3	4.4	H_2CO_3(1.4%); HCO_3^{-}(84.0%); $CaHCO_3^{+}$(13.5%)
SO_4	3.65	SO_4^{--}(59.2%); $CaSO_4$(39.5%); $MgSO_4$(1.2%)
Cl	3.50	Cl^{-}(100%)
F	5.65	F^{-}(93.3%); CaF^{+}(6.0%)
PO_4* (pH = 8.0)*	6.3	$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$(99.8%); HPO_4^{--}(0.1%)

* Variations du pH entre 7.7 et 8.2 et des phosphates totaux entre $10^{-6.7}$ et $10^{-6.0}$ M ne changent que très peu ces valeurs.

TABLEAU 3.2 - ESPECES CHIMIQUES DES PHOSPHATES QUAND L'APATITE NE PRECIPITE PAS

Phosphate total entre $10^{-6.7}$ et $10^{-6.0}$ M.

Espèce Chimique	Pourcentage des Phosphates totaux	
	pH = 7.7	pH = 8.2
$CaHPO_4$	23%	27%
$MgHPO_4$	2%	2%
HPO_4^{--}	55%	63%
$H_2PO_4^-$	20%	7%

- Nutriments considérés:

  Le modèle ne traitera que des deux nutriments qui ont le plus de chance d'être limitatifs, c'est-à-dire le phosphore et l'azote. Dans chaque cas, les formes organiques et inorganiques totales seront considérées. L'azote inorganique, par hypothèse, inclura l'azote ammoniacal. On assumera que seuls les nutriments sous forme inorganique seront directement accessibles au phytoplancton.

- Détritus:

  Le processus de transformation des détritus dans la chaîne alimentaire sera représenté simplement par une dégradation des nutriments du premier ordre de la forme organique à la forme inorganique.

- Composition du biotope:

  La population phytoplanctonique sera prise comme un tout, de même que la population du zooplancton. Aucune tentative ne sera faite pour simuler les espèces individuelles au sein des groupes principaux.

- Composition chimique du biotope:

  Le modèle tiendra compte des concentrations de phytoplancton et de zooplancton en termes de poids sec (mg/l). Leur composition chimique est présumée constante pour chaque tronçon et elle est précisée dans les données. On reconnaît que cette hypothèse mènera à une certaine erreur, puisque la composition chimique du biotope dépend des espèces impliquées et des conditions environnantes. On croit cependant que des résultats satisfaisants peuvent être obtenus, particulièrement pour la simulation du nutriment limitatif.

- Benthos:

  On pose l'hypothèse que les effets benthiques sont négligeables.

- Conditions anaérobies:

  Aucune tentative ne sera faite pour inclure les effets des conditions anaérobies sur la croissance et la déchéance des organismes.

- Intensité lumineuse:

  Le facteur de réduction de la croissance du phytoplancton dû à une intensité lumineuse réduite a été préalablement décrit. La profondeur utilisée dans cette équation sera définie comme la surface totale divisée par la largeur totale à la surface de l'eau pour une section donnée du fleuve.

- Facteurs limitatifs:

  Le taux de croissance du phytoplancton, tel que décrit antérieurement, est fonction d'une température maximale et des trois facteurs limitatifs suivants: les concentrations d'azote, de phosphate et de l'intensité lumineuse.

  La méthode adoptée dans l'élaboration du modèle consiste à déterminer la valeur du coefficient de réduction pour chaque facteur et à n'appliquer que celui qui est le plus limitatif pour la réduction du coefficient du taux maximal de croissance.

  Cette méthode est conforme à la loi de Liebig, laquelle stipule qu'en un point donné en temps et en espace, un seul facteur est limitatif.

- L'influence du pH n'est pas incluse.

3.3.3.2 Equations de base

L'équation générale de qualité de l'eau décrite antérieurement (1) s'applique ici.

L'équation se résume à un bilan de conservation de masse dans lequel sont inclus les phénomènes de transport par advection et par dispersion, ainsi que les processus de réaction où la masse est ajoutée au système ou enlevée du système.

$$\frac{\partial}{\partial t}(Ac) + \frac{\partial}{\partial x}(Qc) = \frac{\partial}{\partial x}\left(AE\frac{\partial c}{\partial x}\right) + \left\{\frac{r_i}{\rho} + \frac{r_e}{\rho}\right\} A \qquad (3.1)$$

Les termes décrivant le taux de changement de diffusion et d'advection demeurent les mêmes que pour les autres paramètres de qualité de l'eau. La discussion qui suit sera donc limitée au terme "r_i".

- Variables de l'écosystème:

  La simulation des nutriments implique la solution simultanée des six équations différentielles des six variables du système écologique:

a) P phosphates inorganiques totaux (mg/l)

b) N azote inorganique total (mg/l)

c) OP phosphates organiques totaux (mg/l)

d) ON azote organique total (mg/l)

e) Cp population totale du phytoplancton (mg/l)

f) Cz population totale du zooplancton (mg/l)

- Equations différentielles:

Les six variables du système sont résolues au moyen de six équations différentielles. Ces équations sont énumérées ci-dessous, suivies d'une description des différents coefficients qui apparaissent dans les équations:

a) Taux de réaction des phosphates inorganiques totaux (r_{ip}):

$$\frac{r_{ip}}{\rho} = F_p \times \left[\underbrace{-K_{gp} \times C_p}_{\text{Consommation du phytoplancton}} + \underbrace{K_{ezi} \times C_z}_{\text{Elimination par le zooplancton}}\right] + \underbrace{K_{op} \times OP}_{\text{Dégradation des phosphates organiques}} - \underbrace{S_p}_{\text{Pertes}} \qquad (3.17)$$

b) Taux de réaction de l'azote inorganique total (r_{in}):

$$\frac{r_{in}}{\rho} = F_n \times \left[\underbrace{-K_{gp} \times C_p}_{\text{Consommation du phytoplancton}} + \underbrace{C_z \times F_{in} \times K_{ez}}_{\text{Elimination par le zooplancton}}\right] + \underbrace{K_{on} \times ON}_{\text{Dégradation de l'azote organique}} \qquad (3.18)$$

c) Taux de réaction des phosphates organiques totaux (r_{iop}):

(3.19)

$$\frac{r_{iop}}{\rho} = F_p \times \left[\underbrace{K_{rp} \times C_p}_{\text{Respiration du phytoplancton}} + \underbrace{K_{rz} \times C_z}_{\text{Respiration du zooplancton}} + \underbrace{K_{ezo} \times C_z}_{\text{Elimination par le zooplancton}}\right] - \underbrace{K_{op} \times OP}_{\text{Dégradation des phosphates organiques}}$$

d) Taux de réaction de l'azote organique total (r_{ion}):

$$\frac{r_{ion}}{\rho} = F_n \times \left[\underbrace{K_{rp} \times C_p}_{\text{Respiration du phytoplancton}} + \underbrace{K_{rz} \times C_z}_{\text{Respiration du zooplancton}} + \underbrace{(1\text{-}Fin) \times K_{ez} \times C_z}_{\text{Elimination par le zooplancton}}\right] - \underbrace{K_{on} \times ON}_{\text{Dégradation de l'azote organique}} \qquad (3.20)$$

e) Taux de réaction de la population phytoplanctonique totale (r_{icp}):

$$\frac{r_{icp}}{\rho} = \underbrace{K_{gp} \times C_p}_{\text{Croissance}} - \underbrace{K_{rp} \times C_p}_{\text{Respiration}} - \underbrace{K_{dp} \times C_z}_{\text{Action des prédateurs}} \qquad (3.21)$$

f) Taux de réaction de la population zooplanctonique totale (r_{icz}):

$$\frac{r_{icz}}{\rho} = \underbrace{K_{gz} \times C_z}_{\text{Croissance}} - \underbrace{K_{rz} \times C_z}_{\text{Respiration}} - \underbrace{K_{dz} \times C_z}_{\text{Action des prédateurs et létalité}} \qquad (3.22)$$

3.3.3.3 Détermination des coefficients

Parmi les coefficients que l'on retrouve dans les six équations précédentes, quelques-uns sont fournis directement dans les données et d'autres sont calculés à partir des coefficients de base fournis dans les données. Une liste alphabétique de tous les coefficients, y compris lorsque nécessaire, leur méthode de calcul, apparaît ci-dessous. Les valeurs typiques des coefficients de base fournies dans les données sont résumées dans le tableau 3.3.

ρ = densité de l'eau.

E_l = facteur d'efficacité lumineuse relativement à l'action des prédateurs (zooplancton) sur le phytoplancton.

Eza = efficacité d'assimilation nutritive du zooplancton

$$E_{za} = Z_{fcv} \times \exp.\ (K_{cv} \times C_p) \qquad 3.23$$

F_{ip} = fraction des phosphates sous forme inorganique dans les matières rejetées par le zooplancton.

F_{in} = fraction de l'azote sous forme inorganique dans les matières rejetées par le zooplancton.

F_p = fraction du phosphore total dans la biomasse.

F_n = fraction de l'azote total dans la biomasse.

H = profondeur du fleuve (pi.).

$$H = \frac{\text{surface totale (à l'endroit de la section transversale)}}{\text{largeur totale à la surface de l'eau}}$$

I_o = intensité lumineuse à la surface de l'eau (Langley/min.).

I_s = intensité lumineuse optimale pour la croissance du phytoplancton.

K_{cv} = coefficient d'assimilation nutritive du zooplancton.

K_{dp} = coefficient exprimant l'action des prédateurs: zooplancton sur phytoplancton (1/jr).

$$K_{dp} = K_{dp20} \times Q_T^{(T-20)} \times \frac{C_p}{MM_{cp} + C_p} \times E_1 \qquad (3.24)$$

K_{dp20}= valeur maximale de K_{dp} à 20°C (1/jr).

K_{dz} = coefficient de diminution du zooplancton par le dépérissement et l'action des prédateurs (1/jr).

$$K_{dz} = K_{dzt} \times T_{ox} + K_{dz20} \times Q_T^{(T-20)} \times \frac{Cz}{MM_{cz} + C_z} \qquad (3.25)$$

K_{dzt} = coefficient d'extermination du zooplancton due à la toxicité (1/jr/unité de toxicité).

K_{dz20}= valeur maximale de K_{dz} à toxicité nulle et à 20°C (1/jr).

Kel = coefficient d'extinction lumineuse.

$$K_{el} = K_{el_1} + K_{el_2} \times C_p \qquad (3.26)$$

K_{el_1} = coefficient d'extinction lumineuse dans les eaux naturelles.

K_{el_2} = facteur auto-réducteur du phytoplancton (1/mg/l).

K_{ez} = coefficient d'élimination du zooplancton (1/jr).

$$K_{ez} = K_{dp} \times (1.0 - E_{za}) \quad (3.27)$$

K_{ezi} = coefficient d'élimination des phosphates inorganiques par le zooplancton (1/jr).

$$K_{ezi} = F_{ip} \times K_{ez} \quad (3.28)$$

K_{ezo} = coefficient d'élimination des phosphates organiques par le zooplancton (1/jr).

$$K_{ezo} = (1.0 - F_{ip}) \times K_{ez} \quad (3.29)$$

K_{gp} = coefficient de croissance du phytoplancton (1/jour).

$$K_{gp} = K_{gp20} \times Q^{T-20} \times (\text{facteur le plus limitatif}) \quad (3.30)$$

où: facteur le plus limitatif est le plus petit de:

$$\text{Azote} = \frac{N}{MM_N + N} \quad (3.31)$$

ou: $$\text{phosphore} = \frac{P}{MM_p + P}$$

ou: lumière =

$$\frac{2.72}{K_{el} \times H} \left[\exp\left\{\frac{I_o}{I_s} \exp(K_{el} \times H)\right\} - \exp\left\{-\frac{I_o}{I_s}\right\}\right] \quad (3.32)$$

K_{gp20} = coefficient de croissance maximale du phytoplancton à 20°C (1/jour).

K_{gz} = coefficient de croissance du zooplancton (1/jr).

$$K_{gz} = K_{dp} \times E_{za} \quad (3.33)$$

K_{op} = coefficient de décomposition des phosphates organiques (1/jr).

$$K_{op} = K_{op20} \times Q_T^{(T-20)} \quad (3.34)$$

K_{op20} = coefficient de dégradation des phosphates organiques à 20°C.

K_{on} = coefficient de dégradation de l'azote organique (incluant l'ammoniaque) (1/jr).

$$K_{on} = K_{on20} \times Q_T^{(T-20)} \qquad (3.35)$$

K_{on20} = coefficient de décomposition de l'azote organique à 20°C.

K_{rp} = coefficient de respiration du phytoplancton (1/jr).

$$K_{rp} = K_{rp20} \times Q_T^{(T-20)} \qquad (3.36)$$

K_{rp20} = coefficient de respiration du phytoplancton à 20°C (1/jr).

K_{rz} = coefficient de respiration du zooplancton (1/jr).

$$K_{rz} = K_{rz20} \times Q_T^{(T-20)} \qquad (3.37)$$

K_{rz20} = coefficient de respiration du zooplancton à 20°C (1/jr).

MM_{cp} = coefficient de Michaelis-Menten pour l'action du zooplancton sur le phytoplancton (mg/l).

MM_{cz} = coefficient de Michaelis-Menten pour la diminution du zooplancton par l'action des prédateurs (mg/l).

MM_N = coefficient de Michaelis-Menten pour le facteur limitatif en azote inorganique dans le taux de croissance du phytoplancton (mg/l).

MM_p = coefficient de Michaelis-Menten pour le facteur limitatif en phosphore inorganique dans le taux de croissance du phytoplancton (mg/l).

Q_T = constante dépendant du coefficient de température.

T = température (°C).

T_{lm} = limite de tolérance médiane pour la survie des organismes dans les eaux usées, c'est-à-dire la concentration des eaux usées à laquelle les organismes survivront dans une proportion de 50% après 96 heures.

T_{ox} = toxicité de l'eau.

$$T_{ox} = 1.0/T_{lm} \qquad (3.38)$$

S_p = terme exprimant les pertes des phosphates inorganiques par sédimentation.

Z_{fcv} = facteur de la valeur calorifique nutritive du zooplancton.

3.3.3.4 Valeurs typiques des coefficients du système

Les valeurs énumérées au tableau 3.3 ci-dessous ont été tirées de nombreuses sources, dont les références sont inscrites aux références ci-contre. Ces valeurs pourraient être utilisées, en première approximation, pour simulation dans la région concernée; il y aurait lieu cependant d'y apporter des modifications durant le processus de vérification.

3.4 Coliformes

3.4.1 Introduction

3.4.1.1 Description

La présence de bactéries coliformes constitue un indice de pollution par des organismes pathogènes.

Le déversement d'eaux usées, traitées ou non, dans les cours d'eau, peut contribuer au développement de comptes de bactéries élevés, rendant ainsi les eaux impropres à certaines utilisations.

Par opposition aux autres paramètres de qualité dont les effets ne se font sentir que sur le système biologique aquatique, la pollution bactériologique a des implications sur la santé publique.

Trois indices principaux sont généralement utilisés comme mesure de pollution bactériologique:

- coliformes totaux
- coliformes fécaux
- streptocoques fécaux

TABLEAU 3.3 - VALEURS TYPIQUES DES COEFFICIENTS DU SYSTEME

Coefficient	Valeur	Coefficient	Valeur
E_1 Jour	0.0	K_{op20}	0.1-0.6/jour
nuit	1.0	K_{on20}	0.1-0.6/jour
F_{ip}	0.35-0.7	K_{rp20}	0.05-0.1/jour
F_{in}	0.9		
F_p	0.015	K_{rz20}	0.1-0.2/jour
F_n	0.1	MM_{cp}	0.5-2 mg/1
I_s	0.04 Langley/min.		
K_{cv}	0.08	MM_{cz}	0.05-0.2 mg/1
K_{dp20}	1.0/jour		
K_{dzt}	0.02/jr/unité tox.	MM_N	0.03 mg/1
K_{dz20}	0.04/jour	MM_p	0.03 mg/1
K_{el_1} (eau claire)	0.01-0.1/pi.	Q_T	1.03-1.06
K_{el_2}	0.06/mg/1/pi.	Z_{fcv} (2 cal/mg)	0.15
K_{gp20}	1.0-3.0/jour	(5 cal/mg)	1.0

Au cours des années, on a observé de nombreuses controverses parmi les experts quant aux valeurs relatives des différents paramètres mentionnés ci-dessus comme indicateurs de qualité de l'eau. Toutefois, l'on s'accorde généralement à dire:

- que les coliformes fécaux, de préférence aux coliformes totaux, sont un indicateur microbien plus réaliste de la pollution de l'eau (23);

- que le rapport des coliformes fécaux sur les streptocoques fécaux est un indicateur de l'origine de la pollution (14):

  a) un rapport inférieur à 0.7 indique la contamination animale;

  b) un rapport supérieur à 4.0 indique la contamination humaine;

  c) des valeurs intermédiaires indiquent la contamination provenant de déchets d'origine humaine et animale.

- que le nombre de coliformes fécaux dans les déversements s'élève à environ 15% des coliformes totaux (14).

3.4.1.2 Effets indésirables

Dans le fleuve Saint-Laurent, la pollution bactérienne est d'un intérêt particulier. Des comptes de coliformes fécaux de l'ordre de 10,000 par 100 ml, par exemple, ont été enregistrés à proximité du Port de Montréal. Notons que les limites recommandées (14) pour l'approvisionnement en eau potable se situent à 2,000 par 100 ml (maximum permissible), et à 200 par 100 ml (désirable). Pour l'eau brute avant traitement on se rappellera, de plus, que les déversements d'égout des municipalités contribuent largement à la pollution des eaux avec des comptes de coliformes fécaux de 4 millions par 100 ml en moyenne (14).

Les implications d'une mauvaise planification quant aux points de déversement d'eaux usées par rapport à différentes utilisations possibles de l'eau sont, par conséquent, déjà prévisibles.

3.4.2 Comportement dans le milieu aquatique

3.4.2.1 Recrudescence

Un aspect intéressant du comportement des bactéries coliformes consiste en l'augmentation de leur population du point de déversement initial jusqu'à un point quelconque en aval. Cette recrudescence intervient au cours d'une période d'une demi-journée

à deux jours après le déversement dans le cours d'eau récepteur (23, 24). Pendant cet intervalle, la densité des coliformes atteint un maximum, pour ensuite décroître.

Le phénomène de recrudescence est généralement considéré comme une réaction de croissance favorisée par la présence de nutriments. Quand les nutriments sont disponibles dans les cours d'eau récepteurs et que la température atteint au moins 15°C, une augmentation de population de plusieurs ordres de grandeur peut survenir (23, 24).

Dans le cas d'effluents chlorés, l'effet est particulièrement marqué. On a déjà observé une augmentation de population par un facteur de 100,000 (24). Ceci est attribué au fait qu'un petit nombre d'organismes survivent à la chloration (protégés du contact avec le chlore par des matières en suspension ou, peut-être, à cause de leur résistance supérieure), et jouent le rôle de semence, d'où multiplication par utilisation des nutriments disponibles. On croit également que la chloration détruit une grande partie des organismes prédateurs des coliformes, ce qui a pour effet de perturber la sélection naturelle des organismes et de favoriser la croissance des coliformes.

Le phénomène de recrudescence est associé seulement aux coliformes non fécaux dont les bactéries "aerobacter aerogenes" constituent la composante principale. Ces bactéries sont particulièrement sensibles aux conditions des nutriments. Par contre, les coliformes fécaux, tels que l'Escherichia coli, ont besoin pour leur croissance d'acides aminés complexes et d'autres additifs qui ne sont pas requis par les bactéries d'origine non fécale.

On a déjà remarqué que la recrudescence survient au cours d'une période de temps généralement bien définie. Autrement dit, la pointe de la population microbienne survient quand l'âge des coliformes, déterminé depuis le temps où ils sont déversés dans le cours d'eau, atteint une certaine valeur. En un point quelconque du fleuve, la population globale des coliformes comprend des individus d'âges variés, suivant qu'ils ont été déversés dans le cours d'eau, plus ou moins loin du point considéré. Le modèle de simulation, tel qu'il a été formulé, ne peut distinguer les différents âges de la multitude d'individus rencontrés dans la population des coliformes. En termes techniques, le présent modèle est basé sur le concept d'Euler, tandis qu'une formulation de Lagrange serait nécessaire pour tenir compte des différents âges.

Pour ces raisons, une simulation précise de la population des coliformes totaux, à l'aide du programme existant, n'est pas possible pour les régions où une recrudescence significative est susceptible de surgir. D'autre part, les coliformes fécaux

n'étant pas sujets à cette recrudescence, on pourra donc les simuler.

3.4.2.2 Réduction de la population

Le deuxième aspect d'intérêt concernant le comportement des coliformes dans l'environnement aquatique est le déclin de population. Dans le cas des coliformes fécaux, ce phénomène débute tôt après le déversement; en ce qui concerne les coliformes totaux, on observe un abaissement de la population à la fin de l'étape de recrudescence. La réduction a été attribuée à plusieurs facteurs, dont

- toxines
- prédateurs
- sédimentation et adsorption

On a remarqué que les basses températures favorisent une survie prolongée.

Plusieurs chercheurs ont conclu que la baisse de la population des coliformes, dans le milieu aquatique, peut être mathématiquement formulée au moyen d'une équation du premier ordre. Une quantité importante de données existe sur la valeur du coefficient d'abaissement de population à diverses températures (12, 13, 14). Le coefficient se rapportant aux coliformes fécaux est environ le double de celui que l'on emploie pour les coliformes totaux.

3.4.3 Modèle proposé (coliformes)

3.4.3.1 Hypothèses simplifiées

Nous recommandons que la formulation du modèle décrite ci-dessous soit utilisée pour la simulation des coliformes fécaux. Les raisons qui militent en ce sens sont les suivantes:

- le programme existant ne tient pas compte de façon satisfaisante du phénomène de recrudescence rencontré chez les coliformes non fécaux;
- les coliformes fécaux, en regard des coliformes totaux, sont un meilleur indicateur de la qualité de l'eau;
- les données sur les coliformes fécaux dans la région étudiée sont presque aussi abondantes que celles sur les coliformes totaux.

Néanmoins, nous nous proposons de formuler le modèle d'une manière flexible afin que dans certaines conditions, une simulation approximative des coliformes totaux soit possible. Nous atteindrons cet objectif en appliquant un facteur de multiplication au compte de coliformes déversés au cours d'eau de façon à représenter grossièrement la phase de recrudescence. Puisque l'utilisation de ce facteur implique une recrudescence "instantanée", alors que le phénomène réel survient après une période allant d'une demi-journée à deux jours, il est évident que la simulation des coliformes totaux sera inexacte par rapport au temps et au déplacement en aval. Cette inexactitude aura des conséquences plus ou moins prononcées selon l'ampleur de la recrudescence.

Pour la simulation des coliformes fécaux, la valeur du facteur de multiplication sera égale à 1.0, c'est-à-dire aucune recrudescence.

3.4.3.2 Equations de base

L'équation générale de la qualité de l'eau, précédemment décrite, servira de base. Tous les termes de cette équation qui demeurent inchangés, ne seront pas mentionnés ici, et nous ne traiterons que de r_i et r_e: les taux de réaction interne et externe (addition ou soustraction de masse).

Considérons un effluent ayant une population de coliformes "C" et un débit "q":

$$r_e = K_m \times q \times C/A \qquad (3.39)$$

où K_m = facteur multiplicatif de recrudescence.

A = aire de la section transversale.

Pour simuler les coliformes fécaux, on prendra $K_m = 1.0$. Lors de la simulation de coliformes totaux, K_m sera égal au rapport du compte de pointe des coliformes totaux.

La population des coliformes "C" est habituellement déterminée en terme de quantité de cellules par unité de volume.

La réduction du nombre de coliformes est:

$$r_i = K_d \times C \qquad (3.40)$$

où C = nombre de coliformes par unité de volume.

K_d = coefficient de réduction des coliformes.

On a déjà observé que K_d dépend de la température. On peut représenter cette fonction de la façon suivante:

$$K_d = K_{d20} \times 1.045^{(T-20)} \qquad (3.41)$$

où: T = température (°C).

K_d = coefficient de réduction à une température T.

K_{d20} = coefficient de réduction à une température de 20°C.

Pour les coliformes fécaux, K_{d20} est de l'ordre de 1.2/jour, tandis que pour les coliformes totaux, K_{d20} est d'environ 0.6/jour (12, 13, 14).

3.5 Lignines

3.5.1 Introduction

3.5.1.1 Description

Les lignines sont des substances non cellulosiques qui sont produites au terme de la transformation du bois en pulpe (30). Du point de vue chimique, le terme est utilisé pour identifier un grand nombre de substances dont la nature exacte est encore le sujet d'une polémique considérable (18, 19). Pour les fins de cette discussion, cependant, les propriétés suivantes peuvent être considérées comme pertinentes:

- les lignines sont des polymètres complexes qui renferment les groupes méthoxyle et hydroxyle (18).
- le terme lignine réfère à une série de composés dont les poids moléculaires varient approximativement de 100 à 150,000 (25).
- la nature exacte des lignines dépend de leur provenance. Les bois durs, par exemple, sont différents des bois mous au point de vue composition de lignines (18).
- la nature des déversements de lignines est fonction du procédé utilisé pour la transformation. L'effluent des usines utilisant le procédé "Kraft" contient des lignines alcalins, tandis que l'effluent des usines employant le procédé au sulfite contient des ligno-sulfonates. Tel que mentionné ci-dessous, ces principaux groupes se comportent différemment dans un milieu aquatique.

- les lignines alcalins sont solubles dans l'eau à une concentration d'environ 100 mg/l. Les ligno-sulfonates sont plus solubles que les lignines alcalins (34). Ainsi, dans la gamme des concentrations applicables à la région étudiée, les lignines peuvent être considérées comme étant entièrement solubles.

3.5.1.2 Effets indésirables

On peut les résumer de la façon suivante:

- couleur: les lignines déversées dans les cours d'eau y apportent une coloration très prononcée (15);

- formation d'écume: à une concentration de quelques mg/l, les lignines entraînent la formation d'écume à la surface de l'eau (32);

- demande biochimique en oxygène: les experts sont en désaccord quant à l'importance de la DBO exercée par les lignines. La valeur pourrait être de l'ordre de quelques dizaines de livres par tonne de bois (15, 30, 32);

- toxicité: les effets toxiques des lignines sur la masse biologique aquatique pourraient bien constituer un problème (25); nous n'avons cependant pas trouvé de données sur le sujet.

On estime que la teneur en lignines du bois, avant la réduction en pulpe, s'élève à quelque 30% sur une base de poids sec; une partie considérable de celles-ci est déversée dans les cours d'eau (30). Ainsi, on peut déjà entrevoir que les effets indésirables décrits ci-dessus, particulièrement en couleur et en formation d'écume, pourraient avoir de lourdes conséquences sur le potentiel des cours d'eau récepteurs pour des usages domestiques, industriels et récréatifs.

3.5.2 Comportement dans le milieu aquatique

Le terme "lignine" couvre une variété de composés, qui se comportent différemment lorsqu'ils sont introduits dans le milieu aquatique.

Les mécanismes par lesquels les lignines en solution sont enlevées des cours d'eau proviennent des trois moyens suivants:

- biodégradation,
- précipitation,
- adsorption.

3.5.2.1 Biodégradation

Nombre de chercheurs ont fait des travaux dans le but de découvrir à quel point les lignines sont biodégradables. Kroner et Moore (19) ont produit une synthèse de ces recherches et en ont déduit que

- les espèces de micro-organismes qui utilisent la lignine sont relativement limitées. Dans une étude en particulier, seulement deux des 106 cultures étudiées furent effectives;

- la dégradation biologique est très lente et incomplète;

- la facilité de dégradation des lignines varie selon le type, l'âge, la nature chimique et le procédé de traitement du bois;

- les organismes plus évolués, tels que les actinomycètes et les champignons, sont plus susceptibles de transformer les lignines que ne le sont les bactéries et les micro-organismes simples.

Les résultats d'une récente recherche nous apportent cependant des indications plus spécifiques:

- dans le cas des ligno-sulfonates, environ 15% du poids est biodégradable à un rythme lent (32). Ce pourcentage ne comprendrait que les lignines dont le poids moléculaire se situe entre 200 et 3,000 (25, 32). Pour ce qui est des autres, (85%), l'on croit qu'ils ne sont pas biodégradables en raison des effets inhibiteurs de la chaîne secondaire sulphonée et du caractère chimique monomérique des ligno-sulfonates à poids moléculaire élevé;

- dans le cas des lignines alcalines on a déjà admis (25) que le processus de biodégradation est gravement compromis par la présence de groupes méthoxyles, et que ce mécanisme a peu d'importance dans l'enlèvement des lignines alcalines de la solution.

3.5.2.2 Précipitation

La précipitation pourrait survenir dans les conditions où le pH est très bas et la concentration élevée, par des réactions de polymérisation et de condensation. Ce phénomène est négligeable dans notre étude car les conditions de concentration et de pH requises pour la précipitation ne semblent pas exister.

3.5.2.3 Adsorption

En ce qui concerne les lignines alcalines (effluent d'usines utilisant le procédé "Kraft"), l'adsorption semble être le principal mécanisme d'enlèvement. Les lignines sont adsorbées tant sur les matières organiques telles que les particules d'argile, que sur les organismes que l'on retrouve dans la biomasse (25). Raabe (15) a mesuré le taux d'enlèvement des lignines alcalines dans les eaux naturelles. Ses recherches indiquent un enlèvement d'environ 50% en 70 jours suivant une réaction de premier ordre. Aucun enlèvement supplémentaire n'a été remarqué entre le 70^{e} et le 100^{e} jour; on peut donc conclure que les lignines encore en solution (50%) ne sont pas sensibles à l'adsorption et peuvent être considérées comme des substances conservatrices.

Le travail de Kroner et de Moore (19) vient corroborer les observations précédentes. Ces études ont démontré essentiellement le même taux d'enlèvement pour les conditions aérobies et anaérobies, ce qui confirme l'hypothèse selon laquelle l'enlèvement n'est pas dû à l'assimilation biologique. On a également observé que le taux de transformation décroît à l'obscurité. On sait d'autre part que l'activité du phytoplancton retrouvé dans la biomasse augmente rapidement à la lumière solaire, ce qui a pour effet de favoriser l'adsorption. Cette expérience prouve donc que l'enlèvement est principalement dû au mécanisme d'adsorption et non au phénomène de biodégradation. Les lignines alcalines adsorbées seraient en partie entraînées vers la mer et pourraient aussi se déposer sur le fond, pour être finalement transformées en humus. Pour les besoins de cette étude, si l'on prend pour acquis que le processus de désorption des lignines n'intervient pratiquement pas, le sort des lignines alcalines après adsorption n'a que très peut d'intérêt pour nous.

Dans le cas des ligno-sulfonates, la théorie actuelle (25) veut que la partie de l'effluent dont les substances ont un poids moléculaire élevé (3,000 à 150,000) ne soit pas biodégradable. Cette fraction représenterait environ 85% du poids total et ne serait d'ailleurs pas sujette à l'enlèvement par adsorption. En première approximation, cette fraction peut cependant être considérée comme une substance conservatrice.

3.5.3 Modèle proposé pour les lignines

3.5.3.1 Hypothèses simplifiées

Les hypothèses proposées ci-dessous découlent de la discussion précédente sur les mécanismes d'enlèvement des lignines.

- Les lignines déversées seront divisées en deux parties.
- La partie qui ne présente aucune perte sera considérée comme une substance conservatrice.
- L'autre partie sera sujette à un enlèvement obéissant à une équation du premier ordre; les phénomènes intervenant alors seront la biodégradation (ligno-sulfonates) et l'adsorption (pour les lignines alcalines).
- Les coefficients de dégradation peuvent être influencés par la biomasse, les concentrations de solides en suspension et la température du cours d'eau. On ne tentera pas cependant de calculer ces coefficients à partir des données disponibles sur la biomasse et sur les solides en suspension. On utilisera plutôt les valeurs retrouvées dans la littérature, comme première approximation, valeurs que l'on corrigera par la suite, après vérification, pour chaque section étudiée.

3.5.3.2 Equations de base

L'équation générale de la qualité de l'eau, précédemment décrite, est encore applicable. Les taux de variation, d'advection et de dispersion étant les mêmes, nous ne nous attarderons qu'aux termes r_i et r_e, qui sont les taux de réaction interne et externe (addition ou soustraction de masse).

Nous nous proposons de formuler les modèles de lignines comme suit:

Considérons un effluent contenant W lb/jour de lignine:

La partie sujette à l'enlèvement sera:

$$r_{el} = k_1 \times W \times \rho / A \qquad (3.42)$$

où: k_1 = facteur de réduction (valeur comprise entre 0.0 et 1.0),

ρ = densité de l'eau,

A = aire de la section transversale.

L'enlèvement de cette fraction sera assimilée à une équation du premier ordre. Ainsi,

$$r_{i1} = K_2 \times C \times \rho \qquad (3.43)$$

où: K_2 = coefficient de réduction du premier ordre.

C = concentration de la partie susceptible d'être enlevée.

Et la partie non sujette à la réduction:

$$r_{e2} = (1 - K_1) \times W \times \rho/A \qquad (3.44)$$

$$\text{et } r_{12} = 0 \qquad (3.45)$$

3.5.3.3 Application du modèle

La formulation du modèle, décrite ci-haut, est flexible en ce sens qu'elle peut être appliquée de différentes façons, selon les conditions dominantes. Les alternatives sont:

- La simulation combinée des lignines alcalines (Kraft) et des ligno-sulfonates (sulfite). A chaque type de lignine est attribuée une fraction d'enlèvement dont les valeurs suggérées sont de 0.15 pour les sulfonates et de 0.45 pour les alcalines. En ce qui a trait aux coefficients de réduction, une valeur moyenne est attribuée pour chaque section étudiée. Cette valeur se situera entre 0.05 (pour le sulfite seul) et 0.25 (pour le procédé Kraft seul), et sera choisie en fonction des proportions relatives évaluées pour les deux types d'effluents de lignines (sulfite et Kraft).

  Cette alternative sera applicable lorsque différents types de moulins seront bien séparés géographiquement, ou quand les concentrations de lignines seront peu élevées. (On sait, par exemple, que les moulins de l'Ontario sont principalement basés sur le procédé "Kraft", tandis que le procédé au sulfite prédomine au Québec.)

- La simulation distincte des alcalines et des ligno-sulfonates: pour cette alternative, les deux principales catégories seraient simulées individuellement et successivement. Cette alternative serait applicable lorsque la séparation géographique des deux types d'usines n'existe pratiquement pas et lorsque les concentrations de lignines sont suffisamment élevées.

3.5.4 Remarques générales

- Aspects intéressants

Etant donné les approximations inhérentes appliquées au modèle proposé, une attention particulière devrait être accordée à une analyse plus raffinée du comportement des lignines dans les cours d'eau par des études détaillées des régions comportant un intérêt particulier. Une telle analyse, que la théorie à l'heure actuelle ne nous permet pas de faire, comprendrait:

. la recherche d'une meilleure connaissance des mécanismes d'enlèvement des lignines;

. des études sur le sort final réservé aux lignines adsorbées;

. la quantification des aspects mentionnés ci-haut;

. le calcul des coefficients requis en les associant à la masse biologique calculée ou mesurée, et aux concentrations des solides en suspension.

- Analyse chimique

Les données actuelles sont basées sur la méthode de l'ASTM pour les tannins et les lignines. Les tannins (substances tirées de l'écorce) ne sont pas susceptibles d'être présents en quantité importante dans le Saint-Laurent, et cette méthode d'analyse sera compromise par l'intrusion des autres espèces chimiques, notamment des phénols. Les procédés analytiques choisis sont basés sur l'adsorption des ultraviolets à 280 nm, ou la méthode aux nitrosolignines proposée par Pearl et Benson (25, 34).

A la lumière de ces remarques, il semble possible que les procédés analytiques puissent introduire certaines difficultés dans la vérification du modèle proposé.

3.6 Modèle de simulation de la température

3.6.1 Nouvelle approche

Des études récentes faites par MM. Harleman, Brocard et Najarian du Massachusetts Institute of Technology (58) ont démontré que des erreurs significatives peuvent résulter des hypothèses d'un coefficient de perte constante de chaleur en surface et d'un équilibre de la température.

La simulation de la température dans le modèle original était basée sur ces hypothèses, qui sont satisfaisantes uniquement pour les conditions stables. Afin de permettre une simulation meilleure et plus rigoureuse de la température transitoire de la rivière, reliée aux variations de conditions météorologiques dans le temps, les résultats des études du M.I.T. ont été inclus dans le modèle de la qualité des eaux du Saint-Laurent et de son estuaire.

Cette modification est particulièrement importante parce que les processus de réactions à simuler sont dépendants de la température. Quelques procédés, comme la photosynthèse, sont également dépendants des conditions météorologiques. Cette nouvelle version du modèle de la température constitue un excellent outil pour la prédiction des effets à distance des déversements thermiques des centrales d'énergie.

3.6.2 Equation de transfert de chaleur transitoire pour des tronçons unidimensionnels à sections transversales variables.

$$\frac{\partial}{\partial t}(A\rho cT) + \frac{\partial}{\partial x}(Q\rho cT) = \frac{\partial}{\partial x}\left[AE_L \frac{\partial}{\partial x}(\rho cT)\right] + \phi_n b + WHD + THD \qquad (3.46)$$

où: A = aire de la section transversale de la rivière ou de l'estuaire (pi.ca.).

T = température moyenne de l'eau de la section transversale en °F.

Q = débit (pcs) de la rivière ou de l'estuaire (incluant l'écoulement dû à la marée).

E_L = coefficient de dispersion longitudinale (pi.ca./sec.).

ϕ_n = flux net de chaleur à travers la surface d'eau (BTU/pi.ca./sec.).

b = largeur en surface de la rivière ou de l'estuaire (pi.).

x = distance longitudinale le long de l'axe de la rivière ou de l'estuaire (pi.).

t = temps (sec.).

ρc = (densité) (chaleur spécifique) - 62.4 BTU/pi.cu. ^{o}F.

WHD = chaleur des eaux usées déversées (BTU/pi.sec.).

THD = chaleur en provenance des tributaires (BTU/pi.sec.).

Les apports de chaleur des tributaires et des égouts sont considérés comme des points d'injection. Les termes correspondants dans l'équation 3.46 sont:

$$WHD = \sum_i H_i \ \delta(x-x_i) \qquad (3.47)$$

où: H_i = apport de chaleur au point de déversement i en BTU/sec.

x_i = abscisse du point d'injection i (pi.).

δ = fonction delta "dirac" (dimension 1/longueur).

et:
$$THD = \sum_j Q_j \rho c T_j \ \delta(x-x_j) \qquad (3.48)$$

où: Q_j = débit du tributaire j (pcs).

T_j = température de l'eau du tributaire j (^{o}F).

x_j = abscisse du tributaire j (pi.).

3.6.3 Flux net de chaleur en surface: ϕ_n

Le transfert de chaleur entre une masse d'eau et le milieu environnant peut se produire par la surface libre et par le fond et les côtés. Dans ce dernier cas, le transfert de chaleur est limité par la conductivité du sol adjacent;

il demeure très minime dû au faible facteur de conductivité thermique du sol et parce que les gradients de température sont limités. Le transfert de chaleur à travers la surface de l'eau, par radiation, convection et évaporation est de beaucoup plus élevé que dans le sol, et seuls ces facteurs seront considérés ici. La figure 3.3 montre de façon schématique le phénomène le plus important qui contribue au transfert de chaleur en surface. Nous négligeons ici les transferts de chaleur contenus dans les quantités d'eau évaporée et les pluies. Ces facteurs sont généralement de moindre importance et peuvent être négligés; ceci même si l'argument qui veut que ces valeurs tendent à s'annuler ne soit pas nécessairement juste, puisque l'évaporation et la précipitation ne surviennent généralement pas en même temps; cette annulation survient seulement sur des moyennes à long terme.

Une évaluation de ces diverses composantes a fait l'objet de plusieurs études théoriques et sur le terrain, et la plupart des équations dérivées sont semi-empiriques. Le développement suivant est largement tiré de la référence 53, où les formules courantes sont commentées. De nouvelles contributions ont été faites pour la détermination de l'apport de la chaleur dans le cas d'une surface d'eau chauffée artificiellement.

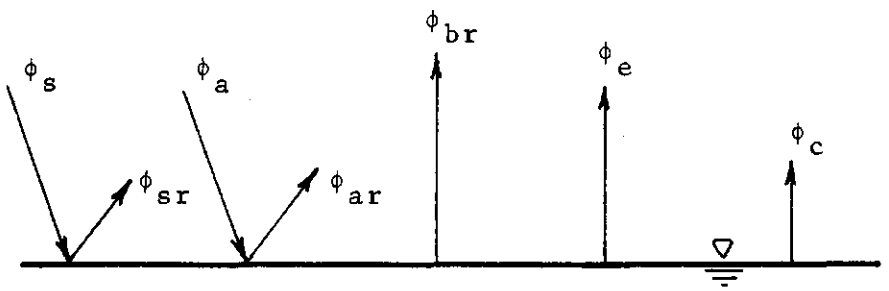


Figure 3.3 Mécanismes de transfert de chaleur à la surface de l'eau.

Les unités sont exprimées en énergie/surface•temps.

ϕ_s = radiation solaire incidente (onde courte).

ϕ_{sr} = radiation solaire réfléchie.

ϕ_{sn} = radiation solaire incidente nette = $\phi_s - \phi_{sr}$

ϕ_a = radiation atmosphérique incidente (onde longue).

ϕ_{ar} = radiation atmosphérique réfléchie.

ϕ_{an} = radiation atmosphérique incidente nette
$= \phi_a - \phi_{ar}$.

ϕ_{br} = radiation (onde longue) de la surface de l'eau.

ϕ_e = flux de chaleur d'évaporation.

ϕ_c = flux de chaleur par conduction (sensible).

Les unités employées dans les équations et les formules suivantes seront indiquées aussi souvent que possible; elles correspondent à celles couramment utilisées en météorologie aux Etats-Unis, avec toute leur incohérence.

Les apports seront mesurés en BTU/pi.ca. jour, la température en ^oF, les pressions en millimètres de mercure (mm.Hg), les vitesses du vent en milles par heure (mph) et les hauteurs en mètres.

3.6.4 Radiation solaire par ondes courtes: ϕ_{sn}

Radiation incidente: ϕ_s. La radiation solaire par ondes courtes reçue par la terre est soumise à un nombre de transformations complexes durant son passage à travers l'atmosphère. L'interaction avec les gaz, la vapeur d'eau, les nuages et les particules de poussière, cause la réflection, la dispersion et l'absorption de l'énergie solaire, dont il est difficile d'en préciser l'importance seulement avec l'aide des lois de la physique ou des formules empiriques. La mesure directe est la seule méthode certaine si l'on veut obtenir des valeurs précises. Cependant, l'énergie solaire incidente peut être calculée à partir de nombreuses formules et procédés qui sont tirés tant de courbes empiriques que d'une considération détaillée des lois de la physique.

On peut voir la description de telles méthodes dans les références (53) et (54).

Radiation par réflection: ϕ_{sr}. Diverses formules empiriques sont disponibles pour mesurer ce phénomène. Comme il ne représente que 5% à 10% de l'énergie solaire incidente, sa détermination de façon précise n'est pas requise. Le tableau 3.4, tiré de l'étude du lac Hefner (53) donne des valeurs suffisantes dans la plupart des cas.

Tableau 3.4 - Rapport de la radiation solaire réfléchie sur celle incidente

MOIS	Janv.	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
ϕ_{sr}/ϕ_s (%)	9	7	7	6	6	6

	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
	6	6	7	7	9	10

3.6.5 Radiation atmosphérique par ondes longues

Radiation incidente: ϕ_a. L'atmosphère est une source majeure d'énergie radiée. Comme sa température est très basse, comparée à celle du soleil, les radiations ont des longueurs d'onde beaucoup plus grandes (1-25μ). Les éléments primaires de radiation sont la vapeur d'eau, le bioxide carbone et l'ozone.

Comme l'émission du spectre de l'atmosphère, en général, est très irrégulière, l'apport de radiation peut être calculé seulement à partir de formules empiriques. Celles-ci concernent habituellement l'émission atmosphérique E_a, laquelle peut être considérée comme une moyenne de spectre émis:

$$E_a = \frac{\phi a}{\sigma(T_a + 460)^4} \qquad (3.49)$$

où: ϕ_a = flux de radiation atmosphérique.

σ = constante de Stephan Bolzman = $0.1713\ 10^{-8}$ BTU/pi.$^{-2}$hr^{-1}°F^{-4}

T_a = température atmosphérique en °F.

L'influence des nuages est habituellement calculée séparément, de sorte que la formule précédente n'est valide que pour une radiation reçue par temps clair ϕ_{ac}. Différentes valeurs ont été attribuées à E_{ac}.

Quelques formules seulement incluent la pression de la vapeur; par exemple, celle d'Anderson (1954), tirée des études du lac Hefner.

$$E_{ac} = 0.740 + 0.0065\ e_a \qquad (3.50)$$

où: e_a = pression de la vapeur atmosphérique en mm. de Hg.

Swinbank (1963) et Idso et Jackson (1969) ont proposé des formules ou E_{ac} est une fonction de T_a seulement. Définie directement en fonction de la radiation, la formule de Swinbank s'écrit:

$$\phi_{ac} = 1.2\ 10^{-13}\ (T_a + 460)^6 \qquad (3.51)$$

Celle de Idso et Jackson s'écrit:

$$\phi_{ac} = 4.15\ 10^{-8}\ (T_a + 460)^4\ \left[1-.261\ \exp(-2.4\ 10^{-4}(T_a-32)^2\right] \qquad (3.52)$$

où: T_a = température de l'air à 2 m. en °F.

ϕ_{ac} = radiation atmosphérique par temps clair (BTU/pi.ca.-jour).

Ces deux formules donnent des valeurs très similaires pour des températures au-dessus de 50°F, mais la seconde formule donne de meilleurs résultats pour des températures en-dessous de 40°F. Toutefois, la formule de Swinbank sera utilisée pour cette étude puisque les températures atmosphériques descendent rarement en bas de 40°F en période estivale.

Les nuages tendent à obscurcir l'atmosphère et ainsi à accroître la radiation. La formule suivante tient compte de ces effets:

$$\phi_a = \phi_{ac}\ (1 + kC^2) \qquad 3.53$$

où: k = constante dépendant du type, de l'épaisseur et de la hauteur des nuages.

C = rapport de la nébulosité (0 par temps clair et 1 pour ciel couvert); une valeur moyenne de 0.17 est suggérée pour k.

Radiation réfléchie: ϕ_{ar}. Une valeur de 3% est habituellement acceptée comme réflection de la surface de l'eau pour une radiation par ondes longues.

$$\phi_{ar} = 0.03\ \phi_a \qquad (3.54)$$

Radiation nette: ϕ_{an}. Les résultats précédents donnent un flux net d'ondes longues:

$$\phi_{an} = 1.16\ 10^{-13}(T_a + 460)^6 \cdot (1 + 0.17C^2) \qquad (3.55)$$

3.6.6 Radiation à la surface de l'eau par ondes longues

Ce terme est généralement le plus grand de tous les flux définis à la figure 3.3. Le pouvoir émissif de la surface de l'eau est connue avec une bonne précision et cette radiation par ondes longues peut être déterminée avec exactitude, dépendant de la connaissance de la température de l'eau en surface. Ceci n'est pas toujours possible parce qu'il se forme près de la surface une couche froide, trop mince pour permettre une mesure de la température. Les formules suivantes donnent toutefois une appréciation suffisamment juste en comparaison de toutes les autres erreurs introduites dans la détermination des autres apports.

$$\phi_{br} = 4.0\ 10^{-8}\ \ (T_s + 460)^4 \qquad (3.56)$$

où: T_s = température de l'eau en surface, en ^oF.

ϕ_{br} = flux de radiation réfléchie en BTU/pi.ca. jour.

3.6.7 Apport d'évaporation

L'évaporation à la surface de l'eau a lieu selon la résultante de deux types de convention. La première, dite convection forcée, est due à l'action du vent; la seconde, dite convection libre, est due aux effets de poussée (buoyancy effects). Pour des températures normales à la surface de l'eau, la convection libre est négligeable par rapport à la convection forcée. Cependant, lorsque la température de l'eau augmente, dû à une charge élevée de chaleur, la convection libre devient assez grande pour en tenir compte.

Plusieurs méthodes différentes ont été utilisées afin de déterminer l'apport massif d'évaporation à la surface de l'eau.

La plupart des formules empiriques s'écrivent de la façon suivante:

$$E = \rho F(W_z) (e_s - e_z) \qquad (3.57)$$

où: E = masse de flux d'évaporation (masse/temps.surface).

ρ = densité de l'eau.

W_z = vitesse du vent à la hauteur z.

$F(W_z)$ = vitesse du vent en fonction de la masse de flux incluant les effets de la convection libre et de la convection forcée. (longueur/temps.pression).

e_s = pression de saturation de la vapeur pour la température de l'eau en surface.

e_z = pression de la vapeur à la hauteur z.

De sorte que le flux de chaleur d'évaporation est:

$$\phi_e = L_v E \qquad (3.58)$$

où: L_v est la chaleur latente d'évaporation. Avec la gamme de températures enregistrées dans les masses d'eau à étudier, L_v peut être considéré comme une constante et l'apport de chaleur devient alors:

$$\phi_e = f(W_z) (e_s - e_z) \qquad (3.59)$$

où: $f(W_z)$ = vitesse du vent en fonction de l'apport de chaleur (énergie/surface.temps.pression).

Surface d'eau naturelle ou non chauffée:

Le nombre de formules disponibles pour évaluer $f(W_z)$ est élevé. Une appréciation détaillée de leur valeur est donnée dans la référence (53). Cependant, les conclusions de cette appréciation sont décrites ci-après en prenant comme repère de hauteur 2 mètres:

$$f(W_z) = 17\ W_2 \quad \text{BTU/pi.ca.jour. mm Hg} \tag{3.60}$$

où: W_2 = vitesse du vent à 2 mètres, en milles par heure.

$$\phi_e = f(W_2)\ (e_s - e_2) \tag{3.61}$$

Surface d'eau chauffée artificiellement:

Pour une vitesse de vent nulle, le transfert de masse de chaleur par convection libre turbulente peut être évaluée à partir de l'équation de diffusion suivante:

$$E = K_m \frac{\partial \rho_v}{\partial z} \tag{3.62}$$

où: E = flux de masse d'eau à travers la surface libre.

ρ = densité de la vapeur.

K_m = diffusivité de la vapeur en tourbillon.

z = altitude.

Si une simple analogie est faite avec un transfert de chaleur par convection libre turbulente (analogie de surface platte), l'équation (3.62) peut s'écrire de la façon suivante:

$$\phi_e = 22.4\ (\Delta\theta)^{1/3}\ (e_s - e_a) \tag{3.63}$$

où: $\Delta\theta = T_s - T_a$

T_s = température de l'eau en surface (^oF).

T_a = température de l'air (^oF)

e_a = pression atmosphérique de la vapeur (mm Hg).

Théoriquement T_a et e_a devraient être mesurées à la même altitude.

Vu que la vapeur d'eau a une densité plus petite que l'air, l'évaporation augmente les forces motrices de poussée. On tient compte de cet effet en substituant les températures virtuelles par les températures actuelles dans l'équation (3.63), qui devient:

$$\phi_e = 22.4\ (\Delta\theta_v)^{1/3}\ (e_s - e_a) \qquad (3.64)$$

où: $\Delta\theta_v = T_{sv} - T_{av}$

et: $T_{sv} = (T_s + 460)/(1 - 0.378\ e_s/p)$

$T_{av} = (T_a + 460)/(1 - 0.378\ e_a/p)$

p = pression atmosphérique (mm Hg).

Il semblerait logique de considérer la convection forcée de la même façon que le cas d'une surface d'eau non chauffée, en appliquant le facteur 17 W_2 $(e_s - e_a)$. Cependant, des travaux expérimentaux réalisés par Ryan et Harleman (1973) semblent prouver que l'évaporation prévue est trop élevée; ceux-ci recommandent d'utiliser un facteur de 14 au lieu de 17. L'action du vent sur une surface d'eau chauffée serait alors:

$$f(W_2) = 22.4\ (\Delta\theta_v)^{1/3} + 14\ W_2 \qquad (3.65)$$

et: $\phi_e = f(W_2)\ \ (e_s - e_a)$

On doit noter que cette formule n'est valide que pour $e_s > e_a$, soit lorsque l'évaporation se produit. Quand $e_s < e_a$, le phénomène de condensation est possible, mais il y a peu de choses connues concernant le tranfert de chaleur dans ce cas; il sera considéré comme étant égal à zéro. Heureusement, cette situation survient rarement.

Dans le cas d'une rivière ou d'un estuaire, la limite entre une eau chauffée et une eau naturelle est difficile à établir car la température décroît continuellement après un apport de chaleur dû à un déversement d'égouts, pour finalement atteindre des valeurs très près de la normale. Dans le but de calculer l'apport total de chaleur à la surface de l'eau, à chacun des points de la rivière ou de l'estuaire, une limite précise de transition doit être établie. En supposant qu'il ne devrait pas y avoir de discontinuité dans le taux d'évaporation quand la température de la surface de l'eau varie, cette limite a été fixée au point où les apports d'évaporation calculés selon l'équation (3.61)-surface d'eau non chauffée - sont égaux à ceux calculés selon l'équation (3.65)- surface d'eau chauffée; ceci survient quand:

$$22.4\ (\Delta\theta_v)^{1/3} + 14\ W_2 = 17\ W_2$$

où: $\Delta\theta_v = 0.0024\ W_2^3$ (3.66)

Lorsque les conditions météorologiques sont connues, cette équation peut être résolue par tâtonnements pour une température T_s, puisque le point de saturation de la pression de la vapeur e_s est fonction de T_s. Pour cette raison un polynôme de troisième degré fut ajusté aux valeurs classifiées de la pression de saturation de la vapeur dans les limites probables d'utilisation (32°F - 90°F):

$$e_s = -2.4875 + 0.2907\ T - 0.00445\ T^2 + 0.0000663\ T^3 \quad (3.67)$$

L'erreur maximale introduite par cette approximation est de 5% à 32°F, et de 1% à 90°F.

Un tracé de l'apport de la chaleur latente d'évaporation versus la température apparaît sur la figure 3.4 , laquelle montre la position du point de transposition.

3.6.8 Flux de chaleur par conduction, ϕ_c.

Posant que la diffusion tourbillonnante de chaleur et de masse sont identiques, Bowen établit en 1926, la relation entre le flux de conduction et celui de l'évaporation, connue sous le nom de rapport de Bowen R:

$$R = \frac{\phi_c}{\phi_e} = 0.255 \left| \frac{T_s - T_z}{e_s - e_z} \right| \qquad (3.68)$$

La température est exprimée en °F et la pression de vapeur en mm de Hg. La validité de cette approche a souvent été mise en doute, mais cette formule demeure la plus cohérente avec les relevés.

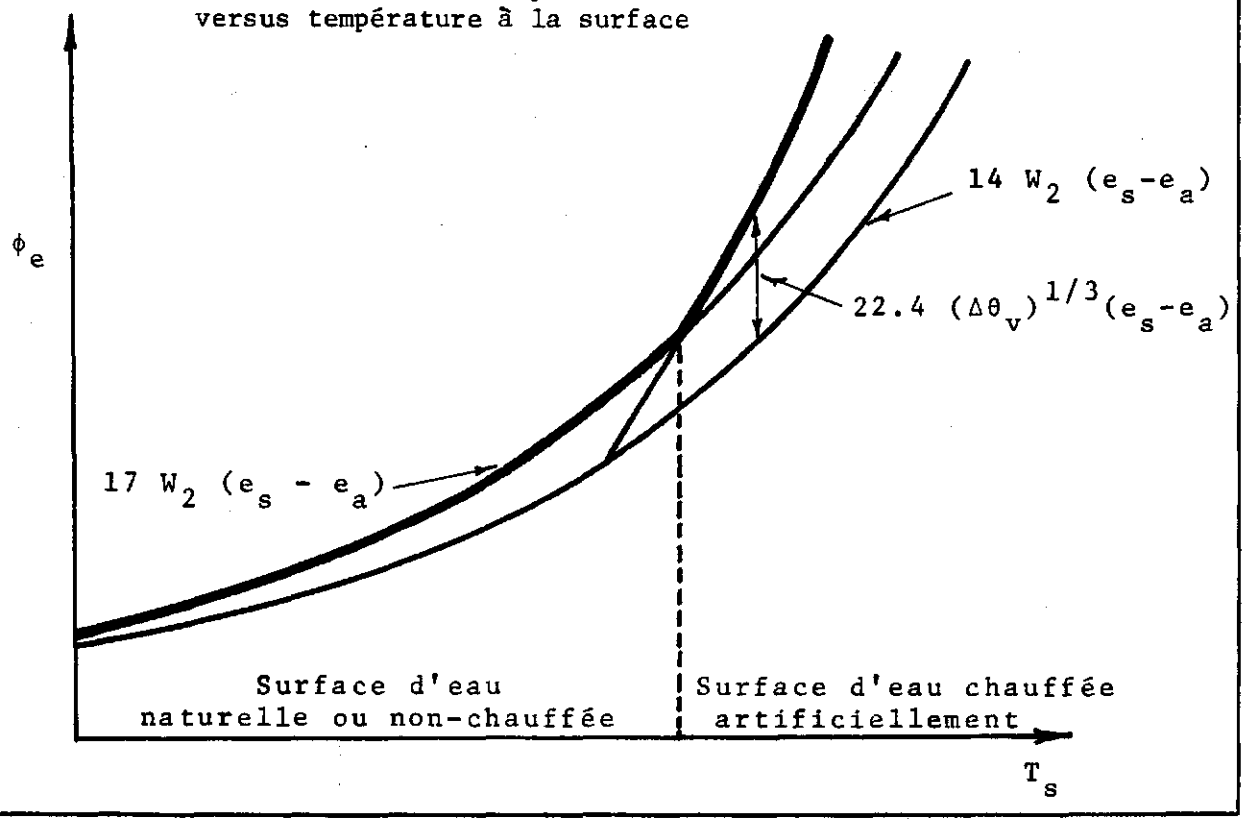
3.6.9 Flux net de chaleur à la surface: ϕ_n.

La fusion des données, démontrée dans les pages précédentes, donne une formule générale pour le flux net de chaleur à la surface:

$$\phi_n = \phi_s - \phi_{sr} + \phi_a - \phi_{ar} - \phi_{br} - \phi_e - \phi_c \qquad (3.69)$$

La détermination des termes de radiaton solaire et atmosphérique ne requiert pas la connaissance de la température de l'eau à la surface, et les apports contribuant à ces termes, seront groupés sous le terme de radiation nette ϕ_r.

Figure 3.4
Flux de chaleur d'évaporation
versus température à la surface



$$\phi_r = \phi_s - \phi_{sr} + \phi_a - \phi_{ar}$$

$$= \phi_{sn} + 1.16\ (T_a + 460)^6\ (1 + 0.17C^2) \qquad (3.70)$$

On doit noter que ce terme de radiation nette n'inclut pas la radiation des ondes longues à la surface de l'eau.

L'équation du flux net de chaleur à la surface est la suivante:

$$\phi_n = \phi_r - \{4\ 10^{-8}(T_s + 460)^4 + f(W)\ [(e_s - e_a) + .255(T_s - T_a)]\} \qquad (3.71)$$

Un sommaire des données requises pour calculer le flux net de chaleur à la surface est donné ci-après. Ces données peuvent se diviser en deux catégories:

- Les conditions météorologiques (MC) qui peuvent souvent être considérées comme constantes le long de la rivière ou de l'estuaire à l'étude, mais variables en fonction du temps.

  Ces conditions sont:

  ϕ_r = terme de radiation nette en BTU/pi.ca.jour.

  T_a = température ambiante en °F.

  r = humidité relative = e_a/e_a sat.

  W_2 = vitesse du vent à 2 mètres (milles/heure).

  p = pression atmosphérique (mm Hg).

- La température de l'eau en surface T_s (°F) varie en fonction de la distance et du temps.

  Pour plus de commodité, le flux net de chaleur à la surface s'écrira de la façon suivante:

  $$\phi_n = \phi_n\ (MC, T_s)$$

3.6.10 Modification de la formule originale pour tenir compte du flux de chaleur en surface comme une fonction des conditions météorologiques:

L'équation à simuler est la suivante:

$$\frac{\partial(AT)}{\partial E} + \frac{\partial(QT)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}\left(AE_L \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{b\phi_n}{\rho c} + \frac{WHD + THD}{\rho c} \qquad (3.72)$$

où: $\frac{WHD + THD}{\rho c}$ est le terme de source, $(r_i/\rho + r_e/\rho)A$, de la formulation générale de l'équation (3.72)

Le terme du flux net de chaleur en surface, $\frac{b\phi}{\rho c}n$, est un nouveau terme de l'équation originale, laquelle était basée sur le concept d'équilibre de la température (température en excès). De façon à inclure ce terme dans l'arrangement numérique des différences finies, la technique d'évaluation résiduelle a été prolongée pour l'inclure. Les évaluations sont déterminées comme auparavant, par la méthode de Galerkin.

3.7 Description du modèle

L'addition de neuf autres paramètres de la qualité des eaux peut être décrite en fonction des trois principales divisions du programme de l'ordinateur pour modèle: les données, le calcul et les résultats.

Il est peu probable que l'usager voudra calculer les treize paramètres à la fois. Les trois divisions du programme ont été conçues pour permettre à l'usager de choisir un nombre déterminé de paramètres. Les exigences d'emmagasinement n'ont pas à excéder ce nombre.

Les routines des données peuvent être divisées (a) en choix des paramètres et des options; (b) en fourniture de la géométrie des tronçons, des coefficients et des conditions initiales; (c) en fourniture des conditions limites et des résultats pour chaque période de marée. Le guide de l'usager, appendice B, lui procure une description détaillée des données requises. Mentionnons ici seulement que l'usager peut ou choisir de nouveaux coefficients pour les différentes réactions biochimiques, ou accepter les valeurs d'équivalence fournies par le programme.

La division "calcul" du programme est semblable à la version originale, sauf pour l'opération additionnelle nécessaire au calcul des termes des sources de nutriments. Ce calcul est effectué en utilisant les valeurs des paramètres calculées durant l'opération précédente. Cette partie des termes de sources de nutriments de l'équation des différences finies est formulée explicitement, alors que la balance de l'équation est formulée implicitement.

Ces résultats imprimés du programme ont été modifiés pour n'exprimer que les paramètres de la qualité des eaux choisis pour l'étude. (Auparavant, une colonne avait été réservée pour chaque paramètre, qu'il soit calculé ou non).

Un organigramme du calcul de la qualité des eaux est présenté dans la figure 3.5.

3.8 Considérations sur la programmation.

3.8.1 Séquence de calcul.

Il est évident que les divers paramètres impliqués dans la simulation des cours d'eau sont interreliés. Les résultats de la simulation d'un paramètre particulier sont donc nécessaires au modelage d'un autre paramètre. Par conséquent, il est essentiel que les divers paramètres soient simulés dans une séquence déterminée. Ceci est illustré à la figure 3.6.

3.8.2 Simulation des nutriments.

On a déjà mentionné qu'une simulation mathématique rigoureuse du groupe des nutriments entraîne la solution simultanée de six équations différentielles pour les six paramètres. Parce que les paramètres apparaissent dans plus d'une équation, la solution précise requiert une approche par tâtonnements. Bien qu'une telle solution soit possible, une approximation peut également être faite, selon laquelle à chaque étape les six équations sont solutionnées au moyen des valeurs des paramètres de l'étape précédente.

Une telle approximation rehaussera la simplicité du programme et l'efficacité des calculs tout en introduisant une erreur négligeable.

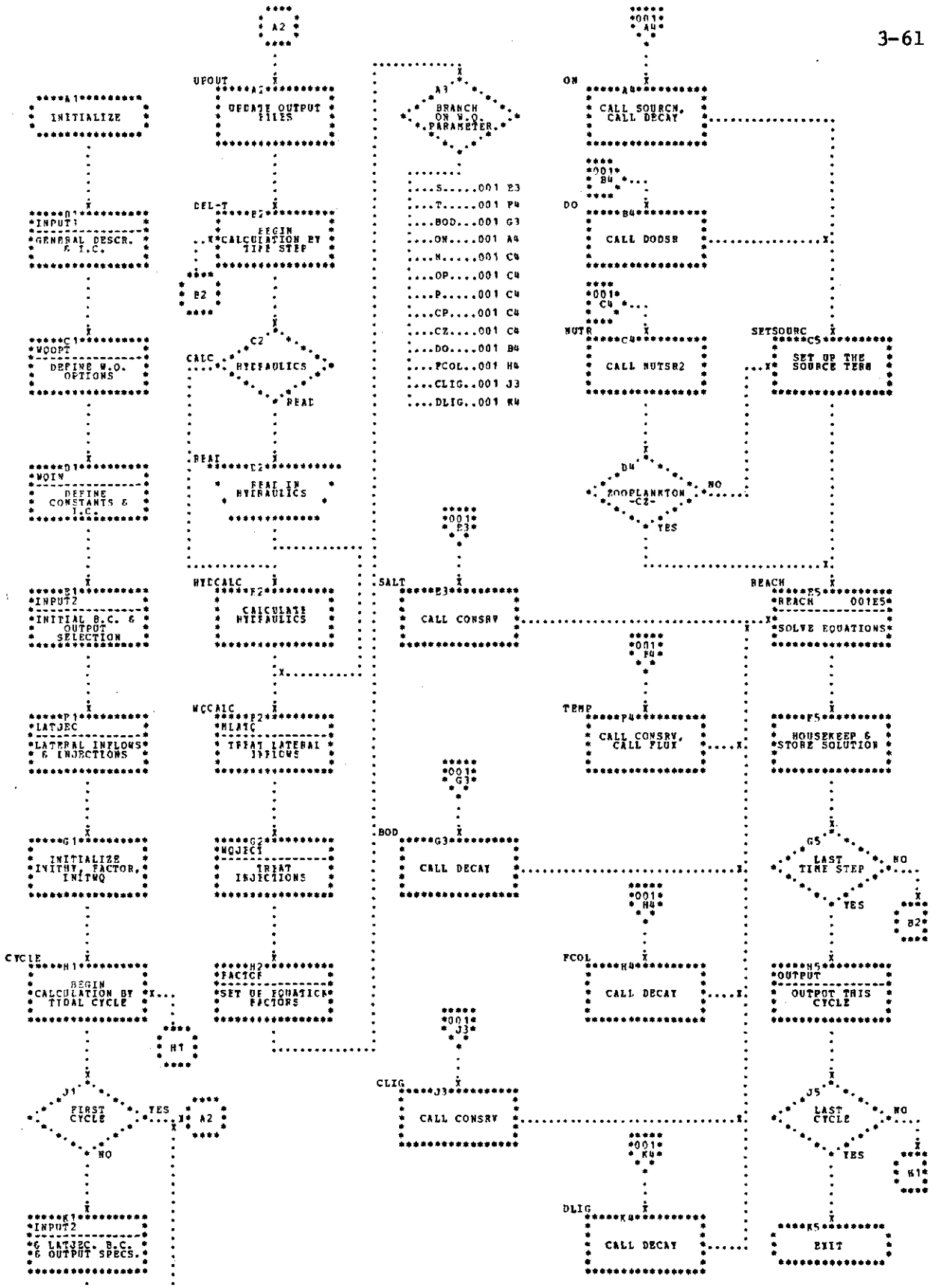


FIGURE 3.5

ORGANIGRAMME GÉNÉRAL DU MODÈLE POUR LE CALCUL DYNAMIQUE DE LA QUALITÉ DES EAUX. SOUS-ROUTINES EMPLOYÉES.

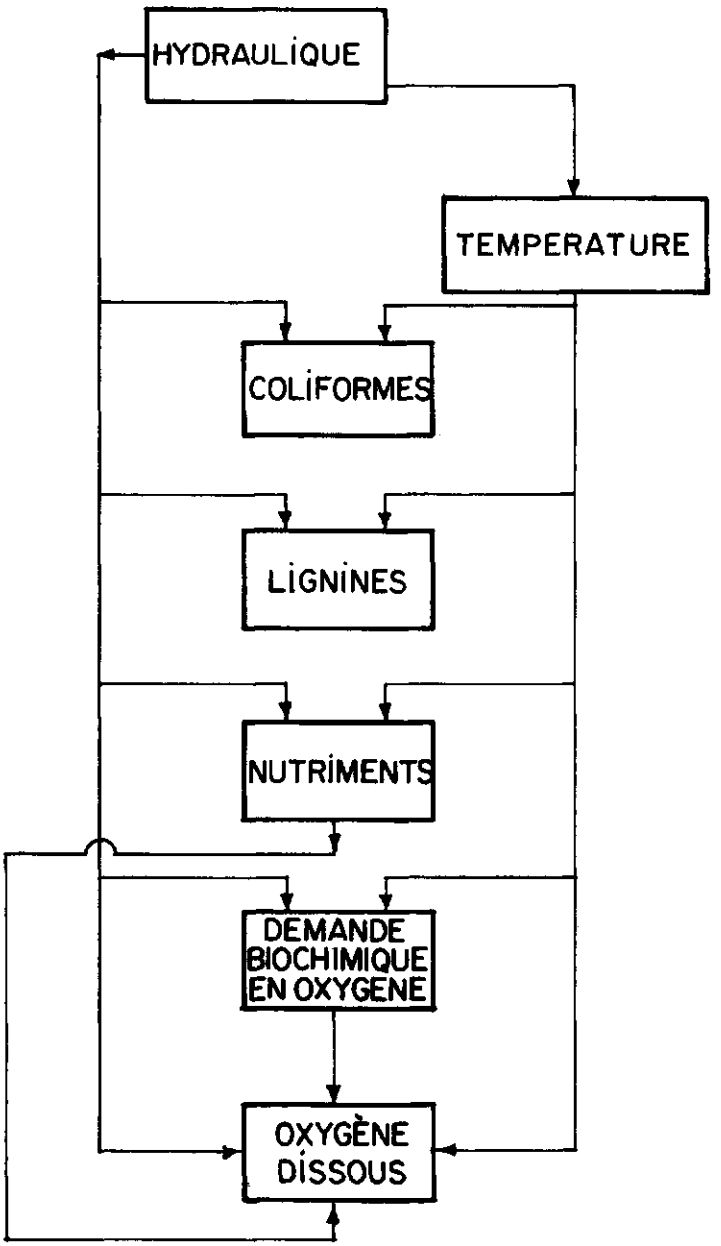


FIGURE 3.6

DETERMINATION DE LA SEQUENCE DE CALCULS

4. VERIFICATION DU MODELE HYDRODYNAMIQUE

4.1 Brève revue du modèle

Même si une description complète du modèle fut faite l'an passé lors de la première étape (1), nous ferons ci-dessous un bref résumé des équations de base.

Le modèle hydrodynamique est basé sur la méthode développée par Gunaratnam et Perkins (29), qui repose sur l'utilisation des différences finies implicites pour la solution des équations de St-Venant lesquelles régissent l'écoulement non-permanent et non-uniforme dans les canaux à surface libre de sections transversales variées. Suivant les recommandations de Gunaratham et Perkins, MM. Wood, Harley et Perkins (42) développèrent un modèle basé sur un ensemble de réseaux et de tronçons. Dailey et Harleman (4) ont développé un modèle constitué d'embranchements et de boucles pour prédire la qualité non-permanente des eaux; celui-ci utilise le modèle hydrodynamique de réseaux et de tronçons afin de générer les données hydrodynamiques de base pour l'étude des différents procédés de réaction et de transport.

Les équations de continuité et de quantité de mouvement qui suivent sont souvent décrites comme les équations de St-Venant. Elles décrivent le mécanisme de propagation des ondes à longue période dans des écoulements à surface libre et constituent les expressions mathématiques de conservation de masse et de quantité de mouvement. Les dérivations de ces équations ont été données par plusieurs auteurs, y compris Gilcrest (43), Lai (44) et Harleman et Lee (45).

L'équation de continuité donne:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L \qquad (4.1)$$

où q_L = débit latéral d'entrée par unité de longueur du canal.

Si l'on assume que la surface d'eau transversale est horizontale, cela signifie que les effets de Coriolis et des coudes du canal sont négligeables et on peut écrire:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = B\frac{\partial z}{\partial t} \qquad (4.2)$$

où: B = largeur du canal en surface

z = élévation de la surface de l'eau par rapport à un point de repère arbitraire horizontal

Après substitution, l'équation de continuité devient:

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L \tag{4.3}$$

L'équation de la quantité de mouvement décrit le transport longitudinal de la quantité de mouvement et peut être exprimée sous une forme similaire à l'équation de la conservation de masse:

$$\frac{\partial}{\partial t}(AU) + \frac{\partial}{\partial x}(QU) = - Ag\left(\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{U|U|}{C_z^2 R_h}\right) \tag{4.4}$$

où $U = \frac{Q}{A}$ = vitesse moyenne transversale

g = accélération gravitaire

C_z = coefficient de Chézy

R_h = rayon hydraulique

Pour dériver cette forme de l'équation de la quantité de mouvement, on suppose que la pression à travers la profondeur d'écoulement est hydrostatique, c'est-à-dire, les accélérations verticales sont négligeables et la densité du fluide est supposée homogène. Il est supposé également que la dissipation de la quantité de mouvement due à la friction sur les parois et à la turbulence peut être décrite par une formule empirique telle que l'équation de Chézy. Pour les calculs dans l'estuaire, l'hypothèse d'un fluide de densité homogène n'est pas tout à fait vraie dans les secteurs près de l'ocean, où on retrouve l'intrusion d'eau salée. Thatcher et Harleman (3) et Fisher, Nava et Cross (46) ont inclus un terme additionnel pour l'équation de la quantité de mouvement pour tenir compte des effets des pentes longitudinales de densité:

$$g \frac{A d_c}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial} \tag{4.5}$$

où ρ = densité du fluide

d_c = profondeur au centre de masse de la section transversale

Deux autres transformations sont utiles pour placer l'équation de la quantité de mouvement dans une forme convenable pour une solution numérique. Dans l'équation (4.4), les dérivés de la vitesse et du débit apparaissent. Comme la plupart des solutions numériques sont exprimées en terme d'élévation de surface d'eau et de débit, le dérivé de la vitesse peut être éliminé en écrivant:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = U \frac{\partial A}{\partial x} + A \frac{\partial U}{\partial x} \tag{4.6}$$

ou

$$Q \frac{\partial U}{\partial x} = U \frac{\partial Q}{\partial x} - U^2 \frac{\partial A}{\partial x} \tag{4.7}$$

Les effets d'un canal nonprismatique peuvent également être inclus avec la représentation du dérivé de l'aire, sous la forme suivante:

$$\frac{\partial}{\partial x}\{A(x,z(x,t))\} = \left.\frac{\partial A}{\partial x}\right|_{z=\text{const}} + \frac{\partial A}{\partial z}\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\partial A^z}{\partial x} + B\frac{\partial z}{\partial x} \qquad (4.8)$$

Par des additions et des soustractions appropriées, l'équation de la quantité de mouvement peut s'écrire:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2U\frac{\partial Q}{\partial x} = -Ag\left\{(1-F^2)\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{F^2}{B}\frac{\partial A^z}{\partial x} + \frac{U|U|}{C_z^2 R_h} + \frac{d_c}{\rho}\frac{\partial \rho}{\partial x}\right\} \qquad (4.9)$$

où: $F = \frac{U}{c}$

$c = \sqrt{g\frac{A}{B}}$ = vitesse de l'onde

On peut introduire un autre raffinement par la notion de l'aire d'écoulement. Ce terme permet de différencier la partie principale du canal de l'estuaire où le débit passe réellement des sections de baies et/ou de zones mortes. Ces zones mortes ne contribuent pas au transport longitudinal de quantité de mouvement par courants dans le canal principal; toutefois, elles emmagasinent de l'eau. Pour reproduire ces effets physiques dans le modèle mathématique, l'aire de la section transversale A dans l'équation longitudinale de la quantité de mouvement est désignée comme étant l'aire de la section d'écoulement dans la partie principale où le débit est confiné.

Nous répéterons pas ici ce qui a été décrit dans le Rapport N° 1 concernant la représentation du St-Laurent par un modèle géométrique sous une forme compatible avec les exigences des données du modèle mathématique. Toutefois, tel que mentionné à la section 2.2, le tronçon estuaire (sous-réseau 5) a été représenté par des sections transversales irrégulières avec des largeurs variables en surface et la base de référence des élévations IGLD a été utilisée pour tout ce trançon du fleuve.

Dans la partie en amont de Lanoraie, on a fait l'hypothèse que pour le 12 juillet 1969, les conditions stables d'élévations et de débits existaient (voir tableau 2.2) dans le fleuve. Entre Lanoraie et Montmagny, dans la partie de l'estuaire, on a adopté comme condition de frontière à Montmagny des marées semi-diurnes pour la période du 8 au 12 juillet 1969.

Les résultats de la vérification hydrodynamique pour l'ensemble des réseaux sont commentés ci-dessous et à l'annexe C-2. Les données pour tous les sous-réseaux sont montrées à l'annexe C-1.

4.2 Vérification du sous-réseau 1 (de Cornwall au Canal de Beauharnois)

Les mêmes données que pour l'étape I ont été utilisées pour la vérification, sauf que la durée de la période a été augmentée à 80,000 secondes pour tenir compte des exigences du modèle de la qualité des eaux. La convergence a été obtenue tôt, tel que montré aux figures 4.1 et 4.2. Les profils de surface d'eau pour tous les tronçons sont montrés aux figures 4.3 à 4.10; la comparaison des résultats simulés avec ceux des quatre limnographes dans ce sous-réseau indique que cette partie a été très bien représentée (tableau 4.1), la plus grande différence étant 0.22 pieds au limnographe de Beauharnois, en amont de l'écluse (voir figure 4.9).

TABLEAU 4.1

Sous-réseau 1. Comparaison des niveaux d'eau mesurés et calculés

Station	Mesurés + 100 pi.	Calculés, pi.	Diff., pi.
Cornwall	253.71	253.54	.17
Summerstown	252.84	252.64	.20
(Tronçon 9)	–	252.86	-.02
Côteau Landing	252.05	251.94	.11
Beauharnois, à l'amont de l'écluse	249.32	249.10	.22

4.3 Vérification du sous-réseau 2 (de Carillon aux Rapides de Lachine)

Un travail considérable a été fait dans ce sous-réseau pour obtenir une bonne précision, particulièrement dans la partie aval entre Vaudreuil et Ste-Anne de Bellevue jusqu'à la tête des Rapides de Lachine. Quelques erreurs ont été décelées dans les données de l'étape I et corrigées (aux tronçons 30, 300, 31 et 310, et à plusieurs sections transversales près des Rapides de Lachine). On a utilisé un débit de 69,800 pcs à Carillon, 40,100 pcs au barrage des Cèdres et 257,800 pcs à Beauharnois.

Certaines données ont été modifiées de la façon suivante:

- prolongation de la période à 60,000 sec.
- le coefficient de Manning "n" a été porté à 0.020 dans les tronçons 15 et 16;
- l'élévation de la surface de l'eau mesurée au limnographe de Lachine (169.6 pi.) a été considérée comme fixe pour la condition limite à l'aval;

- les noeuds en aval des tronçons 30, et ceux en aval des tronçons 31 et 32 (Vaudreuil et Ste-Anne de Bellevue) ont été supposés comme étant du type "laminage de crues" et les structures de contrôle à ces endroits ont servi à déterminer ces noeuds.

Les figures 4.11 et 12 montrent la convergence à la fin de la période. Il est à noter que l'hydrographe du tronçon 32 a été tracé à une échelle 80 fois plus grande que celle du tronçon 16, ce qui explique l'apparence instable de l'hydrographe.

Les quatre élévations de niveau d'eau observées dans ce sous-réseau ont été comparées aux profils simulés, tels que montrés aux figures 4.13 à 4.21. L'écart maximum est de 0.27 pieds (figure 4.18) au limnographe de Pointe-des-Cascades. On remarque que le profil simulé est légèrement supérieur au profil observé. Le tableau 4.2 ci-dessous montre la comparaison des niveaux d'eau.

TABLEAU 4.2

Sous-réseau 2. Comparaison des niveaux d'eau mesurés et calculés

Station	Mesurés + 100 pi.	Calculés, pi.	Diff., pi.
Carillon, en aval de l'écluse	172.19	172.36	-.17
Ste-Anne de Bellevue	171.99	171.98	.01
Beauharnois, en aval de l'écluse	170.96	171.16	-.20
(Tronçon 14)	—	171.21	-.25
Pointe-des-Cascades	170.94	171.21	-.27
Pointe-Claire	170.41	170.66	-.25
Côte Ste-Catherine, en amont de l'écluse	170.50	170.48	.02
Lachine	169.57	169.57	Fixée

4.4 Vérification du sous-réseau 3 (bassin de Laprairie à Lanoraie)

La vérification des élévations dans le bassin de Laprairie n'avait pas donné de bons résultats lors de l'étape I. On avait séparé ce sous-réseau en deux: le sous-réseau 3-B couvrait le territoire compris entre le bassin de Laprairie et le tronçon 20, tandis que le sous-réseau 3-A allait du tronçon 20 à Lanoiraie. La planche 2 nous montre la façon dont le sous-réseau 3 fut subdivisé pour faciliter l'étude et économiser du temps d'ordinateur en réduisant le nombre de tronçons pour chaque essai, le tronçon 20 étant commun aux sous-réseaux 3-A et 3-B.

Tel que mentionné dans le rapport de l'étape I[1], nous avions fait l'étude du sous-réseau 3-A, mais nous n'avions pas complété celle du sous-réseau 3-B à cause d'un écart de 1.3 pieds entre les valeurs observées et simulées (élév. 122.67) dans le tronçon 20 près du limnographe de la rue Frontenac. Il a fallu faire l'étude de la façon présentée ci-dessous.

4.4.1 Sous-réseau 3-B (bassin de Laprairie au quai Racine)

Une étude spéciale sur les niveaux d'eau observés dans ce sous-réseau fut entreprise afin de déterminer l'élévation appropriée au noeud amont du tronçon 20. On a interpolé les mesures de niveau d'eau pour finalement obtenir une élévation de 121.17 comme condition fixe à cet endroit. Après avoir vérifié à nouveau toutes les données, réduit les intervalles de temps et de distance entre les sections, et modifié les niveaux d'eau moyens pour le bassin et essayé différents coefficients de Manning "n" dans les zones peu profondes, nous avons pu vérifier les niveaux d'eau avec exactitude pour la première fois.

Les figures 4.23 à 4.25 montrent les hydrographes pour les trois principaux tronçons. Il est intéressant de noter comment la convergence fut obtenue en employant la plus grande valeur de n (0.10) dans le tronçon 17 (Bassin de Laprairie). Dans les tronçons 18 et 19 (autour de l'Ile Ste-Hélène), on utilisa un coefficient n de 0.025 pour la vérification.

La figure 4.26 illustre l'accroissement d'élévation de la surface de l'eau, calculée lorsque n croît de 0.035 à 0.100. L'écart maximal entre les valeurs observées et les valeurs calculées est de 0.50 pieds au limnographe de Laprairie et de 0.25 dans le tronçon 18, figures 4.27 et 4.28.

TABLEAU 4.3

Sous-réseau 3-B. Comparaison des niveaux d'eau mesurés et calculés

Station	Mesurés + 100 pi.	Calculés, pi.	Diff., pi.
Laprairie	133.69	133.18	.51
Montréal, Jetée N° 1	122.34	122.12	.22
St-Lambert, en aval de l'écluse	121.38	121.18	.20
Montréal, rue Frontenac	121.37	121.62	-.25

4.4.2 Sous-réseau 3-A (Jetée Tarte à Lanoraie)

Les figures 4.30 et 4.31 illustrent respectivement la convergence dans le tronçon 22 (partie amont du sous-réseau 3-A) et le tronçon 44 (partie aval du sous-réseau 3-A).

Les modifications dans les données furent mineures. Des valeurs de n de 0.020 dans les tronçons 21 et 22, de 0.022 dans les tronçons 23 et 24, et de 0.015 dans le tronçon 20, nous permirent d'obtenir un profil d'écoulement d'eau (figures 4.32 à 4.37) avec un écart maximum de 0.29 pi. entre les valeurs calculées et mesurées à Varennes. (Voir Tableau 4.4.)

Une différence de plus de 0.5 pi. existe encore au noeud amont du tronçon 20 entre l'élévation calculée et celle considérée comme fixe aux conditions de frontière du sous-réseau 3-B; la première valeur a été obtenue en prenant uniquement le débit comme condition limite amont. Nous devrons accentuer notre travail dans la simulation du tronçon 20.

Il est à noter que l'on reliera éventuellement les sous-réseaux 3-A et 3-B en un seul réseau, comme à l'origine.

TABLEAU 4.4

Sous-réseau 3-A. Comparaison des niveaux d'eau mesurés et calculés

Station	Mesurés + 100 pi.	Calculés pi.	Diff. pi.	*	Différence corrigée pi.
Varennes	119.54	119.25	.29	(-.09,.12)	.20
(Tronçon 23)	—	119.55	-.01		
Répentigny	118.71	118.89	-.18	(-.10,.11)	-.07
(Tronçon 42)	—	118.59	.12		
Verchères	118.33	118.08	.25	(-.11,.11)	.14
Lavaltrie	117.30	117.35	-.05	(-.09,.09)	.04
Contrecoeur	117.20	117.46	-.26	(-.09,.12)	-.17
Lanoraie	116.59	116.39	.20	(-.09,.10)	.11

* Différences maximales et minimales entre les mesures horaires et les moyens journaliers.

4.5 Vérification du sous-réseau 4 (rivières des Prairies et des Mille-Iles).

Ce sous-réseau a été divisé en 14 tronçons pour fins de simulation (voir planche no 1) et il comprend le territoire entre le Lac des deux Montagnes et la confluence de la rivière des Prairies et le fleuve Saint-Laurent. Il inclut aussi la rivière des Mille-Iles. Il a été possible (57) d'inclure dans les données géométriques les rapides (si nombreux dans ces deux rivières) en utilisant des sections transversales très rapprochées: d'au moins 450 pieds aux rapides Lalemant (tronçon 35) et 400 pieds aux rapides du Cheval Blanc (tronçon 36), et d'au moins 425 pieds aux rapides près de l'Île de Pierre (tronçon 56) et 400 pieds à l'amont de la rivière des Mille-Iles (tronçon 58). Le sous-réseau inclut une structure de contrôle sur la rivière des Prairies à la centrale de l'Hydro-Québec (noeud 6), et une autre structure sur la rivière des Mille-Iles (noeud 13). A l'aval de cette dernière, existe une section d'environ 10,000 pieds, entre les noeuds 13 et 4, pour laquelle nous n'avons aucune donnée géométrique. Aucune zone d'emmagasinement d'eau n'a été simulée pour les deux rivières.

Un premier essai de vérification hydrodynamique a été fait pour une période de 60,000 secondes, la durée de l'intervalle de temps étant 100 secondes seulement, compte tenu de l'intervalle de longueur minimum (350 pieds) et du critère de convergence. Avant d'obtenir des résultats du modèle mathématique, il a fallu manipuler les coefficients de Manning correspondant à certains tronçons sur la rivière des Mille-Iles. Ceci a été nécessaire afin d'obtenir des débits positifs au début des calculs; donc, des valeurs du coefficient n assez élevées ont été adoptées: 0.15 pour les tronçons 58 et 59 et 0.175 pour le tronçon 60. Des contraintes de temps nous ont obligés à arrêter à ce point les calculs pour le sous-réseau 4 et les résultats de vérification ne sont présentés ici qu'à titre d'exemples car il faudra réduire les valeurs de n mentionnées ci-dessus et choisir d'autres valeurs appropriées pour le reste des tronçons. Ceci, combiné avec d'autres améliorations concernant la longueur de la période modelée ou une meilleure schématisation du sous-réseau nous permettra de compléter la vérification hydrodynamique. L'une des causes des problèmes peut être le fait que la pente de la surface de l'eau est très raide dans la plupart du parcours.

La figure 4.38 en annexe A-2 montre les hydrographes pour deux sections de calcul consécutives dans le tronçon 38; il est évident qu'on n'est pas encore arrivé à la convergence. La figure 4.39 est l'hydrographe pour le tronçon le plus en aval du sous-réseau 4 montrant que l'on n'est pas loin du débit d'équilibre. La plupart des tronçons indiquent que cet état d'équilibre n'a pas encore été approché, les plus critiques étant les cas des tronçons 34, 38, 58, 59 et 60. Le profil modelé de la surface de l'eau

le long de la rivière des Prairies montré aux figures 4.40, 4.41 et 4.42 indique aussi la nécessité de travail additionnel nécessaire à la vérification hydrodynamique.

Le niveau de l'eau observé le 12 juillet 1969 à l'usine de pompage de la cité de Pont-Viau est de .30 à .90 pieds au-dessus du profil calculé par le modèle (figure 4.41). Une meilleure définition des conditions limites au barrage de l'Hydro-Québec, telle que la courbe niveau-débit, permettra la vérification définitive du tronçon 38. En ce qui concerne les deux autres limnographes (figure 4.42), les différences entre les niveaux modelées et mesurées sont respectivement de 0.60 pieds et de 0.15 pieds aux tronçons 55 et 57. Une valeur de n égale à environ 0.032 pourrait permettre des meilleurs résultats pour le tronçon 55.

En conclusion, le sous-réseau 4 n'a pas été complètement vérifié mais les résultats obtenus nous ont permis de constater les capacités du modèle pour simuler des sections de rivières où il y a des rapides. Ces résultats serviront de base à la vérification définitive. Naturellement cela signifie aussi que les exigences de schématisation et du temps modelé sont plus rigoureuses.

4.6 Distribution du débit d'eau

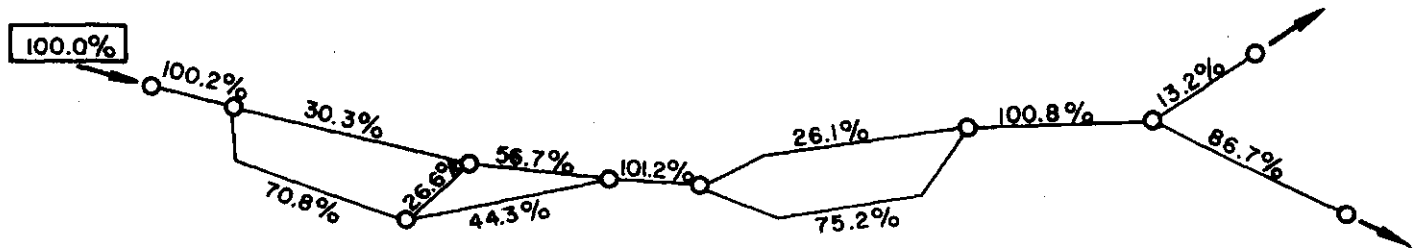
L'importance relative d'un tronçon du fleuve peut être représentée par le débit d'eau aux conditions stables. D'après les résultats du modèle hydrodynamique, la distribution approximative des masses d'eau dans les tronçons qui se trouvent dans la région vérifiée de façon définitive pour le 12 juillet 1969 (sous-réseaux 1, 2, 3A et 3B), est celle montrée schématiquement aux figures 4.43 et 4.44. Le débit total d'entrée (condition limite) pour chaque sous-réseau a été pris comme étant le 100% et celui pour chaque tronçon est le débit d'eau à mi-chemin du parcours dudit tronçon.

Les différences relatives aux débits mesurés entre les débits mesurés aux stations de jaugeage et ceux prédits par le modèle pour le sous-réseau 2 sont: 1% aux Rapides de Lachine, 13% à l'extrémité est du Lac des Deux Montagnes et environ 20% au canal Vaudreuil et à Ste-Anne-de-Bellevue, l'importance de ce dernier résultat étant, bien sûr, liée aux déficiences dans les mesures de débits à ces deux stations, tel que mentionné aux sections 2.4 et 2.6.

4.7 Commentaires sur la vérification de la région Cornwall à Lanoraie

Compte tenu du nombre limité de limnographes, le modèle hydrodynamique unidimensionnel pour la région amont (sous-réseau 1, 2, 3A et 3B) a été vérifié de façon satisfaisante, les différences entre niveaux d'eau mesurés et calculés ne dépassant pas un quart

a) SOUS-RÉSEAU 1
DÉBIT TOTAL D'ENTRÉE = 297,000 pcs (100%)



b) SOUS-RÉSEAU 2
DÉBIT TOTAL D'ENTRÉE = 367,700 pcs (100%)

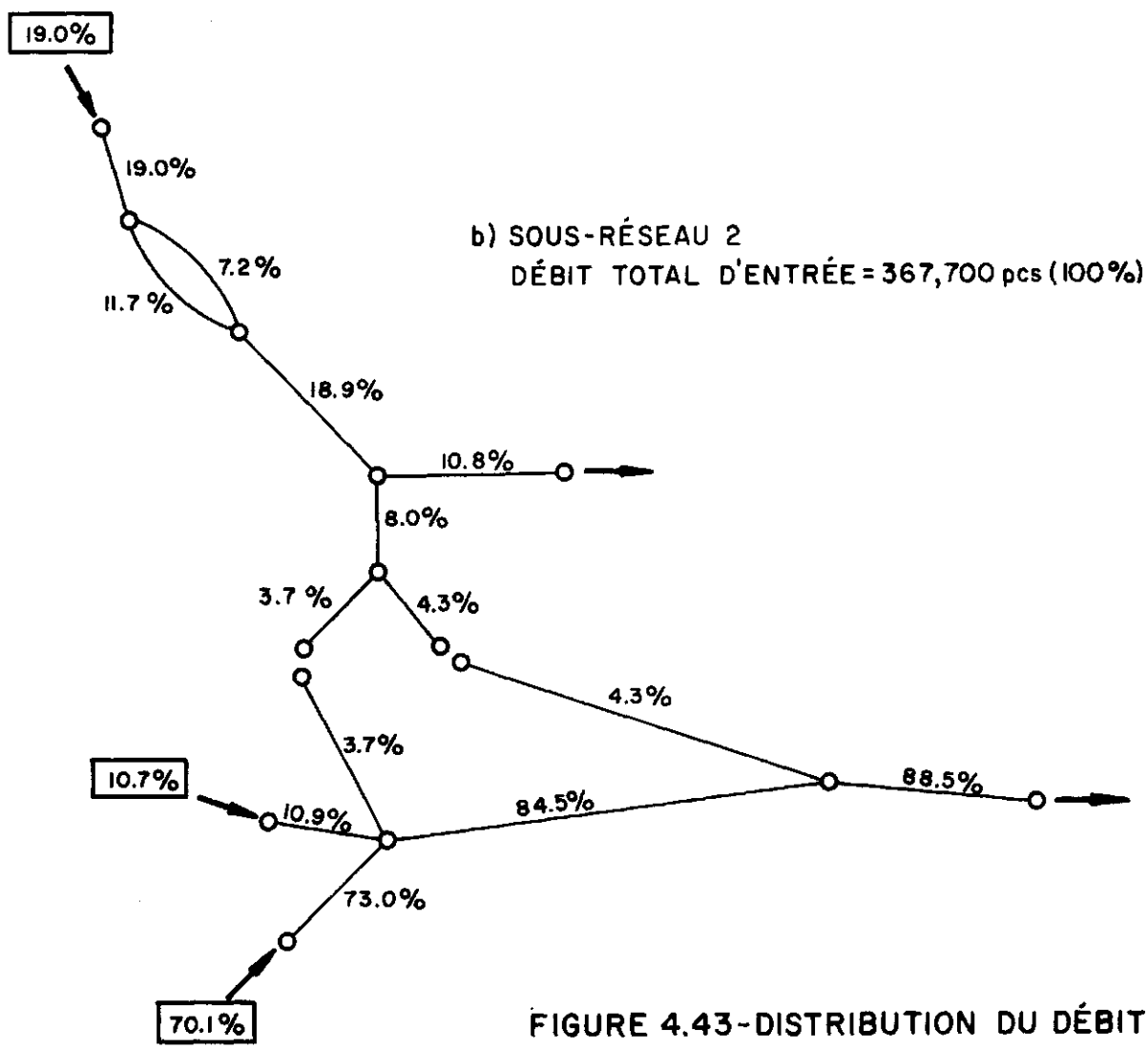


FIGURE 4.43 - DISTRIBUTION DU DÉBIT D'EAU DANS LES TRONÇONS DES SOUS-RÉSEAUX 1 ET 2.

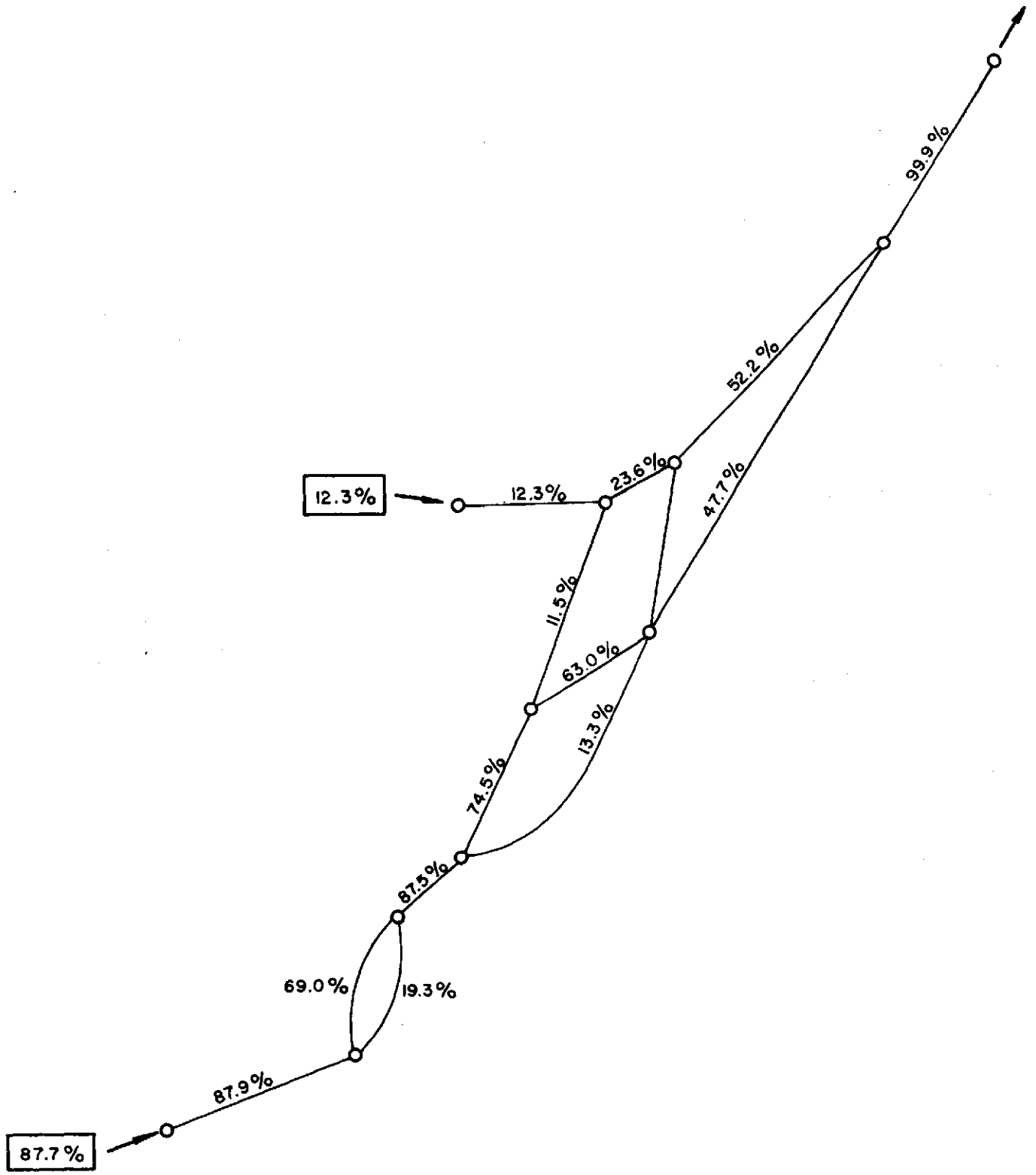


FIGURE 4.44 - DISTRIBUTION DU DÉBIT D'EAU DANS LES TRONÇONS DU SOUS-RÉSEAU 3. DÉBIT TOTAL D'ENTRÉE = 375,000 pcs (100%)

de pied, à l'exception du bassin de Laprairie, où une meilleure schématisation (qui tiendrait compte de pertes d'énergie causées par la structure de contrôle de la glace en amont du pont Champlain et par les conditions spéciales d'écoulement dans le bassin) nous permettrait de compléter la vérification de cette zone du fleuve sans avoir besoin d'employer des coefficients de Manning trop élevés.

Cependant, le fait d'avoir seulement un limnographe (à l'aval du tronçon 17) complique cette tâche. Le Lac Saint-Louis (tronçons 15 et 310) est une autre zone qui demande une meilleure schématisation; d'après les profils (figures 4.19 et 4.20) le niveau de la surface de l'eau du côté sud du lac (tronçon 15) serait environ un demi pied au-dessus du niveau du côté nord. Peut être la solution aux problèmes du bassin de Laprairie et du Lac Saint-Louis est-elle l'utilisation d'un modèle bi-dimensionnel, tel que mentionné au chapitre 7.

Il est intéressant de remarquer le fait suivant concernant le critère utilisé pour la vérification des niveaux d'eau: les valeurs mesurées qu'on a comparées aux valeurs prédites par le modèle sont des moyennes pour la journée du 12 juillet 1969, mais en réalité le niveau de l'eau n'a pas été stable, il a varié pendant la journée. Cela veut dire que la vérification est encore meilleure qu'elle ne le semble à première vue si l'on tient compte de l'écart entre les mesures pendant la journée, tel qu'illustré au tableau 4.4 où la dernière colonne montre les différences "corrigées" entre niveaux horaires mesurés les plus proches des niveaux calculés et ces derniers, pour le sous-réseau 3A.

Il reste encore à apporter des améliorations au sous-réseau 4 pour que la vérification hydrodynamique soit complète.

En passant, il faut mentionner que les résultats du modèle incluent aussi la profondeur et la vitesse moyenne d'écoulement aux sections de calcul le long de chaque tronçon.

4.8 Vérification du sous-réseau 5 (de Lanoraie à Montmagny)

4.8.1 Données d'entrée

La partie principale des données d'entrée pour le programme d'ordinateur était constituée par la quantité massive d'information sur les caractéristiques géométriques des sections transversales (groupe de cartes B du guide de l'usager). Ensuite, les apports des tributaires principaux, tel que montré au tableau 2.6, et les conditions limites (débit journalier constant à Lanoraie et marée à Montmagny) ont complété les données.

Un premier essai de calcul nous a permis de déterminer le nombre de périodes de marée et les intervalles de temps et de distance

nécessaires pour obtenir une convergence rapide. Dans le cas d'un estuaire, la convergence a été considérée satisfaisante une fois que la marée devenue périodique à chaque endroit, c'est-à-dire lorsqu'un équilibre dynamique a été obtenu. Cinq périodes d'un jour (86400 secondes) furent suffisantes comme première approximation; chacune des périodes inclut une pleine mer supérieure, une pleine mer inférieure, une basse mer supérieure et une basse mer inférieure, étant donné que la marée dans le fleuve Saint-Laurent est du genre semi-diurne. Une combinaison de 100 intervalles de 864 secondes chacun, et des intervalles d'espace de 2,640 pieds ($\frac{1}{2}$ mille) et 6600 pieds ($1\frac{1}{4}$ milles) a été jugée suffisante.

En ce qui concerne les valeurs du coefficient de Manning (n) adoptées, elles varient de 0.015 pour le tronçon 45 à 0.035 pour le tronçon 48 (qui inclut les Rapides Richelieu). Les valeurs utilisées pour les calculs presentés ici sont montrées à la figure 4.45. Pour arriver à ces valeurs, il nous a fallu essayer quatre combinaisons différentes de coefficients n.

Les conditions limites (marées) adoptées aux noeuds 10 (Cap-Tourmente) et 9 (Montmagny) ont été développées à partir de la marée mesurée à la station Saint-François, la plus proche des noeuds mentionnés. Les élévations horaires de la surface de l'eau à Saint-François à partir de 4h le 8 juillet jusqu'à 4h le 13 juillet 1969 ont donc été utilisées comme marées, avec une correction de 1000 secondes pour tenir compte du temps nécessaire à l'onde de marée pour parcourir le trajet entre les noeuds 9 et 10 et le limnographe à Saint-François. Cette marée de cinq jours (ou périodes) est montrée aux figures 4.46 et 4.47 à l'annexe A-2. A remarquer la tendance des pleine mers à monter surtout pour les trois dernières périodes, fait qui affecte négativement la convergence voulue. En passant, il n'était pas question d'utiliser une marée condensée (une pleine mer et une basse mer) et de la répéter pendant 10 fois à cause des propriétées particulières des marées dans la région d'étude, qui demandent de tenir compte d'au moins une journée complète pour une bonne simulation (47).

4.8.2 Résultats de la simulation

Les résultats de la simulation de l'hydrodynamique de l'estuaire sont presentés sous forme de graphiques tracés à l'aide du programme des tracés, à l'annexe A-2 montrant: a) les niveaux de l'eau en fonction du temps (marées) pour les 24 heures entre le 12 juillet à 4h et le 13 juillet 1969 à 4h aux endroits où se trouvent des limnographes, b) les profils des pleine mers supérieures et des basse mers inférieures le long de l'estuaire pour la même période, et c) les courbes de variation du débit d'eau à des endroits clefs montrant les grandeurs et les durées des courants de flot (flux) et de jusant (reflux).

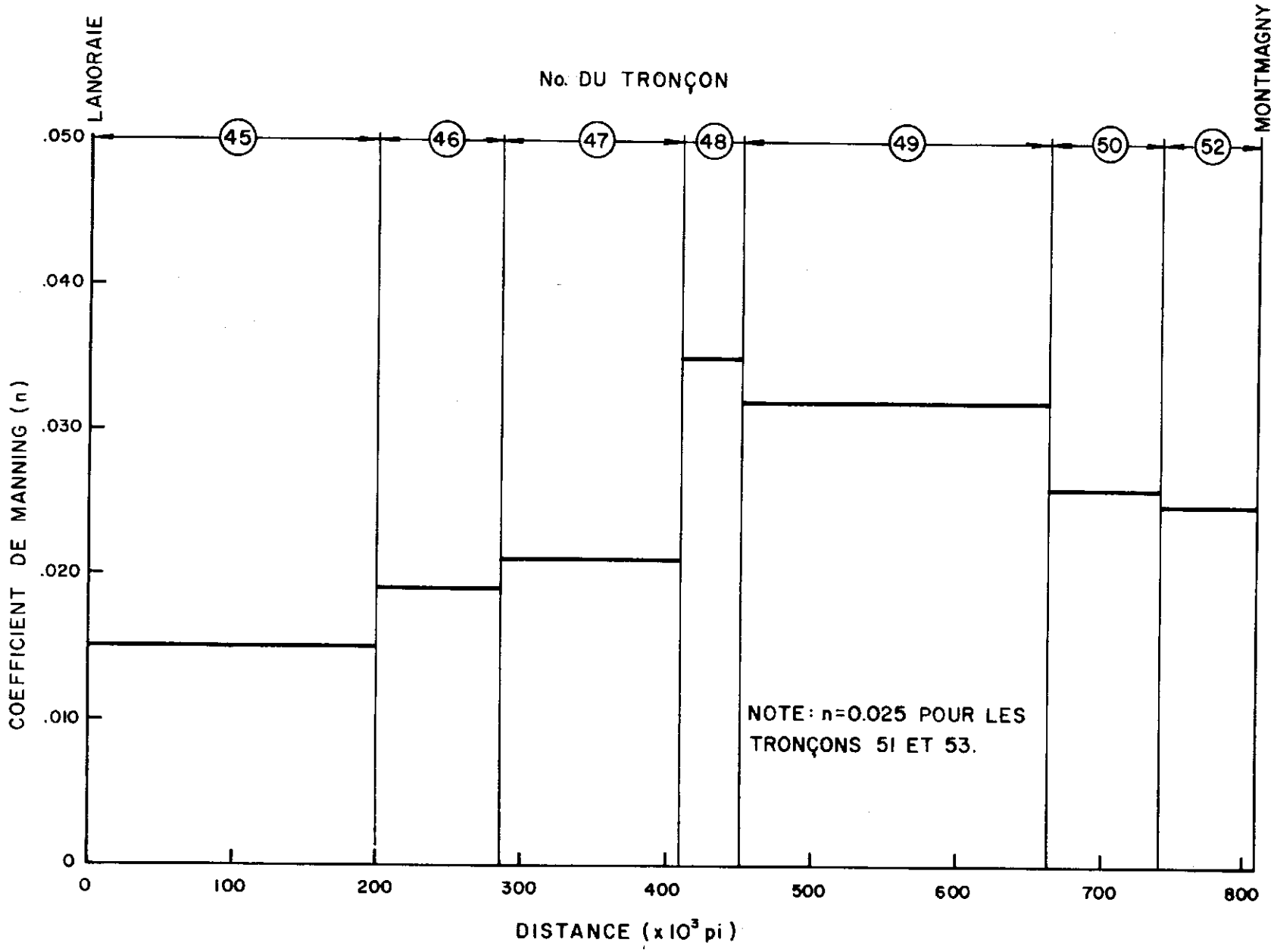


FIGURE 4.45 - VALEURS DU COEFFICIENT DE MANNING UTILISÉES POUR LA VÉRIFICATION HYDRODYNAMIQUE DU SOUS-RÉSEAU 5.

Les figures 4.48 à 4.61 permettent de comparer les élévations de la surface d'eau calculées avec celles mesurées horairement à chaque station de 4h le 12 juillet à 4h le 13 juillet 1969. Il est à noter que le programme pour les tracés choisit les résultats qui correspondent à la section de calcul la plus proche du limnographe. La distance du noeud amont à cette section est indiquée sur la figure. Une mesure exagérée du succès de la vérification est présentée au tableau 4.5 où seulement les différences maximales entre les niveaux d'eau mesurés et calculés sont présentées, le rapport maximum entre ces différences et la marge de variation mesurée à chaque station étant montré en pourcentage pour les endroits où une marée de plus de 3/4 de pied se fait sentir, c'est-à-dire en aval de Port St-François. Un examen plus complet des marées devrait inclure l'étude des écarts types pour la période de vérification qui présenterait des résultats plus optimistes que ceux montrés par les pourcentages au tableau 4.5.

La propagation de l'onde de marée le long de l'estuaire est montrée clairement par les enveloppes aux figures 4.62 à 4.65, où trois zones distinctes sont observées: une zone amont, entre Lanoraie et Port St-François incluant le lac Saint Pierre, montre que l'écart calculé entre pleine et basse mers est très faible (de 0.20 à 0.40 pieds); une zone intermédiaire jusqu'à près de Portneuf où ces écarts augmentent progressivement vers l'aval, étant de plus de 4 pieds à Grondines et de près de 11 pieds à Portneuf; et une zone qui s'étend jusqu'aux limites de la région étudiée (à Montmagny) et qui présente des écarts entre 11 et plus de 16 pieds, celle-ci étant la zone la plus affectée par les marées.

Un fait remarquable à noter est la capacité du modèle hydrodynamique de simuler la présence à basse mer d'une chute d'eau d'environ 5 pieds dans un parcours de près de 5 milles (figure 4.63), en amont de la courbe raide à Portneuf. C'est à cet endroit où se trouvent les rapides connus sous le nom de Rapides Richelieu (voir figure A-15 en annexe) où les sections transversales sont relativement étroites en basse mer.

Les chutes totales calculées par le modèle d'un bout à l'autre du sous-réseau 5 sont de 6.60 pieds pour les pleine mers supérieures et de 22.55 pour les basses mers inférieures, les 12 - 13 juillet 1969. Les calculs de marée à n'importe quel endroit est facilement rattrapable; exemple, la courbe de marée près du pont de Québec est montrée à la figure 4.66 pour la journée modelée. Les durées du flux et du reflux ont été déterminées à l'aide des courbes du débit d'eau au même endroit (voir figure 4.67), les limites des durées étant les instants où les débits sont nuls.

Les figures 4.68 à 4.75 montrent les débits d'eau à travers des sections transversales aux endroits indiqués au tableau 4.6. Ces courbes de débit sont très importantes parce qu'elles permettent la détermination approximative de l'instant où le courant change de sens (courants de flot et de jusant), et le calcul des durées

TABLEAU 4.5 - DIFFERENCES MAXIMALES ENTRE LES MAREES MESUREES ET CALCULEES AUX LIMNOGRAPHES INSTALLES DANS L'ESTUAIRE. 12-13 JUILLET 1969

Limnographe	Marge de variation mesurée, pi.	Différence entre niveaux mesuré et calculé, pi. de	à	Rapport maximum entre les différences et la marge de variation mesurée.
Lanoraie	.25	0	0.20	-
Sorel	.27	-0.02	0.16	-
Louiseville	.37	-0.12	0.08	-
Port St-François	.55	-0.70	-0.30	-
Trois-Rivières	.83	-0.26	0.02	-31%
Champlain	2.10	-0.06	0.33	16%
Batiscan	2.84	0.10	0.84	30%
Brickyards	3.90	-0.20	0.70	18%
Cap-à-la-Roche	5.31	-0.99	0.86	-19%
Portneuf	11.42	-1.12	1.14	10%
Neuville	12.05	-0.80	1.40	12%
Lauzon	14.11	-1.14	1.14	±8%
St-François	16.06	-0.30	0.20	-2%

NB: Les différences négatives indiquent que le niveau d'eau calculé par le modèle est au-dessus du niveau mesuré.

du flux et du reflux tel qu'expliqué ci-dessus. D'après ces courbes, le courant est inversé à partir de la zone où se trouvent les Rapides Richelieu, les résultats pour Portneuf (figure 4.71) montrant un flux faible de courte durée et unique pour la période modelée.

Un résumé des débits moyens maxima est présenté au tableau 4.6; à Montmagny (chenal de Saint-Thomas) le modèle prédit un débit maximum de presque 3 millions de pieds cubes à la seconde (flux).

Dans le cas où le courant est inversé quatre fois par jour, la surface sous la courbe des débits correspond au volume total approximatif d'eau qui est passé à l'endroit en question, se dirigeant vers le golfe Saint-Laurent (débits positifs) ou vers l'amont (débits négatifs). A titre d'exemple, les volumes d'eau et les durées des courants au pont de Québec prédits par le modèle pour le 12 juillet 1969 ont étés (voir figure 4.67):

- Pour le premier reflux, 35 milliards de pieds cubes, pour une durée totale d'environ 8 heures et 20 minutes,
- Pour le premier flux, 12 milliards de pieds cubes, pour une durée approximative de 4 heures et 22 minutes, et
- Pour le deuxième reflux, 28 milliards de pieds cubes, la durée étant d'environ 7 heures et 10 minutes.

Tableau 4.6 - Débits moyens maxima (pcs) calculés pour la période des 12 - 13 juillet 1969.

Station	Reflux	Flux
Sorel	390,000	-
Trois-Rivières	396,000	-
Cap-à-la-Roche	485,000	-
Portneuf	630,000	200,000
Pont de Québec	1,550,000	1,475,000
Lauzon	1,720,000	1,650,000
Saint-François	800,000	930,000
Montmagny (chenal de Saint Thomas)	2,600,000	2,860,000
Chenal de l'Ile d'Orléans	440,000	510,000

4.8.3 Commentaires sur la vérification de l'estuaire

Un examen visuel des courbes des marées indique que les élévations de la surface de l'eau ont été bien simulées, en général, pour la période étudiée et la plupart des stations montrent des courbes très proches des mesures horaires, le cas le moins satisfaisant

étant celui qui correspond au tronçon 47. Les marges de variation sont un peu plus grands que ceux prédits par le modèle, sauf pour les stations à Neuville et à Lauzon (voir figure 4.63). Cette figure montre aussi le problème au tronçon 47 mentionné ci-dessus. Il existe deux endroits où l'action de la marée le long de l'estuaire est amortie: le plus important est la zone des Rapides Richelieu, juste avant que le fleuve ne change brusquement de direction, où la marge diminue de plus de 50%, et le lac Saint-Pierre dont l'effet est d'amortir presque complètement la marée. Rappelons-nous ici que c'est au premier endroit mentionné où le renversement du courant commence à se produire.

Contrairement au cas des élévations, nous ne disposons pas des mesures des débits d'eau ou des vitesses pour la période modelée, telles que celles rapportées en 1960 pour la zone Montréal-Québec (48) et en 1968 pour une zone près de Saint-François (5). Cela est tout à fait regrettable puisque ces mesures nous auraient permis de compléter la vérification hydrodynamique.

Si nous supposons que la schématisation faite par le Conseil National de la Recherche (voir sections 2.2.1 et 2.2.2) est correcte et que le nombre et espacement des sections transversales sont suffisants, il nous resterait à faire un ajustement ultérieur des coefficients de Manning et/ou un accroissement du nombre de tronçons afin d'obtenir une meilleure vérification de la zone délimitée par le tronçon 47, spécialement aux stations Batiscan et Cap-à-la-Roche. Des simplifications ont été adoptées pour la définition des limites aval du sous-réseau: la zone aval du tronçon 52 ne tient pas compte de l'écoulement entre l'Ile aux Ruaux et Grosse Ile, et la marée au tronçon fictif 54 (à l'aval de la section N-17) a été prise comme étant égale à celle de la section N-33 du tronçon 52, à Montmagny (voir figure A-17). Il aurait été préférable de définir cette limite par une section unique de façon à avoir seulement un chenal plus en aval de l'Île-aux-Oies ou même en aval de l'Île aux Coudres, mais cela aurait peut-être aussi causé des problèmes de simulation et un modèle bi-dimensionnel devrait alors être considéré.

Si une étude plus poussée s'avère nécessaire ou désirable, un accroissement du nombre de périodes simulées serait à conseiller en conjonction avec les détails mentionnés précédemment. Naturellement, la vérification a été faite pour une journée déterminée et des vérifications pour d'autres journées précises où des conditions spéciales de marée sont observées, exigent des études approfondies tel que recommandé au chapitre 7.

5. SIMULATION DE LA QUALITE DES EAUX

5.1 Considérations générales

Lors de l'étape I (1), nous avions développé un modèle de la qualité des eaux qui incluait quatre paramètres: la salinité, la température, la demande biochimique en oxygène (DBO) et l'oxygène dissous (OD). Nous avions fait une démonstration du modèle en injectant, de façon continue, une substance conservatrice dans le tronçon 3 du sous-réseau 1.

Cette année, dans l'étape II, nous avons vérifié l'exactitude du modèle pour le fleuve Saint-Laurent dans le tronçon compris entre Cornwall et Montmagny, et pour les rivières des Prairies et des Mille-Iles. On a simulé la qualité des eaux en injectant des charges de pollution correspondantes à celles qui y sont déversées actuellement et en tenant compte de l'apport des tributaires.

Nous n'avons pas tenu compte de la salinité car la région d'intrusion saline débute aux environs de Montmagny, soit à l'extrémité aval de notre territoire d'étude. Quant à la température, le modèle original était basé sur un coefficient de perte constante de chaleur en surface et d'un équilibre dans la température. Tel que mentionné précédemment (article 3.6.1), Harleman, Brocard et Najarian (58) ont démontré que des erreurs significatives pouvaient résulter de ces hypothèses; nous avons donc développé cette année un nouveau modèle relié aux conditions météorologiques afin de permettre une meilleure simulation. Comme ce modèle fut développé en même temps que l'on vérifiait le comportement de l'OD et de la DBO, il nous fut impossible d'en tenir compte cette année; on supposa une température constante de 20°C sur tout le parcours du territoire d'étude.

La vérification du modèle se limita donc aux paramètres de l'oxygène dissous et de la demande biochimique en oxygène à une température constante de 20°C.

5.2 Conditions stables

Pour la vérification du modèle de la qualité des eaux, nous avons fait l'hypothèse que les caractéristiques de l'eau étaient stables en un point donné et ne variaient pas dans le temps, si des facteurs physiques comme le débit, la température et les charges de pollution étaient constants.

Les résultats hydrauliques du modèle hydrodynamique ont servi de données de base pour le modèle de la qualité des eaux. On a supposé que les points d'injection possédaient des charges constantes et continues dans le temps, quoi qu'en réalité, celles-ci varient tout au long de la journée et peuvent être différentes d'une journée à l'autre.

Considérant l'importance du débit du Saint-Laurent et des charges qui y sont déversées, nous ne croyons pas que l'hypothèse d'utiliser des valeurs moyennes annuelles pour les points d'injection soit une source d'erreurs importantes.

5.3 Coefficient de biodégradation de la DBO, K_1

Le coefficient de biodégradation de la DBO, K_1, peut être évalué de deux façons. Lorsqu'il s'agit d'un simple point d'injection et qu'il n'y a pas d'apports d'eau en provenance de tributaires, il est possible de l'évaluer en fonction du temps de parcours; on mesure la DBO_5 sur des échantillons prélevés à différents endroits en aval. Cette méthode présente toutefois certains problèmes: il se peut que le taux de réaction ne soit pas constant car il représente le taux de DBO disparue et non uniquement la DBO oxydée; dans une première phase, il y a généralement décantation et oxydation de la matière organique tandis qu'en deuxième étape, seule l'oxydation se poursuit. Il y a aussi le cas où la demande initiale en oxygène peut être élevée (example: déchets laitiers) et décroître par la suite jusqu'à un taux de dégradation plus constant.

On constate donc qu'il est pratiquement impossible de mesurer le coefficient de biodégradation K_1 pour le fleuve Saint-Laurent dans chaque tronçon, à cause de la diversité des points d'injection, des nombreux apports des tributaires, des effets de la marée dans la zone d'estuaire où les rejets d'eaux usées peuvent se déplacer en direction amont ou aval selon la marée montante ou descendante.

On peut toutefois évaluer le coefficient K_1 par tâtonnements (essais et erreurs). Une première évaluation de K_1 nous permet de voir le pourcentage d'erreurs et on le corrige jusqu'à ce que l'on obtienne le degré d'exactitude désiré.

D'après Thomann (12), le taux K_1 varie normalement entre 0.1 et 0.6 $jour^{-1}$ à 20°C pour un cours d'eau dont la reaction biochimique est normale. Compte tenu du facteur de dilution élevé au Saint-Laurent, on peut s'attendre à une valeur inférieure à 0.3 $jour^{-1}$.

Lors de l'étude de la diffusion des eaux usées du Québec métropolitain (55), on mesura en laboratoire le taux de biodégradation d'un échantillon prélevé au Saint-Laurent et on obtint une valeur de 0.17 jour^{-1}; normalement, le taux de réaction dans un cours d'eau est plus élevé qu'en laboratoire à cause de la turbulence.

5.4 Coefficient de réaération K_2

Nous avons discuté longuement de ce coefficient à l'article 3.2.2.3. Plusieurs formulations existent à ce sujet dont certaines sont empiriques. Nous avons recommandé d'utiliser, dans le nouveau programme, l'équation de Bansal où:

$$K_2 = 4.7 \frac{V^{0.6}}{H^{1.4}} \qquad (5.1)$$

K_2 = coefficient de réaération (jour^{-1}).

V = vitesse de l'eau dans la section transversale (pi./sec.).

H = hauteur d'eau (pi.).

Nous avons utilisé, cependant, pour la vérification du modèle original, l'équation de O'Connor qui se définit:

$$K_2 = 12.9 \frac{V^{0.5}}{H^{1.5}} \qquad (5.2)$$

On peut voir que cette dernière équation ressemble à celle de Bansal où les coefficients respectifs ont des valeurs voisines les unes des autres. Le coefficient K_2 a été calculé pour chaque tronçon en utilisant les valeurs moyennes arithmétiques des vitesses et des hauteurs d'eau dans le tronçon.

5.5 D.B.O. et O.D. du sous-réseau 1

Nous avons déterminé des conditions de qualité d'eau à l'extrémité amont près du barrage de Moses-Sauders, soit au point de départ du territoire d'étude. Il nous a fallu faire certaines interpolations car on ne retrouve aucune station de qualité de l'eau à cet endroit.

A x = 0, dans le tronçon 1, on a établi la DBO à 0.8 mg/l et l'OD à 8.8 mg/l.

Pour obtenir des conditions stables, il nous a fallu simuler la qualité de l'eau durant 240,000 sec. (2.77 jours); cette période est fonction du temps de parcours de l'eau sur tout le sous-réseau.

A part un point d'injection important à Cornwall, on ne retrouve aucune charge qui puisse affecter sérieusement la qualité des eaux du sous-réseau 1. On peut voir sur la planche no 4 les profils simulés de l'OD et de la DBO par rapport aux valeurs mesurées. Compte tenu du peu de statistiques disponibles pour le valeurs mesurées, il nous était impossible d'établir une ligne bien précise et nous avons délimité une zone de variation acceptable dans laquelle la majorité des valeurs mesurées se situent. Pour la DBO, cette variation est de 0.3 mg/l et de 5% de saturation dans le cas de l'OD.

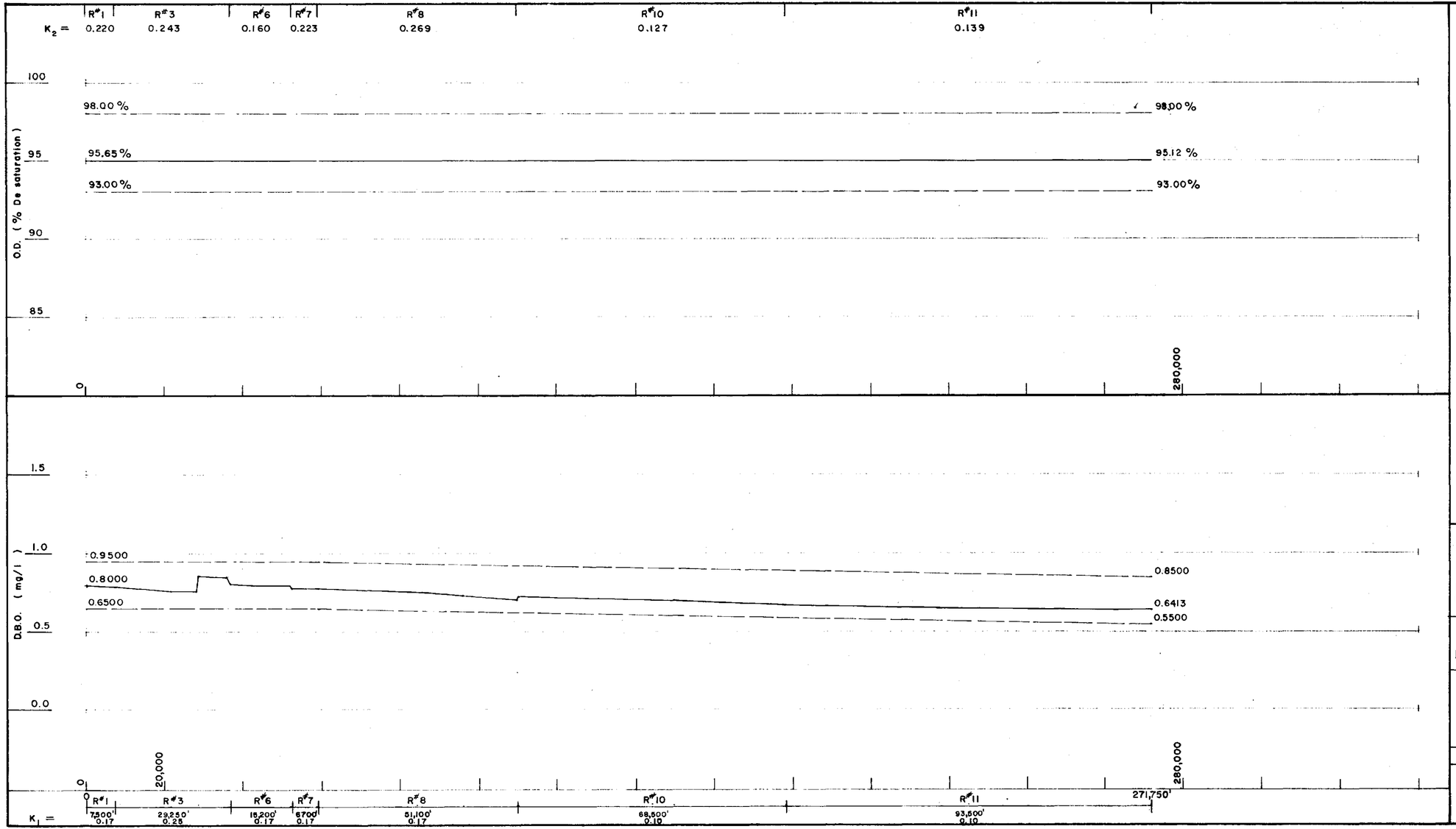
La vérification du modèle s'est avérée excellente si on consulte les profils de la planche 4. La concentration en oxygène dissous varie très peu et n'est pratiquement pas perceptible car on se situe près du point de saturation; le coefficient de réaération K_2, déterminé à l'aide de la formule d'O'Connor, a varié entre 0.126 $jour^{-1}$ et 0.269 $jour^{-1}$. On peut voir, sur le profil de DBO, la sensibilité du modèle, face à une charge importante de pollution à Cornwall (tronçon 3); les autres variations sont dues à des charges de moindre importance.

Le coefficient de biodégradation K_1 varie de 0.25 $jour^{-1}$ près de Cornwall à 0.10 $jour^{-1}$ dans les zones où les déversements sont presque nuls. Une valeur initiale constante de 0.3 $jour^{-1}$ pour tout le sous-réseau s'est avéré trop élevée; nous avons gardé des valeurs plus élevées aux endroits où les apports de matières organiques étaient importants.

5.6 D.B.O. et O.D. du sous-réseau 2

Le sous-réseau 2 comprend une partie de la rivière Outaouais et du lac des Deux-Montagnes de même qu'une section du fleuve Saint-Laurent entre Beauharnois et les Rapides de Lachine incluant le lac Saint-Louis. Au barrage de Carillon, on a établi comme conditions limites à l'entrée, la DBO à 1.5 mg/l et l'OD à 5.0 mg/l.

Il nous a fallu simuler ce sous-réseau durant 960,000 secondes (11.11 jours) afin d'obtenir des conditions stables. Ceci est dû aux faibles vitesses rencontrées, spécialement dans le lac Saint-Louis où celles-ci sont aussi lentes que 0.08 pi/sec.



LEGENDE

5-5

- PROFIL SIMULE
- PROFIL MESURE
- R#4 / 5,000' — NUMÉRO DU TRONÇON / LONGUEUR DU TRONÇON
- $K_1 = 0.17$ — VALEUR DU COEFFICIENT DE BIODÉGRADATION POUR LE TRONÇON EXPRIMÉ EN JOUR^{-1}
- $K_2 = 0.220$ — VALEUR DU COEFFICIENT DE RÉAÉRATION POUR LE TRONÇON EXPRIMÉ EN JOUR^{-1}

CANADA
ENVIRONNEMENT CANADA
MINISTERE DES TRANSPORTS

QUEBEC
LES SERVICES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES

FLEUVE ST-LAURENT

MODELES MATHEMATIQUES DE SIMULATION

PROFILS DE D.B.O. ET O.D.

SOUS-RESEAU 1

ECHELLE : 1 = 20,000 | PLANCHE Nº: 4

SURVEYER, NENNIGER & CHENEVERT INC.
CARRIER TROTTIER AUBIN
CONSULTANTS

03/74

La variation de la qualité de l'eau est beaucoup plus marquée dans ce sous-réseau que dans le premier. En consultant la planche 5, on peut voir qu'elle s'améliore grandement en allant vers l'aval: la DBO passe de 1.5 mg/l à 0.58 mg/l tandis que le pourcentage de saturation de l'oxygène dissous passe de 58% à 92.8%. Il n'y a pas de points d'injection importants dans ce sous-réseau.

Les profils de l'OD et de la DBO indiquent assez clairement que les eaux de la rivière Outaouais se dirigent en grande partie vers les rivières des Prairies et des Mille-Iles en passant par le lac des Deux-Montagnes plutôt que de se diriger vers le Lac St-Louis. Le pourcentage de saturation de l'OD à la sortie du tronçon 32 est de 63% environ et la DBO est de 0.9466 mg/l alors qu'à l'intersection des tronçons 300 et 15, la concentration de l'OD s'élève subitement dû à l'apport des eaux du fleuve Saint-Laurent: au début du tronçon 15, la DBO et l'OD sont similaires à celles du canal de Beauharnois.

Le coefficient de biodégradation K_1 est de 0.25 $jour^{-1}$ dans la rivière Outaouais, de 0.15 $jour^{-1}$ dans le lac des Deux-Montagnes et se maintient à 0.17 $jour^{-1}$ sur le reste du parcours; la simulation de la DBO a donné de bons résultats comme on peut le voir à la planche 5.

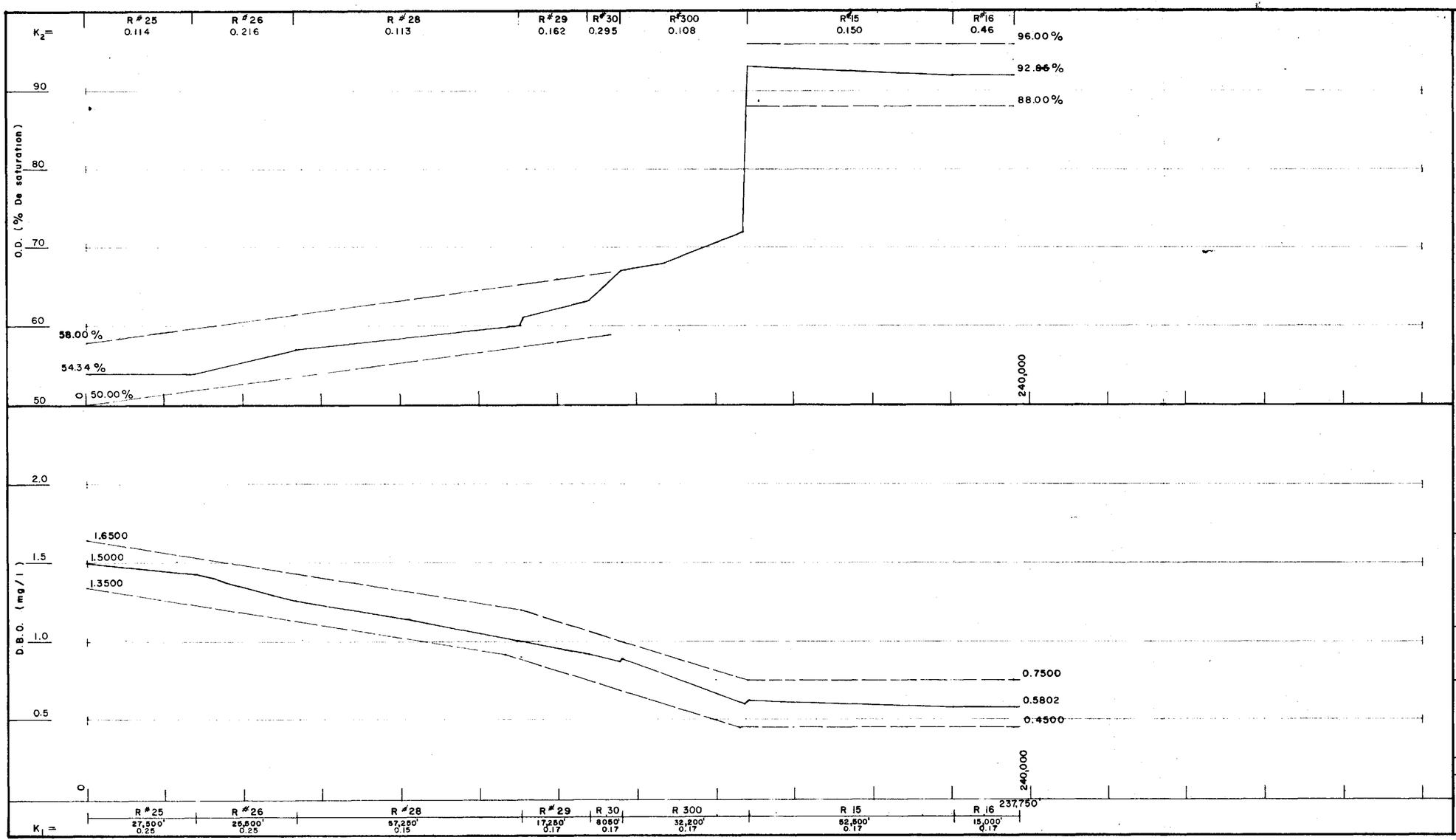
Le coefficient de réaération K_2 a varié de 0.08 $jour^{-1}$ à 0.4640 $jour^{-1}$. Nous n'avons pas de résultats précis de la qualité de l'eau dans le tronçon 300 qui nous indiquent si l'OD varie subitement tel que montré dans la simulation.

5.7 D.B.O. et O.D. des sous-réseaux 3A et 3B

Les sous-réseaux 3A et 3B sont très importants car ils reçoivent les eaux usées du versant est de l'Île de Montréal, de la rive sud de Montréal de même que les apports des rivières des Prairies, des Mille-Iles et de l'Assomption. Les rejets les plus importants sont ceux du collecteur St-Pierre (CUM), Sherbrooke (CUM), Molson (CUM), Mercier (CUM) de même que les déversements des raffineries de l'est de Montréal.

Aux Rapides de Lachine, la DBO est de 0.5802 mg/l et l'OD est de 8.5429 mg/l. En consultant la planche 6, on peut voir que les charges de pollution déversées dans ces sous-réseaux ont fait croître la DBO de 46.9% pour la porter à 0.8524 mg/l à Lanoraie. Quant à l'OD, sa concentration n'a pas été affectée de façon appréciable par ces rejets et se situe à un niveau de saturation supérieur à 90%.

On peut voir sur le profil de la DBO, la sensibilité du modèle de simulation face à des points d'injection importants: il y a une escalade par palier où se situent les collecteurs mentionnés précédemment. L'état de pollution de la rivière des Prairies à l'embouchure du Saint-Laurent affecte sérieusement la qualité



LEGENDE

5-7

- PROFIL SIMULE
- PROFIL MESURE
- R#4 / 5,000' — NUMERO DU TRONCON / LONGUEUR DU TRONCON
- $K_1 = 0.17$ — VALEUR DU COEFFICIENT DE BIODÉGRADATION POUR LE TRONÇON EXPRIMÉ EN JOUR^{-1}
- $K_2 = 0.114$ — VALEUR DU COEFFICIENT DE RÉAÉRATION POUR LE TRONCON EXPRIMÉ EN JOUR^{-1}

CANADA
ENVIRONNEMENT CANADA
MINISTERE DES TRANSPORTS

QUEBEC
LES SERVICES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES

FLEUVE ST-LAURENT

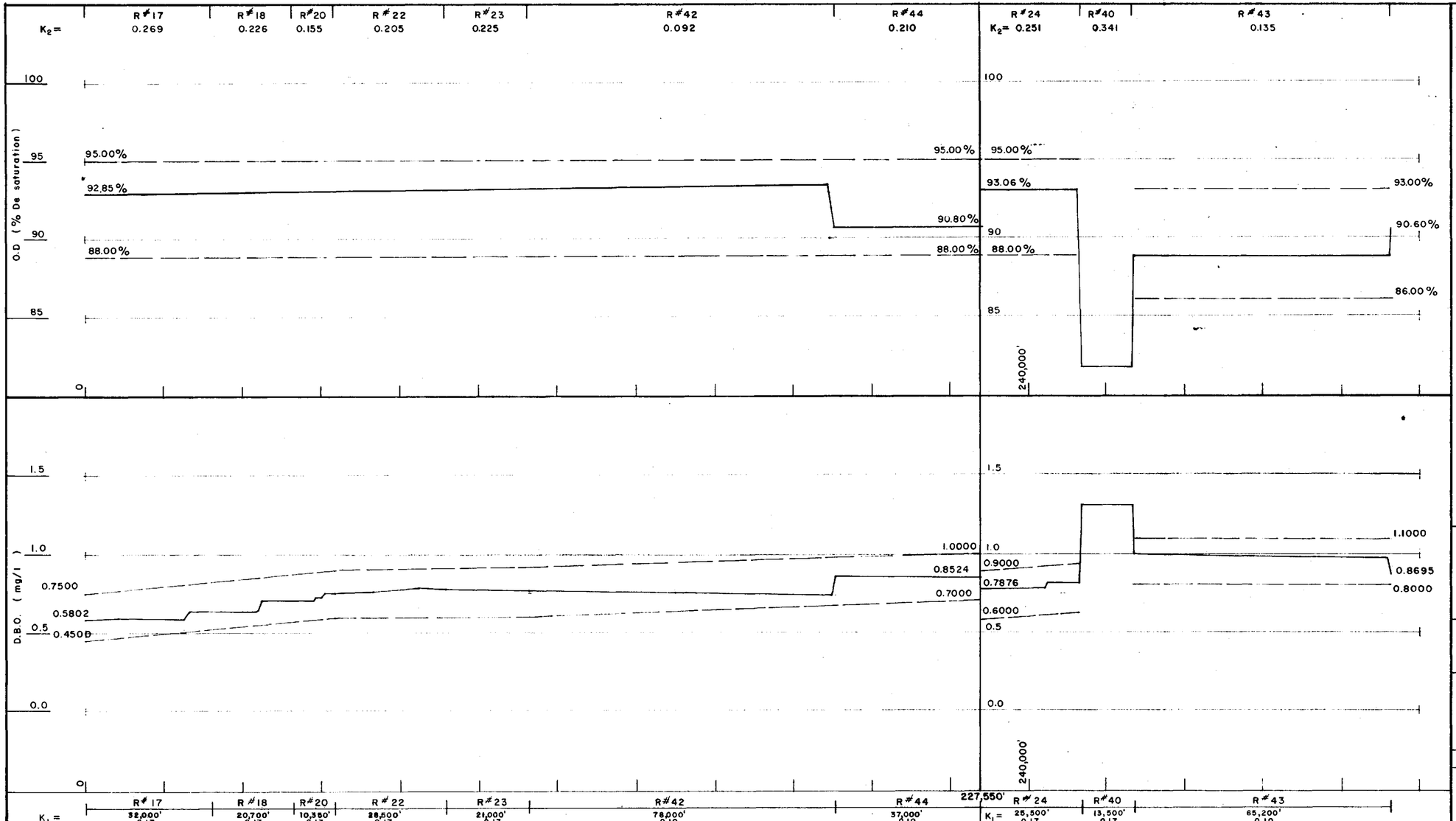
MODELES MATHEMATIQUES DE SIMULATION

PROFILS DE D.B.O. ET O.D.
SOUS-RESEAU #2

ECHELLE : 1 = 20,000 | PLANCHE Nº: 5

SURVEYER, NENNIGER & CHENEVERT INC.
CARRIER TROTTIER AUBIN
CONSULTANTS

03/74



LEGENDE

5-8

- PROFIL SIMULE
- PROFIL MESURE
- R#4 / 5,000' — NUMÉRO DU TRONCON / LONGUEUR DU TRONCON
- $K_1 = 0.17$ — VALEUR DU COEFFICIENT DE BIODÉGRATATION POUR LE TRONÇON EXPRIMÉ EN JOUR^{-1}
- $K_2 = 0.269$ — VALEUR DU COEFFICIENT DE RÉAÉRATION POUR LE TRONÇON EXPRIMÉ EN JOUR^{-1}

CANADA
ENVIRONNEMENT CANADA
MINISTERE DES TRANSPORTS

QUEBEC
LES SERVICES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES

FLEUVE ST-LAURENT

MODELES MATHEMATIQUES DE SIMULATION

PROFILS DE D.B.O. ET O.D.
SOUS-RESEAUX 3A-3B

ECHELLE : 1 = 20,000 | PLANCHE Nº: 6

SURVEYER, NENNIGER & CHENEVERT INC.
CARRIER TROTTIER AUBIN
CONSULTANTS

03/74

des eaux du fleuve; dans le tronçon 42, du côté sud du fleuve, la DBO est portée de 0.7494 mg/1 à 0.8695 mg/1 tandis que du côté nord, à l'extrémité aval du tronçon 24, la DBO s'est accrue de 62% pour passer de 0.81 mg/1 à 1.31 mg/1 alors que l'OD est passé de 8.56 mg/1 à 7.54 mg/1.

La qualité des eaux des tronçons 42 et 43 est très différente; le modèle semble avoir assez bien simulé le fait que les eaux de la rivière des Prairies coulent en majeure partie dans la direction du tronçon 43 tandis que les eaux du fleuve se dirigent principalement vers le tronçon 42.

Si on consulte la planche 6, on peut voir que la vérification du modèle s'est avérée un succès ayant simulé véritablement le comportement du fleuve sous les apports importants des émissaires d'égouts de l'endroit de même que les effets de la rivière des Prairies. Nous n'avons pas de mesures de la qualité des eaux dans le tronçon 40, qui puissent nous indiquer si le fleuve se comporte à cet endroit comme le montre la simulation.

A l'exception des tronçons 42, 43 et 44, on a maintenu le coefficient de biodégradation K_1 à 0.17 jour^{-1}; pour les trois tronçons mentionnés ci-dessus, K_1 a été porté à 0.1 jour^{-1}. Le coefficient de réaération K_2 a varié de 0.092 jour^{-1} à 0.477 jour^{-1}. Le temps de simulation du sous-réseau 3B a été de 80,000 sec. (0.926 jour) et celui du sous-réseau 3A fut de 216,000 sec. (2.5 jours) afin d'obtenir des conditions stables.

5.8 D.B.O. et D.O. du sous-réseau 4.

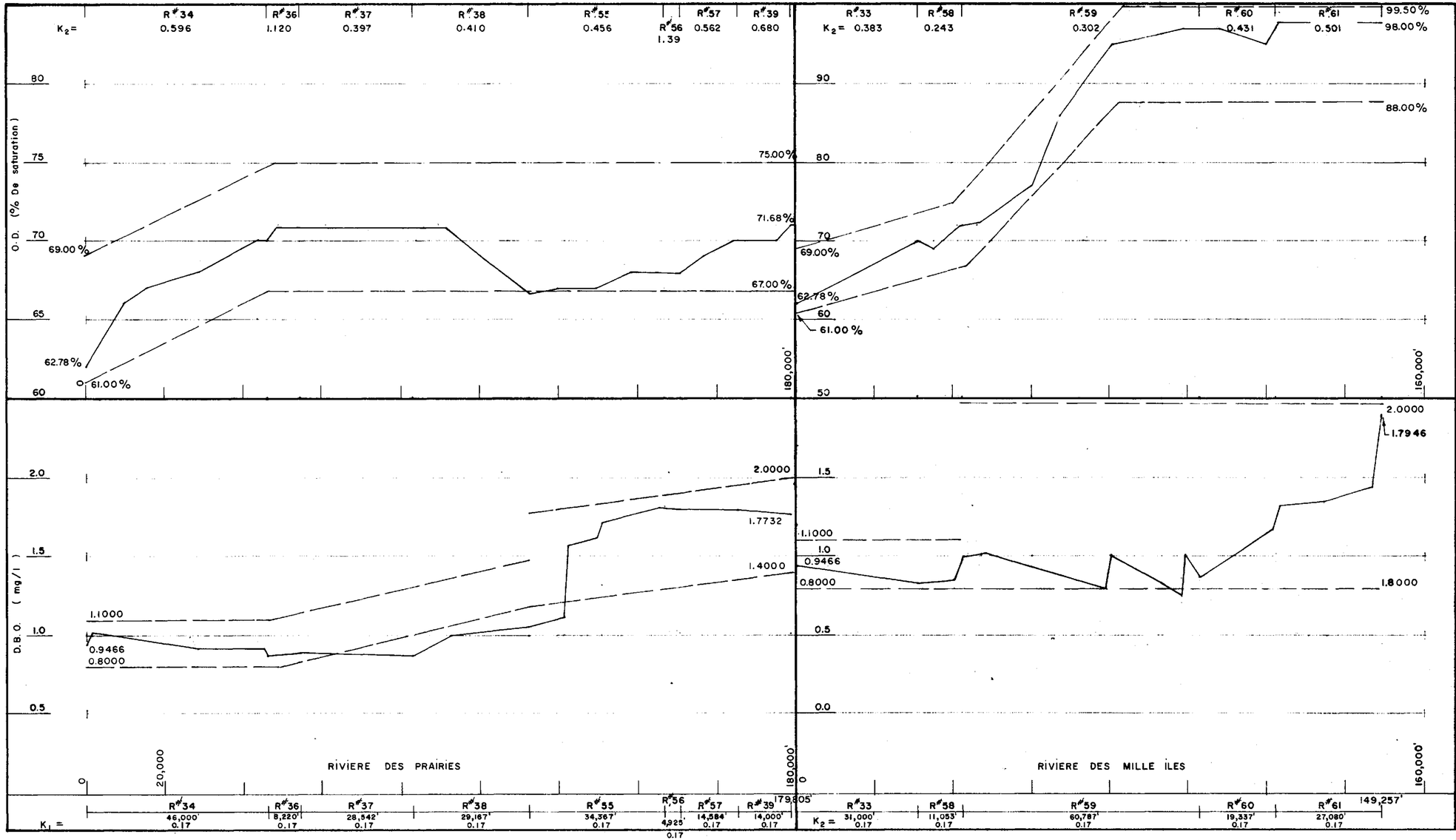
Le sous-réseau 4 comprend une partie du lac des Deux-Montagnes et les rivières des Prairies et des Mille-Iles. Selon un rapport publié par la Régie des Eaux du Québec (56), la qualité générale de ces eaux est la suivante (voir planche no 7):

1) la DBO du lac des Deux-Montagnes se situe à 0.94 mg/1 et le pourcentage de saturation de l'OD est de 65% environ;

2) la DBO de la rivière des Prairies varie de 1.5 mg/1 pour juin 1971 à 5.5 mg/1 pour août 1971 tandis que le pourcentage de saturation de l'OD est d'environ 74%;

3) la DBO de la rivière des Mille-Iles varie de 1.44 mg/1 pour juillet 1971 à 1.96 mg/1 pour août 1971 tandis que le pourcentage de saturation de l'OD se maintient à 85%.

On peut voir d'après ces résultats que la DBO semble varier d'une façon marquée selon la période d'échantillonnage tandis que l'OD se maintient pratiquement toujours au même niveau.



LEGENDE

5-10

- PROFIL SIMULE
- PROFIL MESURE
- R 4 / 5,000' — NUMERO DU TRONÇON / LONGUEUR DU TRONCON
- $K_1 = 0.17$ — VALEUR DU COEFFICIENT DE BIODEGRADATION POUR LE TRONCON EXPRIME EN JOUR^{-1}
- $K_2 = 0.596$ — VALEUR DU COEFFICIENT DE REAERATION POUR LE TRONCON EXPRIME EN JOUR^{-1}

CANADA
ENVIRONNEMENT CANADA
MINISTERE DES TRANSPORTS

QUEBEC
LES SERVICES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES

FLEUVE ST-LAURENT

MODELES MATHEMATIQUES DE SIMULATION

PROFILS DE D.B.O. ET O.D.
SOUS-RESEAU #4

ECHELLE: 1 = 20,000 | PLANCHE Nº: 7

SURVEYER, NENNIGER & CHENEVERT INC.
CARRIER TROTTIER AUBIN
CONSULTANTS

03/74

Compte tenu du débit de la rivière des Prairies, on peut considérer que les rejets d'eaux usées sont importants, spécialement ceux de la ville de Montréal en aval du barrage de l'Hydro-Québec et celui de la ville de Laval dans le tronçon 38: l'émissaire 0-8 de la ville de Montréal a une charge de 148,670 lb de DBO/jour.

A cause de problèmes de convergence dans le modèle hydrodynamique, lequel nous procure les données de base pour la simulation de la qualité de l'eau, nous avons connu certaines difficultés: on peut voir d'après les résultats, certaines fluctuations dues à la non-convergence du modèle hydrodynamique. Nous n'avons pas reproduit ces fluctuations sur les profils de la planche 7 car elles n'auraient été d'aucune utilité.

L'émissaire 0-8 de Montréal a fait accroître la DBO de 40% en la portant de 1.12 mg/l à 1.57 mg/l. On peut voir d'après les résultats, une détérioration dans la DBO entre l'amont au lac des Deux-Montagnes où la DBO est de 0.9466 mg/l et l'aval à l'embouchure de la rivière des Prairies où la DBO est de 1.7732 mg/l. En ce qui concerne l'OD, on constate par contre, une amélioration.

La vérification du modèle de la qualité de l'eau est plus ou moins précise à cause des problèmes de convergence du modèle hydrodynamique. Sans cela, tout nous porte à croire que la vérification aurait donné de bons résultats. Il y aurait lieu de préciser davantage la qualité des eaux dans les rivières des Prairies et des Mille-Iles en fonction des conditions physiques, (débits, température, etc...) car elle semble très sensible à ces facteurs.

Nous avons maintenu le coefficient de biodégradation K_1 à 0.17 $jour^{-1}$ tandis que le coefficient de réaération K_2, a varié de 0.241 à 1.39 $jour^{-1}$. On obtient des valeurs plus élevées pour le coefficient K_2 à cause des vitesses plus grandes et des nombreux rapides. Le temps de simulation fut de 240,000 sec. (2.77 jours) afin d'obtenir des conditions stables.

5.9 D.B.O. et O.D. du sous-réseau 5.

Le sous-réseau 5 comprend la partie de l'estuaire située entre Lanoraie et Montmagny. On retrouve dans ce parcours, d'importantes charges de pollution localisées en des endroits bien spécifiques contrairement aux sous-réseaux 3A et 3B où les points d'injections étaient distribués tout au long du parcours. Les contributions les plus importantes proviennent des usines de pâtes et papier. On en retrouve quatre dans la région de Trois-Rivières, une à Donnacona, une à Québec et une autre à Beaupré; celle de Québec constitue en fait l'apport le plus important, en terme de charge individuelle, de tout le territoire d'étude compris entre Cornwall et Montmagny. La rivière St-Maurice est également une

source importante de pollution pour le Saint-Laurent en raison de sa concentration en DBO (2.3 mg/l), de son déficit en OD (1.1 mg/l) et de l'importance de son débit, 20,110 pcs.

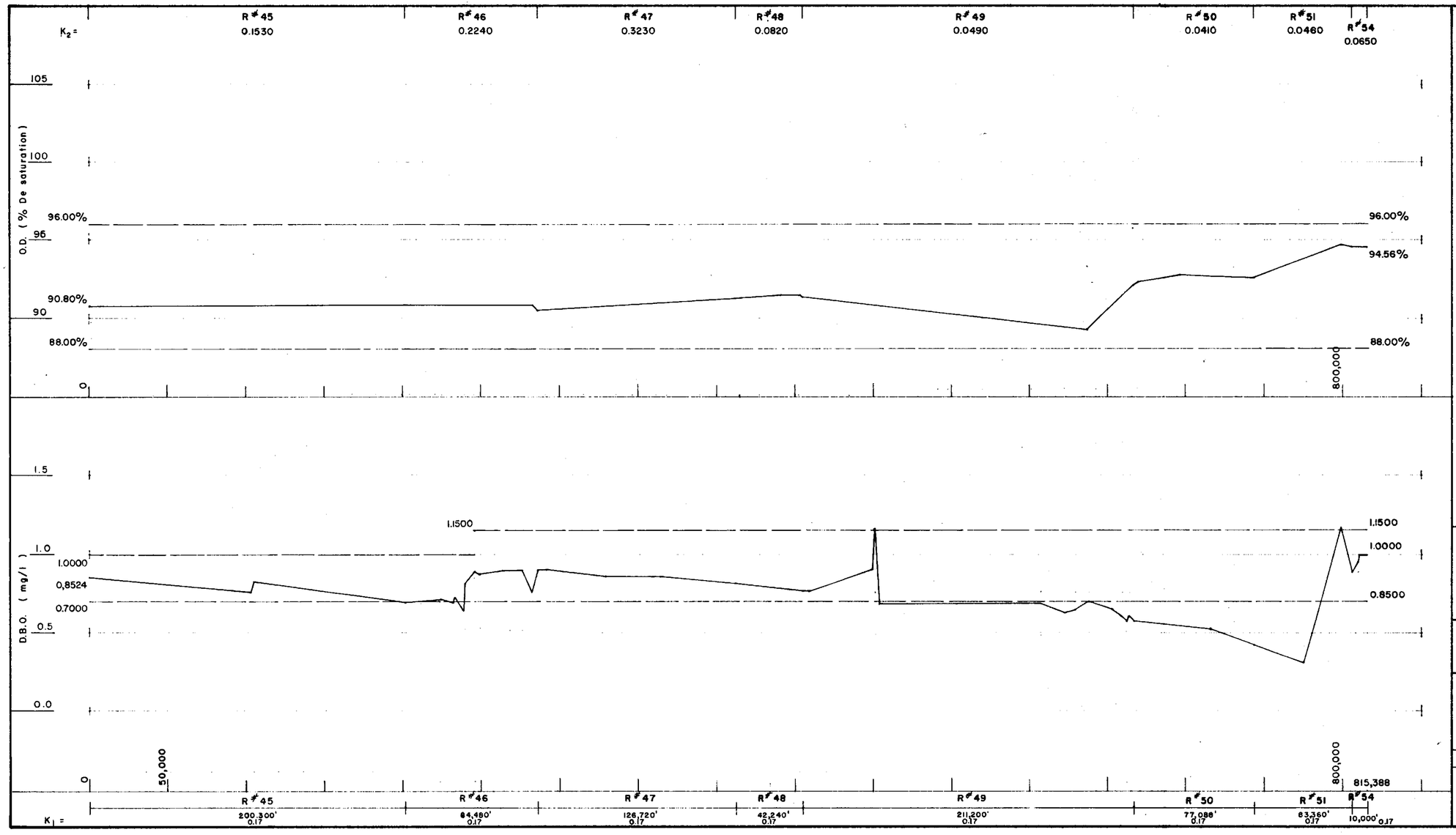
En totalisant les charges de pollution du sous-réseau 5 y compris les apports des rivières Richelieu, St-François, Yamaska, Saint-Maurice et Chaudière, on obtient une valeur supérieure aux valeurs de tous les autres sous-réseaux compris en amont (en excluant les apports de la rivière Outaouais en amont du barrage de Carillon et ceux du Saint-Laurent en amont du barrage de Moses-Sauders à Cornwall). Le sous-réseau 5 reçoit environ 1,250,00 lb de DBO/jour par rapport à 837,285 lb de DBO/jour pour les autres sous-réseaux; cela démontre l'importance des contributions industrielles dans la pollution du fleuve Saint-Laurent.

La qualité de l'eau entre Varennes et Montmagny a varié considérablement d'une campagne de relevés à l'autre. En consultant les résultats préliminaires du Service des Relevés et Laboratoire des Services de Protection de l'Environnement, la septième campagne de relevés donne une moyenne de 0.6 mg/l pour la DBO alors que la troisième campagne en a donné une de 1.32 mg/l; on peut voir l'importance de préciser les conditions physiques de chacune des campagnes de relevés afin d'interpréter adéquatement les résultats.

La vérification du modèle a donné de bons résultats dans certains secteurs; par contre, il y aurait lieu d'accentuer davantage notre vérification dans certains tronçons, en particulier les tronçons 49, 50, 51, 52 et 53 entre Portneuf et Montmagny (voir planche no 8).

Le temps de simulation de cinq jours n'est pas suffisant pour obtenir des conditions stables particulièrement dans la partie aval et il y aurait lieu de la porter à quinze jours; pour cela, il faudra prolonger en conséquence le temps de simulation du modèle hydrodynamique. Une valeur générale de 0.17/jour pour le coefficient K_1 semble un peu elevé pour les tronçons où il n'y a pas de déversements importants d'eaux usées et il y aurait lieu de le diminuer. Le nombre de mailles par tronçon devra également être augmenté afin d'apporter une plus grande précision aux variations de la qualité des eaux près des points d'injections.

Le coefficient de réaération K_2 varie de 0.041/jour à 0.323/jour. Les valeurs de l'OD varient de 8.3 à 8.7 mg/l; elles correspondent sensiblement aux valeurs mesurées quoique la majeure partie des campagnes de relevés révèle des valeurs supérieures à 90% de saturation de l'OD. En segmentant davantage les tronçons, il nous sera possible de raffiner nos calculs pour K_2; cette valeur n'est pas constante pour un tronçon donné et varie à chaque point. Le fait d'utiliser de longs tronçons peut être une source d'erreurs; ceci vaut également pour le coefficient K_1.



LEGENDE

5-13

- PROFIL SIMULE
- PROFIL MESURE
- R 4 / 5000 — NUMÉRO DU TRONÇON / LONGUEUR DU TRONÇON
- $K_1 = 0.17$ — VALEUR DU COEFFICIENT DE BIODEGRADATION POUR LE TRONCON EXPRIME EN JOUR^{-1}
- $K_2 = 0.596$ — VALEUR DU COEFFICIENT DE REAERATION POUR LE TRONCON EXPRIME EN JOUR^{-1}

CANADA
ENVIRONNEMENT CANADA
MINISTERE DES TRANSPORTS

QUEBEC
LES SERVICES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES

FLEUVE ST-LAURENT

MODELES MATHEMATIQUES DE SIMULATION

PROFILS DE D.B.O. ET O.D.

SOUS-RESEAU # 5

ECHELLE : 1 = 50,000 | PLANCHE N° : 8

SURVEYER, NENNIGER & CHENEVERT INC.
CARRIER TROTTIER AUBIN
CONSULTANTS

03/74

6. SOLUTIONS POUR L'ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES DE LA REGION DE MONTREAL.

A la demande des Services de Protection de l'Environnement, nous avons simulé différentes solutions pour l'épuration des eaux usées de la région de Montréal afin d'évaluer leurs effets respectifs sur la qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent et des rivières des Prairies et des Mille-Iles.

Pour cette étude, nous avons tenu compte des charges de pollution qui seront susceptibles de se produire en 1981, date à laquelle on prévoit la mise en opération de postes d'épuration dans cette région; les charges de 1972 ont été accrues de 17% afin de tenir compte de ces prévisions. Les solutions étudiées, les points de déversement des eaux traitées de même que le facteur d'accroissement des charges ont été déterminés par les Services de Protection de l'Environnement.

Les charges ont, par la suite, été réduites selon les degrés de traitement considérés. On peut voir au tableau 6.1 un résumé des charges variables pour chacune des solutions de même que la localisation des points de déversements. La planche no 9 montre les principaux déversements des eaux usées traitées.

6.1 Description des solutions.

Les solutions étudiées se décrivent comme suit:

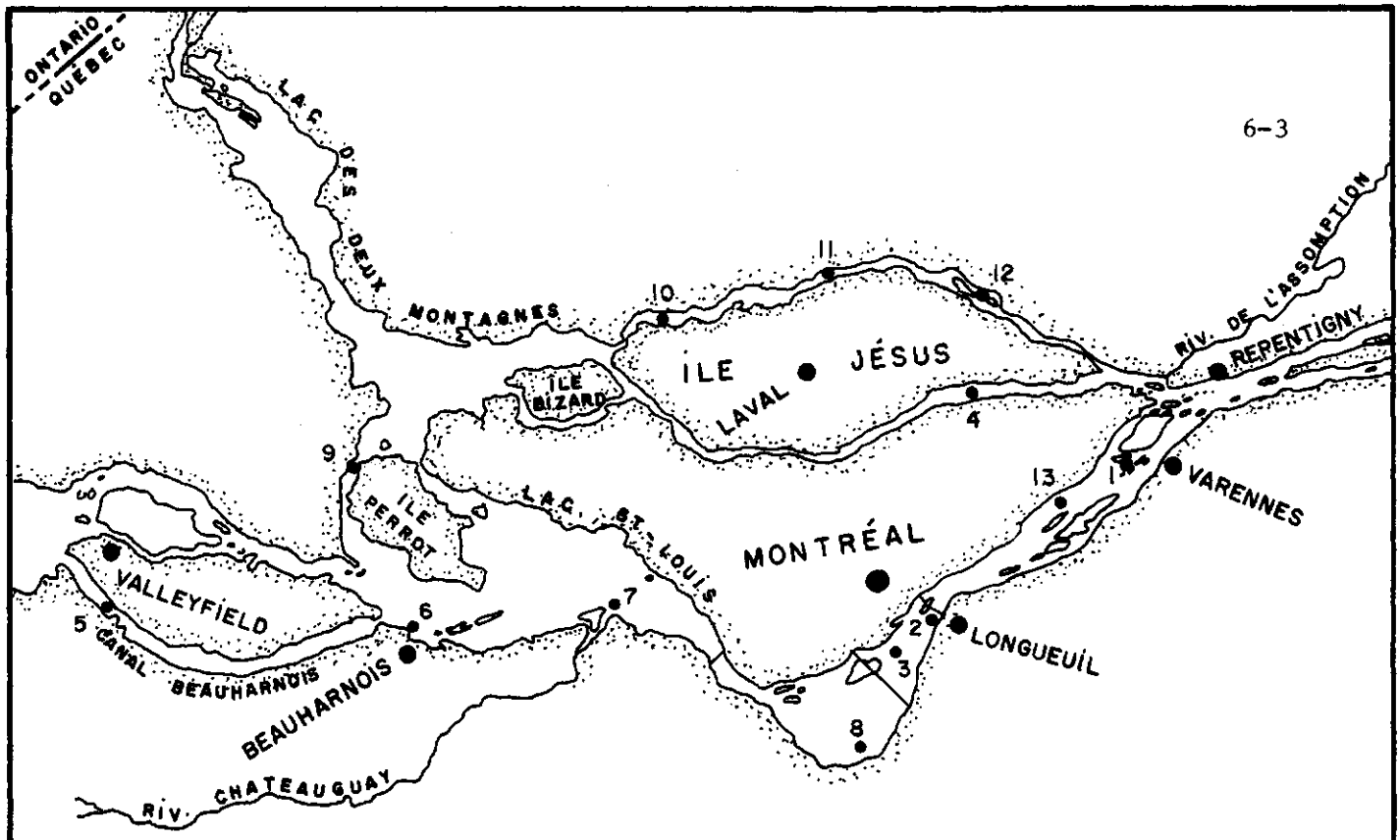
Solution 1: (aucun traitement)

Un seul déversement à l'île Ste-Thérèse pour les municipalités suivantes (point de déversement #1)

- Boucherville
- Longueuil
- Laval
- Repentigny
- Territoire complet de la Communauté Urbaine de Montréal.
  - Anjou
  - Baie-D'Urfé
  - Beaconsfield
  - Côte St-Luc
  - Dollard-des-Ormeaux
  - Dorval
  - Hamstead
  - Kirkland
  - Lachine
  - LaSalle
  - Montréal
  - Montréal-Est
  - Montréal-Nord
  - Montréal-Ouest

TABLEAU 6.1 - POINTS D'INJECTIONS VARIABLES POUR CHACUNE DES SOLUTIONS

No de la solution	Sous-réseau	Tronçon	Distance du noeud amont	Charges en lb DBO/jour	Identification
1	3 A	22	21,370	40,350	Raffineries de Montréal-Est
	3 A	23	7,200	782,650	Région de Montréal
2	3 A	22	21,370	28,250	Raffineries de Montréal-Est
	3 A	23	7,200	547,850	Région de Montréal
3	3 A	22	21,370	6,050	Raffineries de Montréal-Est
	3 A	23	7,200	117,400	Région de Montréal
4	3 B	17	31,500	297,320	Région-Ouest de Montréal
	3 B	20	5,675	60,208	Longueil et collecteur Voie Maritime
	3 A	22	21,370	40,350	Raffineries de Montréal-Est
	3 A	23	7,200	425,100	Région de Montréal moins la partie ouest
5	3 B	17	31,500	44,600	Région ouest de Montréal
	3 B	20	5,675	9,030	Longueuil et collecteur Voie Maritime
	3 A	22	21,370	6,050	Raffineries de Montréal-Est
	3 A	23	7,200	63,750	Région de Montréal moins la partie ouest
6	3 B	17	31,500	297,320	Région ouest de Montréal
	3 B	20	5,675	60,208	Longueuil et collecteur Voie Maritime
	3 A	22	21,370	40,350	Raffineries de Montréal-Est
	3 A	23	7,200	149,500	Région nord de Montréal
	4	55	10,000	275,650	Région est de Montréal et Laval
7	3 B	17	31,500	44,600	Région ouest de Montréal
	3 B	20	5,675	9,030	Longueuil et collecteur Voie Maritime
	3 A	22	21,370	6,050	Raffineries de Montréal-Est
	3 A	23	7,200	22,400	Région nord de Montréal
	4	55	10,000	41,350	Région est de Montréal et Laval



1 ILE STE-THÉRÈSE

2 LONGUEUIL

3 AUTO-PARC VICTORIA

4 RIV. PRAIRIES (boul. Pie IX)

5 VALLEYFIELD

6 BEAUHARNOIS

7 CHATEAUGUAY

8 LAPRAIRIE

9 DORION-VAUDREUIL

10 ST-EUSTACHE

11 ST-THÉRÈSE

12 TERREBONNE

13 RAFFINERIES-EST DE MONTRÉAL

CANADA
ENVIRONNEMENT CANADA
MINISTERE DES TRANSPORTS

QUEBEC
LES SERVICES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES

FLEUVE ST-LAURENT

MODELES MATHEMATIQUES DE SIMULATION

POINTS DE DEVERSEMENT DES EAUX USEES TRAITEES

ECHELLE : 1 = 500,000 | PLANCHE N°: 9

SURVEYER, NENNIGER & CHENEVERT INC.
CARRIER TROTTIER AUBIN
CONSULTANTS

03/74

- Mont-Royal
- Outremont
- Pierrefonds
- Pointe-aux-Trembles
- Pointe-Claire
- Roxboro
- Ste-Anne-de-Bellevue
- Ste-Geneviève
- St-Laurent
- St-Léonard
- St-Pierre
- St-Raphaël-de-l'Ile-Bizard
- Senneville
- Verdun
- Westmount

Les municipalités de la rive sud de Montréal desservies par le collecteur de la Voie Maritime:

- Brossard
- St-Lambert
- Greenfield Park
- Lemoyne
- Notre-Dame
- St-Hubert
- 1 déversement pour les raffineries de l'est de Montréal.

Solution 2:

Les mêmes déversements que 1 sauf une réduction des charges de DBO de 30%.

Solution 3:

Les mêmes déversements que 1 sauf une réduction des charges de DBO de 85%.

Solution 4:

- 1 déversement à Longueuil pour cette municipalité et les municipalités desservies par le collecteur de la Voie Maritime (#2).

- 1 déversement à l'Île Ste-Thérèse (#1) pour

  - Boucherville
  - Repentigny
  - Laval
  - Une partie du territoire de la CUM (secteur nord et est de Senneville jusqu'au collecteur Molson)

- 1 déversement pour les raffineries de l'est de Montréal.

Solution 5:

Les mêmes déversements que 4 sauf une réduction des charges de DBO de 85%.

Solution 6: (aucun traitement)

- 1 déversement à Longueuil (#2) pour les municipalités desservies par le collecteur de la Voie Maritime et pour Longueuil.

- 1 déversement à l'Île Ste-Thérèse (#1) pour

    . Boucherville
    . Repentigny
    . Une partie du territoire de la CUM compris entre Pointe-aux-Trembles et le collecteur Molson.

- 1 déversement à l'auto-parc Victoria (#3) pour une partie du territoire de la CUM compris entre le collecteur Sherbrooke et Ste-Anne-de-Bellevue.

- 1 déversement dans la rivière des Prairies (#4) face au boulevard Pie IX pour

    . Laval
    . Une partie du territoire de la CUM compris entre Senneville et le pont Legardeur.

- 1 déversement pour les raffineries de l'est de Montréal.

Solution 7:

Les mêmes déversements que 6 sauf une réduction des charges de DBO de 85%.

Dans toutes les variables décrites ci-dessus, un traitement a été prévu pour les secteurs suivants pour chacun un point de déversement. On trouvera entre parenthèses le pourcentage de réduction de la DBO.

Rive Sud du St-Laurent

Valleyfield - dans le canal de Beauharnois (85%)
Beauharnois - dans le lac St-Louis (85%)
Châteauguay - dans le lac St-Louis (85%)
Laprairie - dans le bassin de Laprairie (85%)

Rive Nord du St-Laurent

Dorion-Vaudreuil - Lac des Deux Montagnes (85%)
Deux-Montagnes - Rivière des Mille-Iles (85%)

St-Eustache - Rivière des Mille-Iles (85%)
Ste-Thérèse - Rivière des Mille-Iles (85%)
Terrebonne - Rivière des Mille-Iles (85%)

Le tableau 6.2 montre les valeurs constantes des points d'injections pour toutes les solutions.

6.2 Sous-réseaux 1 et 2

Les charges de pollution des sous-réseaux 1 et 2 sont montrées au tableau 6.2. La localisation des points d'injections est restée la même dans le sous-réseau 1 sauf que les valeurs ont diminué pour tenir compte des postes d'épuration éventuels; on totalise 40,253 lb de DBO/jour au lieu de 72,200 lb de DBO/jour comme initialement. Ces réductions n'ont aucun effet sur la qualité des eaux: à la sortie du canal de Beauharnois, on a enregistré une réduction de la DBO de 0.0154 mg/l et un accroissement de la concentration en oxygène dissous de 0.0038 mg/l.

Quant au sous-réseau 2, on a diminué le nombre de points d'injections de 10 à 5 et on compte 5195 lb de DBO/jour au lieu de 45,215 lb de DBO/jour. Ces réductions n'ont eu pratiquement aucun effet sur la qualité des eaux; en tenant compte de l'effet cumulatif de l'amélioration de la qualité des eaux du sous-réseau 1 tel que décrit plus haut, on obtient aux Rapides de Lachine une réduction de la DBO de 0.0287 mg/l et un accroissement de l'OD de 0.0142 mg/l.

Ces essais nous ont permis de constater qu'il ne servirait à rien de vouloir réduire considérablement les charges de DBO des émissaires d'égouts de ces deux sous-réseaux; les charges sont trop faibles pour affecter, de façon appréciable, la qualité générale des eaux du fleuve Saint-Laurent en termes de DBO et d'OD.

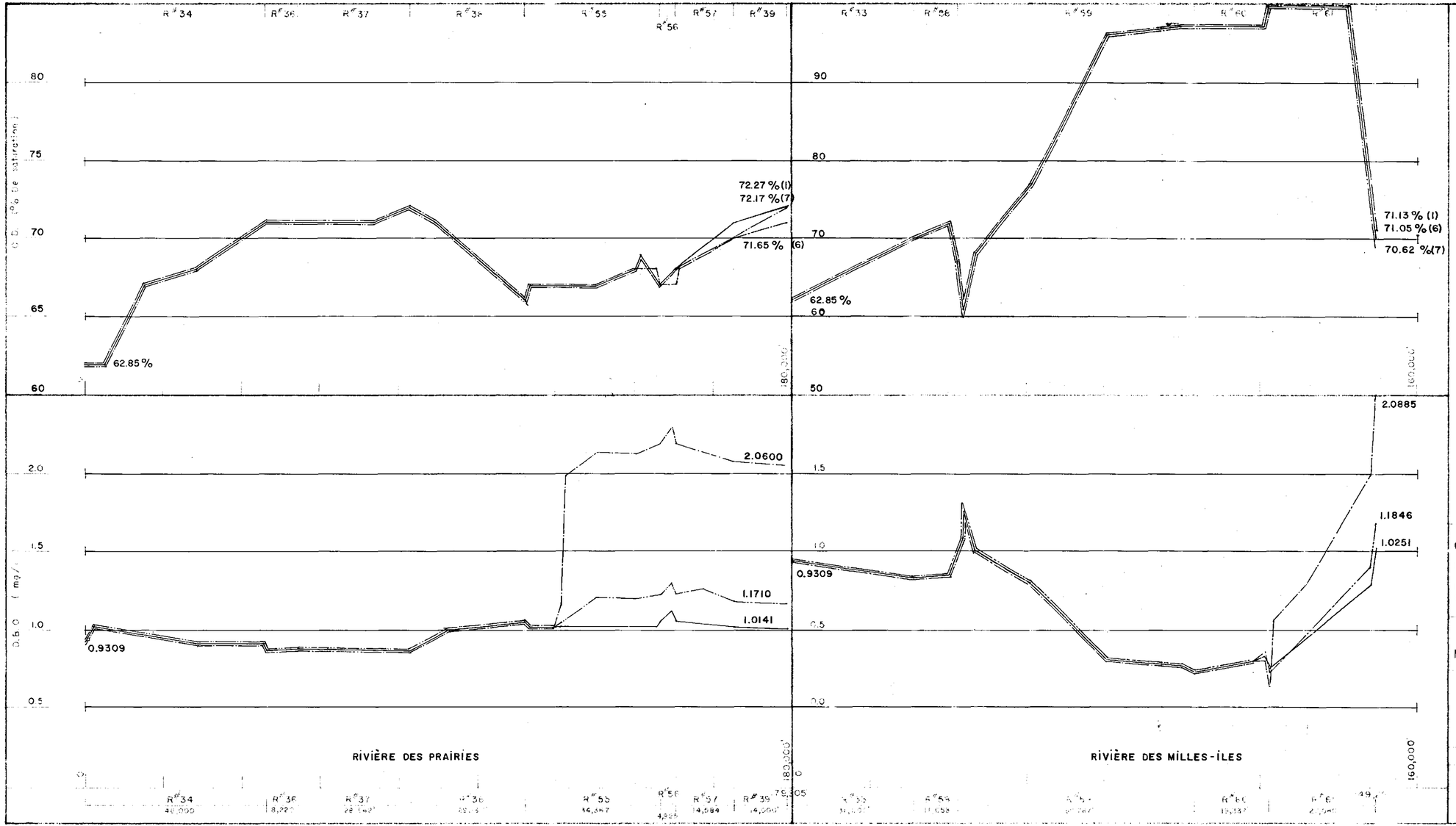
6.3 Sous-réseau 4

On a étudié dans le sous-réseau 4, trois solutions pour l'assainissement des eaux des rivières des Prairies et des Mille-Iles, soit les solutions 1, 6 et 7.

Dans la solution 1, on ne retrouve aucun déversement d'eaux usées dans la rivière des Prairies. Cela a permis d'améliorer considérablement la concentration en DBO de ce cours d'eau en aval du barrage de l'Hydro-Québec (voir planche 10). Le modèle donne une valeur de DBO de 1.0141 mg/l à la fin du tronçon 39 alors qu'on avait obtenu initialement une valeur de 1.7732 mg/l. La concentration en OD n'a toutefois pas varié; en comparant les résultats des planches 7 et 10, on peut voir que l'allure du profil de l'OD reste la même. En ce qui concerne la rivière des Mille-Iles, on note une nette amélioration de la DBO et très peu de changements pour l'OD.

TABLEAU 6.2 - VALEURS CONSTANTES DES POINTS D'INJECTIONS POUR TOUTES LES SOLUTIONS

Sous-réseau	Tronçon	Distance du noeud amont en pieds	Charges en lb DBO/jour	Identification
1	3	21,000	21,970	Cornwall
1	2	4,500	13,000	Massena
1	8	37,500	439	Rivière Raisins
1	9	10,500	1,088	Rivière aux Saumons
1	10	40,000	246	Rivière Beaudet
1	11	39,000	3,510	Région de Valleyfield
2	25	22,800	1,670	Rivière du Nord
2	28	28,600	210	Hudson
2	300	0	285	Dorion
2	15	8,750	1,600	Beauharnois
2	16	0	1,430	Rivière Châteauguay
3B	17	12,000	1,500	Région de Laprairie
4	58	9,200	760	Deux-Montagnes
4	59	4,600	820	St-Eustache
4	59	38,300	1,685	Ste-Thérèse, Rosemère, Blainville
4	61	650	360	Terrebonne



LEGENDE

8-8

R 4 / 5,000' — NUMERO DU TRONÇON / LONGUEUR DU TRONÇON

PROFIL DES SOLUTIONS 1,2,3,4,5.

PROFIL DE LA SOLUTION 6

PROFIL DE LA SOLUTION 7

CANADA
ENVIRONNEMENT CANADA
MINISTERE DES TRANSPORTS

QUEBEC
LES SERVICES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES

FLEUVE ST-LAURENT

MODELES MATHEMATIQUES DE SIMULATION

ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES REGION DE MONTREAL

SOUS-RESEAU #4

ECHELLE 1 = 20,000 | PLANCHE Nº 10

SURVEYER, NENNIGER & CHENEVERT INC.
CARRIER TROTTIER AUBIN
CONSULTANTS

03/74

La solution 6 comprend un déversement important de 275,650 lb dans la rivière des Prairies en aval du barrage de l'Hydro-Québec. A ce point, la DBO passe de 1.02 mg/l à 2.1 mg/l et se maintient à ce niveau jusqu'à l'embouchure du fleuve Saint-Laurent (voir planche 10). A moins d'un traitement important à cet endroit, cette solution détériore la qualité de l'eau actuelle et ne présente pas d'avantage particulier sauf pour des considérations spéciales en amont, telle que la protection d'une prise d'eau.

La solution 7 comprend le même point de déversement que 6 sauf qu'une réduction de 85% de la charge a été appliquée. Les résultats se sont nettement améliorés mais ils sont moins bons que ceux de la solution no 1. On peut voir sur la planche 10 que le même raisonnement vaut pour la rivière des Mille-Iles.

6.4 Sous-réseaux 3B et 3A

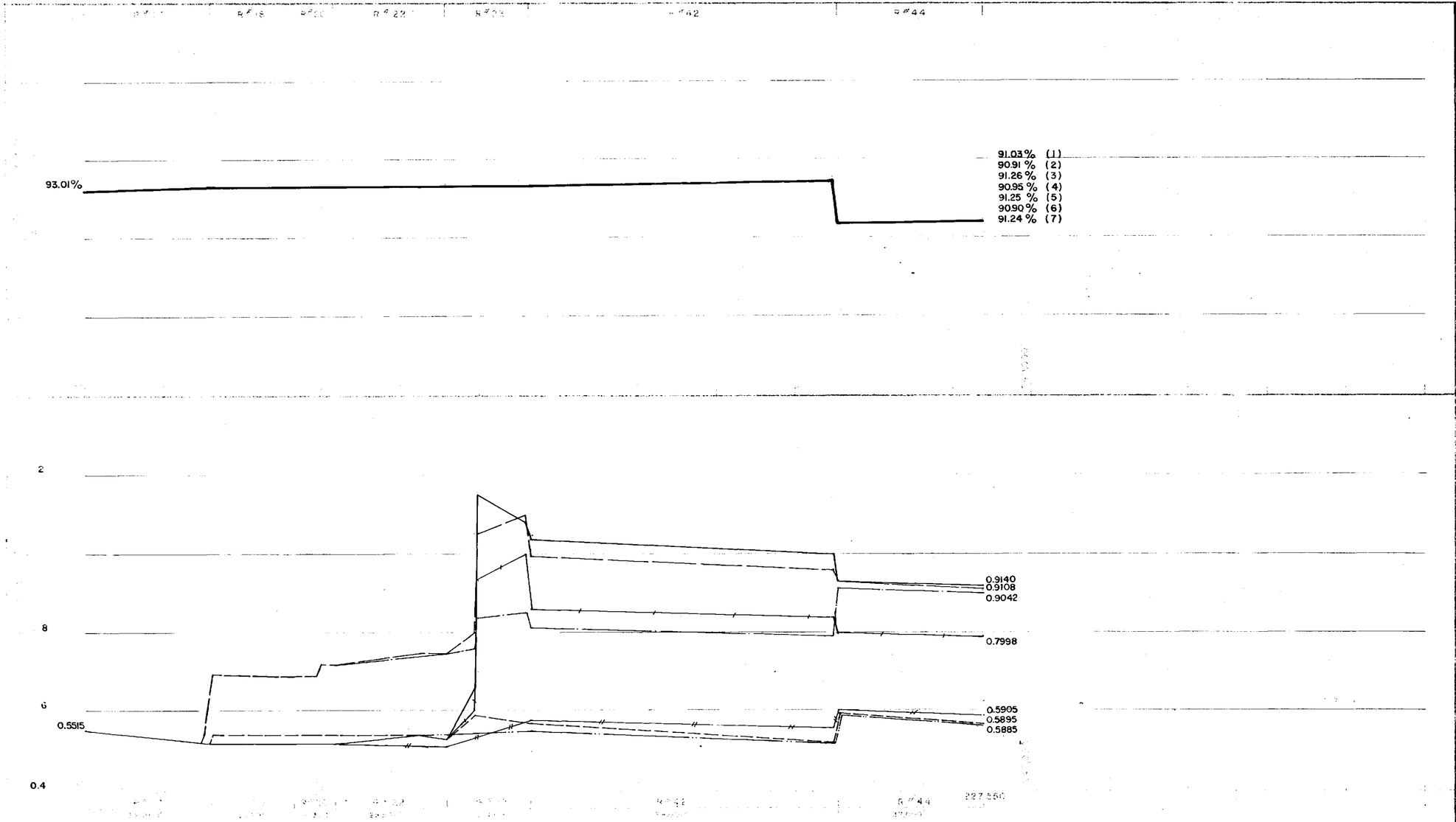
On peut voir sur la planche no 11 les résultats des sept solutions étudiées. La concentration en oxygène dissous ne varie pas d'une solution à l'autre et demeure pratiquement au même niveau que les conditions existantes montrées sur la planche 6. Cela signifie que la quantité d'oxygène dissous présente de même que le taux de réaération sont suffisamment élevés pour que l'impact des rejets d'eaux usées de la région de Montréal dans le fleuve Saint-Laurent soit sans effet sur l'oxygène dissous.

On peut voir toutefois que les résultats ne sont pas les mêmes pour la DBO. La variation est marquée spécialement dans les tronçons 23, 42 et 44. On peut voir au tableau 6.3 un résumé des valeurs obtenues. Pour un degré de traitement de 85%, on a pratiquement les mêmes résultats (0.59 mg/l) à Lanoraie pour chacune des solutions (3, 5, 7); ceci vaut également pour les tronçons en amont. On note à Lanoraie, un écart de 0.2 mg/l, soit 33%, lorsqu'il s'agit d'un degré de traitement de 30% pour les postes d'épuration; l'écart est de 0.32 mg/l, soit 54%, lorsqu'il n'y a aucun traitement pour les eaux usées.

En résumé, nous constatons que le fait d'avoir plusieurs postes de traitement des eaux de ces sous-réseaux n'altère pas plus la qualité de l'eau qu'un regroupement en un seul poste d'épuration si on considère toujours le même degré de traitement. Le pourcentage de réduction des charges de pollution en terme de lb de DBO/jour a toutefois un effet important: par rapport à un traitement secondaire, les écarts dans les résultats de la demande biochimique en oxygène du fleuve Saint-Laurent sont accrus de 33% si on considère un traitement primaire, ou de 54% si aucun traitement n'est considéré.

TABLEAU 6.3 - VARIATIONS DE LA DBO POUR CHACUNE DES SOLUTIONS (EN MG/L)

Solution	Degré de traitement	Tronçon 20	Tronçon 22	Tronçon 23	Tronçon 42	Tronçon 44	
		x = 0	x = 0	x = 0	x = 0	x = 0	x = 37,000 pi
1	0	0.5266	0.5225	0.5365	1.0333	0.9323	0.9140
2	30%	0.5266	0.5225	0.5294	0.8752	0.8159	0.7998
3	85%	0.5266	0.5225	0.5163	0.5854	0.6023	0.5905
4	0	0.6910	0.7258	0.7374	0.9996	0.9291	0.9108
5	85%	0.5506	0.5524	0.5458	0.5797	0.6013	0.5895
6	0	0.6910	0.7257	0.7384	0.8218	0.9223	0.9042
7	85%	0.5506	0.5524	0.5459	0.5530	0.6003	0.5885



LEGENDE

6-11

- PROFIL SIMULE
- PROFIL MESURE
- R#4 / 5,000' — NUMÉRO DU TRONCON / LONGUEUR DU TRONCON
- PROFIL DE LA SOLUTION (1)
- " " (2)
- " " (3)
- " " (4)
- " " (5)
- " " (6)
- " " (7)

CANADA
ENVIRONNEMENT CANADA
MINISTERE DES TRANSPORTS

QUEBEC
LES SERVICES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
MINISTERE DES RICHESSES NATURELLES

FLEUVE ST-LAURENT

MODELES MATHEMATIQUES DE SIMULATION

ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES
REGION DE MONTREAL
SOUS-RESEAUX 3A-3B

ECHELLE 1 = 20,000 | PLANCHE Nº. 11

SURVEYER, NENNIGER & CHENEVERT INC.
CARRIER TROTTIER AUBIN
CONSULTANTS

03/74

7. RECOMMANDATIONS

Les modèles mathématiques de simulations hydrodynamique et de qualité des eaux constituent un outil essentiel à la planification et à la gestion des eaux du fleuve Saint-Laurent. Il importe de raffiner le développement de ces modèles afin de simuler exactement les paramètres qualitatifs et quantitatifs de ces eaux sous différentes conditions actuelles et futures. Nos recommandations portent sur les points suivants:

a) La région d'études ne devrait pas être prolongée, pour l'instant, à la partie en aval de Montmagny, car les déversements majeurs d'eaux usées se situent principalement en amont de ce point. Il y a intérêt à concentrer les efforts dans le territoire couvert par la présente étude afin d'optimaliser les politiques d'assainissement des eaux du fleuve Saint-Laurent, de façon à rencontrer les critères de qualité établis pour les usages prévus par les gestionnaires des gouvernements provincial et fédéral.

b) Les paramètres suivants de la qualité des eaux devraient être inclus dans les modèles de simulation: la température, la salinité, l'oxygène dissous, la demande biochimique en oxygène, l'azote, le phosphore, le zooplancton, le phytoplancton, les coliformes fécaux et les lignines conservatrices et biodégradables. Une attention particulière devra être affectée aux 23 coefficients associés à ces paramètres afin de déterminer les valeurs de chacun et de faire varier seulement ceux qui sont les plus significatifs.

c) Afin d'évaluer la sensibilité de chacun des 23 coefficients, des essais devraient être entrepris à l'aide d'un réacteur mathématique où aucun transfert de masse ne serait permis à travers les limites de la section d'étude. Ce réacteur simulerait un réservoir de retention où les différents processus de réactions des paramètres se produiraient avec un volume d'eau donné ayant les propriétés physiques, chimiques et biologiques de l'eau d'un tronçon du fleuve Saint-Laurent. Ces essais auraient pour but de déterminer les rapports entre les coefficients et leur sensibilité lorsqu'un déversement d'eaux usées est injecté au réacteur.

d) Plusieurs des coefficients mentionnés précédemment pourraient être mesurés dans le fleuve Saint-Laurent dans un tronçon où les caractéristiques d'entrée et de sortie peuvent être connues, où le transfert de masse est permis et où les rejets d'eaux usées sont connus avec précision.

e) Environ dix stations permanentes de la qualité des eaux devraient être installées le long du fleuve Saint-Laurent (voir article 2.6.2), afin de connaître de façon continue la qualité des eaux et d'apprécier les variations sous différentes conditions de débits et de température. Il existe actuellement une incompatibilité dans les mesures quantitatives et qualitatives: les premières sont mesurées à des stations stratégiques permanentes, tandis que les secondes sont prélevées de façon arbitraire en temps et lieux. Ceci rend difficile l'évaluation des relations appropriées entre ces deux mesures.

f) Jusqu'à présent, la simulation de la qualité des eaux s'est faite pour un débit moyen donné (celui du 12 juillet 1969). Il y aurait avantage à entreprendre des simulations additionnelles pour des débits d'étiage et de crue afin de voir les effets respectifs du débit, et de la température et des conditions atmosphériques sur la qualité des eaux.

g) L'étude des effluents urbains entreprise par les Services de Protection de l'Environnement devrait être accentuée et étendue aux industries majeures, en plus des municipalités d'importance, afin de connaître les quantités deversées de DBO, d'azote, de phosphore, de coliformes fécaux et de lignines.

h) Afin d'étudier en détails certains problèmes locaux, le developpement d'un modèle bidimensionnel est recommandé particulièrement pour les zones où l'on retrouve des déversements majeurs d'eaux usées ou encore des propriétés hydrographiques particulières (ex: Bassin de Laprairie, lac St-Louis). Les conditions limites établies à l'aide du modèle unidimensionnel pourraient être utilisées comme données du modèle bidimensionnel.

i) Il y aurait lieu de compléter la vérification des modèles dans les rivières des Prairies et des Mille-Iles, ainsi que dans le tronçon Lanoraie - Montmagny du fleuve Saint-Laurent.

j) Différentes conditions de traitement d'eaux usées pourraient être simulées pour les pricipales agglomérations du territoire afin d'aider le gestionnaire des eaux du Saint-Laurent à établir une politique d'ensemble.

k) Une étude statistique sur les données recueillies jusqu'à ce jour serait essentielle pour connaître le comportement du fleuve Saint-Laurent sous différentes conditions de débit et de température.

REFERENCES

(1) SNC Inc. - CTA, Modèle hydrodynamique de simulation fleuve St-Laurent, tronçon Cornwall - Varennes, 31 mars 1973.

(2) Entente intervenue entre le Gouvernement du Québec et les Consultants Surveyer, Nenniger & Chênevert Inc., et Carrier, Trottier & Aubin le 30 novembre 1973.

(3) Thatcher, M.L., and Harleman, D.R.F., "A Mathematical Model for the Prediction of Unsteady Salinity Intrusion in Estuaries" Report No. 144, Ralph M. Parsons Laboratory, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, February 1972.

(4) Dailey, J.E., and Harleman, D.R.F., "Numerical Model for the Prediction of Transient Water Quality in Estuary Networks", Technical Report No. 158, Hydrodynamics Laboratory, Department of Civil Engineering, M.I.T., October 1972.

(5) Prandle D. and N. Crookshank, Numerical Model Studies of the St-Lawrence River - Conseil National de Recherche, Laboratoire d'Hydraulique, rapport MH - 109, juillet 1972.

(6) Ministère de l'Energie des Mines et des Ressources du Canada, volume 1, Inland Water Levels 1969 de la Section des Sciences Marines.

(7) Ministère de l'Environnement du Canada, volume 1, Inland Water Levels 1972.

(8) Ministère de l'Environnement du Canada, volume 2, Tidal Water Levels, Part 1, 1972.

(9) Ministère de l'Energie des Mines et des Ressources du Canada, volume 3, Water Level Temporary Gauges, 1969.

(10) Ministère des Richesses Naturelles du Québec, Annuaire Hydrologique (1969) des Services Hydrométéorologiques, Québec (1971).

(11) INRS-EAU, Effluents urbains - Fleuve St-Laurent entre Cornwall et Varennes, 31 mars 1973.

(12) Thomann, Robert V., Systems Analysis and Water Quality Management, 1972.

(13) Canale R.P., Patterson R.L., Gannon J.J., Powers W.F., Water Quality Models for Total Coliform", JWPCF, 45, 2, p 325 (1973)

(14) Lombardo, P.S., Franz, D.D., "Mathematical Model of Water Quality Indices in Rivers and Impoundments" Operations Manual, Hydrocomp Inc., (Dec. 8, 1972).

(15) Raabe, E.W., "Biochemical Oxygen Demand and Degradation of Lignin in Natural Waters", JWPCF, 40, 5, p R148 (1968).

(16) Woodard, F.E., Sproul, O.J., Atkins, P.F. "The Biological Degradation of Lignin from Pulp Mill Black Liquor", JWPCF, 36, 11, p 1401 (1964).

(17) Zobell, C.E., Stadler, S., "The Oxidation of Lignin by Bacteria from Ponds and Lakes", arch. Hydrobiol. (Germany), 37, 163 (1940).

(18) Pearl, I.A., "Lignin Chemistry", Chem. Eng. News, 42, 81 (1964).

(19) Kroner, R.C. & Moore, W.A. "The Persistence of Lignin in River Waters". Proc. 8th Industrial Wastes Conference, Purdue University (1953).

(20) Ganczarczyk, J. "Fate of Lignin in Activated Sluge Treatment of Kraft Effluents", Proc. 27th Industrial Wastes Conference, Purdue University (1972).

(21) Anderson, R.E., Ganczarczyk, J. "Biological Removal of Lignin from Kraft Mill Effluents, Preliminary Studies", Toronto University Dept. of Civil Engineering, Publication No. 71-604 (Dec. 1971).

(22) Wilson, Thomas E., Wang, M.H. "Removal of Lignin by Foam Separation Processes", Rutgers University, New Brunswick, N.J. Water Resources Institute, (Nov. 1970).

(23) Evans, F.L. et al, "Treatment of Urban Stormwater Runoff", JWPCF, 40, 5, p R162 (May 1968).

(24) Deaner, D.G., Kerri, K.D. "Regrowth of Fecal Coliforms", J. AWWA, 61, p 415 (Sept. 1969).

(25) Ganczarczyk, J. Private Communication (Oct. 1973).

(26) Yao, K.M., "Regionalization & Water Quality Management", JWPCF, 45, 3 (March 1973).

(27) Fransisco, D.F. & Weiss, C.M. "Algal Response to Detergent Phosphate Levels", JWPCF, 45, 3 (March 1973).

(28) Chen & Orlob, "Final Report Ecologic Simulation for Aquatic Environments", Office of Water Resources Research, U.S. Dept of the Interior, OWRR-C 2044 (Dec. 1972).

(29) Gunarathnam, D.J. and Perkins, F.E., "Numerical Solution of Unsteady Flows in Open Channels", Technical Report No. 127, Hydrodynamics Laboratory, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, July 1970.

(30) Nemerow, "Liquid Waste of Industry, Theories, Practices & Treatment", Addison-Wesley (1971).

(31) Kittrell, F.W. & Furfari, S.A. "Observations of Coliform Bacteria in Streams", JWPCF, 35, p 1361 (1963).

(32) Watkins, S.H. "Bacterial Degradation of Ligno sulfonates and Related Model Compounds", JWPCF, p R48 (Feb. 1970).

(33) Smith, R.J., Twedt, R.M., Flanigan, L.K. "Relationships of Indicator and Pathogenic Bacteria in Stream Waters", JWPCF, 45, 8, p 1737 (1973).

(34) Sarkanen, K.V., Ludwig, C.H. (Editors) "Lignins, Occurrence, Formation, Structure and Reactions". Wiley-Interscience (1971).

(35) Mackenthum, K.M. et al. "Limnological Aspects of Reacreational Lakes". U.S. Dept. of Health, Education and Welfare (1964).

(36) Klein, L., "River Pollution - Causes and Effects". Butterworth & Co. Ltd (1962).

(37) Odum, E.P. "Fundamentals of Ecology", 3rd Edition. W.B. Saunders Co. (1971).

(38) Christie, A.E. "Phytoplankton Studies in the Bay of Quinte". Research Report W44, Ontario Ministry of the Environment (1973).

(39) Schindler et al. "Feeding, Assimilation and Respiration Rates of Daphnia Magna under Various Environmental Conditions". Journal of Animal Ecology, 37, p 369 (1968).

(40) Lewin, R. (Ed.) "Physiology and Biochemistry of Algae". Academic Press (1972).

(41) Steele, J.H. "Notes on Some Theoretical Problems in Production Ecology, Primary Production in Aquatic Environments". C.R. Goldman, Ed., Mem. Inst. Idrobiol., pp 383-98, 18 Suppl., University of California Press, Berkeley (1965).

(42) Wood, E.F., Harley, B.M. and Perkins, F.E., "Operational Characteristics of a Numerical Solution for the Simulation of Open Channel Flow", Report No. 150, Ralph M. Parsons Laboratory, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technoly, June 1972.

(43) Gilcrest, B.R., "Chapter X, Engineering Hydraulics", Edited by H. Rouse, John Wiley & Sons, New York 1958.

(44) Lai, Chintu, "Flows of Homogeneous Density in Tidal Reaches, Solution by Implicit Method", U.S. Geological Survey Open File Report, Washington, D.C., 1965

(45) Harleman, D.R.F. and Lee, C.H., "The Computation of Tides and Currents in Estuaries and Canals", Technical Bulletin No. 16, Committee on Tidal Hydraulics, U.S. Army Corps of Engineers, September 1969.

(46) Fisher, J.S., Nava, R.E. and Cross, R.H., "Mathematical Model of the Maracaibo Estuary", Technical Report No. 136, Ralph M. Parsons Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, February 1971.

(47) Ploeg, J. and D. Prandle, Stage-Discharge Study, St-Lawrence River, Montreal to Ile D'Orleans. National Research Council of Canada Hydraulics Laboratory Report LTR-HY-31, Dec. 1972.

(48) Dohler, G.C., Current Survey of the St-Lawrence River (Montreal - Quebec City), Canadian Hydrographic Service, Dept. of Mines and Technical Surveys, Ottawa 1961.

(49) Lau, Y.L., "A Review of Conceptual Models and Prediction Equations for Reaeration in Open-Channel Flow", Technical Bulletin No. 61, Inland Waters Branch, Department of the Environment, Ottawa, 1972.

(50) Bennett, J.P. and Rathbun, R.E., "Reaeration in Open Channel Flow", U.S. Geological Survey, Water Resources Division, 1971.

(51) Bansal, M.K., "Atmospheric Reaeration in Natural Streams", Water Research, Volume 7, pp 769-782, 1973, Pergamon Press.

(52) Richards, F.A., Chapitre 6 dans Chemical Oceanography (Riney & Skirraw, Ed.) Vol. I, Academic Press, N.Y. 1965.

(53) Ryan, P.T. and Harleman, D.R.F. "An Analytical & Experimental Studies of Transient Coaling Pond Behavior". T.R. 161. R.M. Parsons Laboratories, Department of Civil Engineering, M.I.T. 1973.

(54) Eagleson, P.S. "Dynamic Hydrology". Edité par McGraw Hill en 1970.

(55) Bureau d'Assainissement des Eaux du Québec Métropolitain, Diffusion (Rapport d'étude et d'avant-projet), Piette, Audy, Lépinay, Bertrand, Lemieux, ingénieurs-conseils, Mars 1970.

(56) Régie des Eaux du Québec, Qualité des Eaux, Rivières des Prairies et des Mille-Iles, Lac des Deux-Montagnes, 1972.

(57) Ministère des Richesses Naturelles du Québec, Etude des lignes d'eau et des caractéristiques hydrauliques en crue et en étiage de la Rivière des Prairies; rapport no A-1.1.7 de la Direction Générale des Eaux, décembre 1973.

(58) Harleman, D.R.F., Brocard, D.N. et Najarian, T.O., "A Predictive Model for Transient Temperature Distributions in Unsteady Flows". Report No. 175 of the Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics MIT, Nov. 1973.

ANNEXE A-1

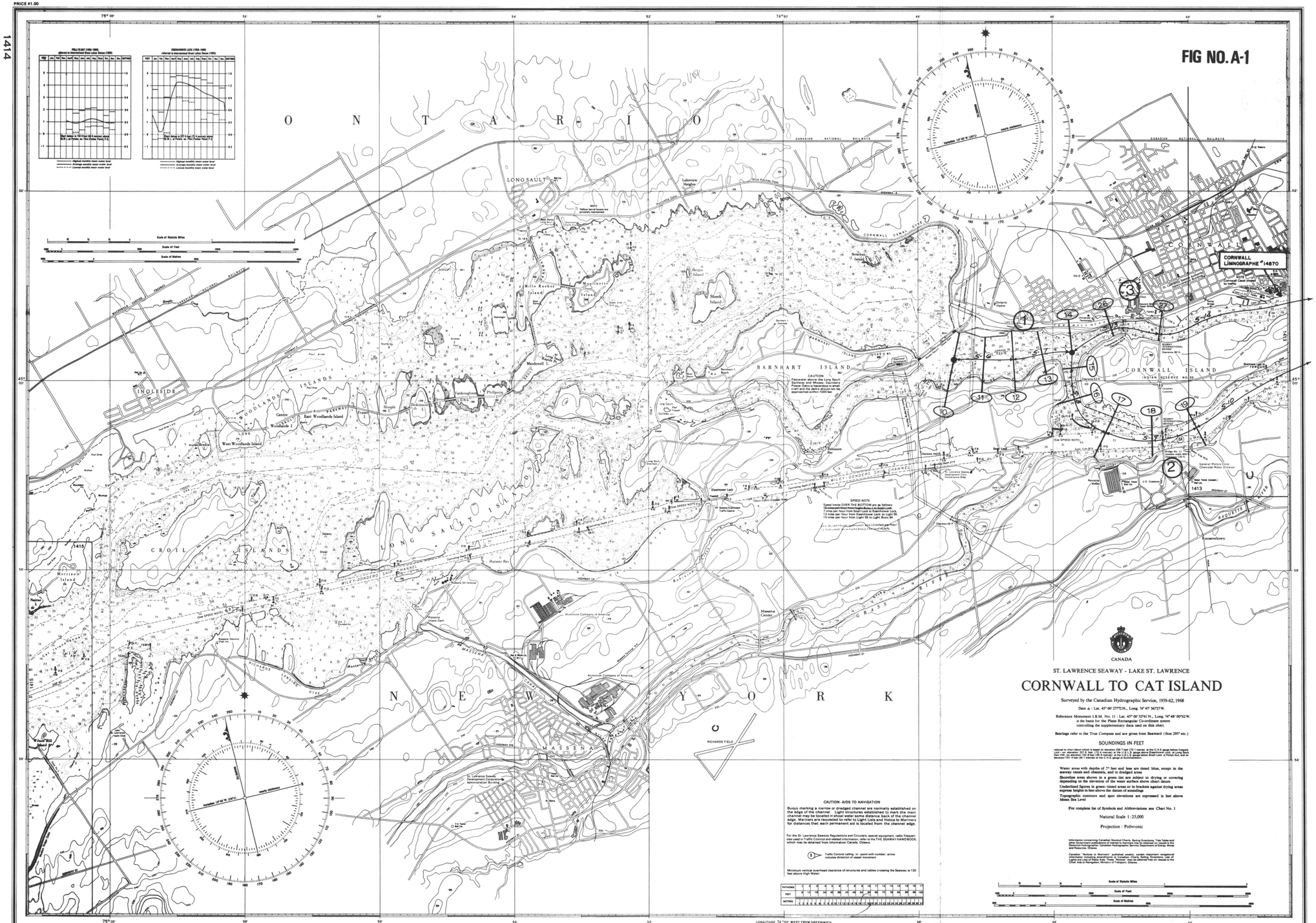
Cartes hydrographiques (Figures A-1 à A-17)

Ces cartes montrent la définition des sous-réseaux, les tronçons et les sections transversales le long du fleuve Saint-Laurent.

PRICE #1.00

1414

FIG NO. A-1



CANADA

ST. LAWRENCE SEAWAY

LAC SAINT-FRANÇOIS (WESTERN PORTION)

LANCASTER BAR TO CORNWALL ISLAND

Surveyed by the Canadian Hydrographic Service, 1958–63

I.B.M. No. 773-54 : Lat. 44° 59' 57?0 N., Long. 74° 39' 33?0 W.

Bearings refer to the True Compass and are given from Seaward (thus 295° etc.)

SOUNDINGS IN FEET

reduced to a chart datum based on elevation 150·7 feet (45·9 metres) at the Cornwall Canal Control Dam and elevation 150·0 feet (45·7 metres) at the Dam No. 2 C.N.S. gauge at Summerstown and on elevation 150·0 feet (45·7 metres) at the C.N.S. gauge at Cornwall.

Water areas with depths of 30 feet and less are tinted blue except in seaway channels and dredged areas

Shoreline areas shown in a green tint are subject to drying or covering depending on the elevation of the water surface above chart datum

Heights on land and underlined figures in green-tinted areas or in brackets against drying areas express heights in feet above the datum of soundings

For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No. 1

Natural Scale 1:25,000

Projection : Polyconic

Scale of Latitude and Distance — Cables — Two Miles

Scale of Statute Miles

Scale of Feet

Scale of Metres

FIG NO. A-2

CORNWALL WHARF

Natural Scale 1 : 6,000

Use adjacent compass

Scale of Feet

Scale of Metres

SUMMERSTOWN LIMNOGRAPHE 14940

CAUTION - AIDS TO NAVIGATION

Buoys marking a narrow or dredged channel are normally established on the edge of the channel. Light structures established to mark the main channel may be located in shoal water some distance back of the channel edge. Mariners are requested to refer to Light Lists and Notice to Mariners for distances that each permanent aid is located from the channel edge.

Traffic Control calling -in point with number arrow indicates direction of vessel movement

PREVIOUS EDITIONS 1959 '60 '61 '66 '68

NEW EDITION FEB 4 1972

CORRECTIONS FROM CANADIAN NOTICES TO MARINERS TO [illegible]

PUBLISHED BY THE CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE
MARINE SCIENCES BRANCH
DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, OTTAWA

© Her Majesty The Queen in Right of Canada 1972

1412

FIG NO. A-3

COTEAU LANDING
LIMNOGRAPHE 15110

CANADA
ST. LAWRENCE SEAWAY

LAC SAINT-FRANÇOIS
(EASTERN PORTION)

CANAL DE BEAUHARNOIS TO LANCASTER BAR

Surveyed by J.B. Cameron and assistants, 1958

Orca δ : Lat. 45° 14' 27"·76 N., Long. 74° 10' 27"·12 W.

Bearings refer to the True Compass and are given from Seaward (thus 295° etc.)

SOUNDINGS IN FEET

reduced to Canadian Hydrographic Datum (Plane of Zero (45·6 metres) at the Canada/United States boundary in the Lake St. Francis - Lovering and on elevated 181·9 feet (55·1 metres) on the C.H.S. gauge at Summerstown.)

Water areas with depths of 30 feet and less are tinted blue except in the seaway canals and channels, and in dredged areas

Shoreline areas shown in a green tint are subject to drying or covering depending on the elevation of the water surface above chart datum

Heights on land and underlined figures in green-tinted areas or in brackets against drying areas express heights in feet above the datum of soundings

For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No. 1

Natural Scale 1:25,000

Projection - Polyconic

Hydrography for this chart has been compiled by the Canadian Hydrographic Service. Supplementary information has been supplied by the following agencies: The St. Lawrence Seaway Authority, The Hydro-Electric Power Commission of Québec and The Department of Transport.

Information concerning Canadian Nautical Charts, Sailing Directions, Tide Tables and other Government publications of interest to mariners may be obtained on request to the Dominion Hydrographer, Canadian Hydrographic Service, Department of the Environment, Ottawa.

Canadian Notices to Mariners published weekly, contain important navigational information including descriptions of new aids to navigation, changes in lights, buoys and other aids to navigation, and corrections to charts. Also obtainable free on request to the Chief, Aids to Navigation, Ministry of Transport, Ottawa.

CAUTION - AIDS TO NAVIGATION

Buoys marking a narrow or dredged channel are normally established on the edge of the channel. Light structures established to mark the main channel may be located in shoal water some distance back of the channel edge. Mariners are requested to refer to Light Lists and Notice to Mariners for distances that each permanent aid is located from the channel edge.

SPEED NOTE

Speed limit 10 miles per hour, upbound, and 12 miles per hour, downbound, OVER THE BOTTOM in the Canal de Beauharnois

SPEED NOTE

Speed limit 10 miles per hour OVER THE BOTTOM from Light Buoy 87A to Light Buoy 80F.

Cross Ledge Datum (1970-1979)
referred to International Great Lakes Datum (1985)

HWO	Jan	Feb	Mar	April	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Ann Ave
5													15
4													12
3													09
2													06
1													03
0													00
-1													03

Mean above datum
Mean level for 1970-79 period (76·81 m. at Point Iroquois)

Highest monthly mean water level
Average monthly mean water level
Lowest monthly mean water level

For the St. Lawrence Seaway Regulations and Circulars, special equipment, radio frequencies used in Traffic Control and related information, refer to THE SEAWAY HANDBOOK, which may be obtained from Information Canada, Ottawa.

Traffic Control calling-in point with number; arrow indicates direction of vessel movement.

Minimum vertical clearance of structures and cables crossing the Seaway is 120 feet above high water.

FATHOMS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
FEET	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108
METRES	0	1·8	3·7	5·5	7·3	9·1	11·0	12·8	14·6	16·5	18·3	20·1	22·0	23·8	25·6	27·4	29·3	31·1	32·9

Scale of Latitude and Distance
Cables 12 — 6 — 0 — See Miles

Scale of Statute Miles
5 — 4 — 3 — 2 — 1 — 0

Scale of Feet
5000 — 4000 — 3000 — 2000 — 1000 — 0

Scale of Metres
1000 — 500 — 0
1 — 2 — 3

PREVIOUS EDITIONS 1958 '60 '62 '66
NEW EDITION NO. 7 1972
CORRECTIONS FROM CANADIAN NOTICES TO MARINERS 1-D - 1972 449

PUBLISHED BY THE CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE
MARINE SCIENCES BRANCH
DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, OTTAWA
© Her Majesty The Queen in Right of Canada 1972

#1.00

1411

FIG NO. A-4

BAIE SAINT-FRANÇOIS

Échelle 1:12,000 Scale

PORT DE VALLEYFIELD

Levé en 1968 Surveyed 1968

Échelle 1:3,600 Scale

27 ft

SALABERRY-DE-VALLEYFIELD

ILE DE SALABERRY

ILE PERROT

LAC SAINT-FRANÇOIS

LAC SAINT-LOUIS

CANAL DE SOULANGES

CANAL DE BEAUHARNOIS

ST LAWRENCE RIVER

FLEUVE SAINT-LAURENT

COTEAU DU LAC LIMNOGRAPHE # 15140

CASCADES POINT LIMNOGRAPHE # 15220

BEAUHARNOIS LIMNOGRAPHE # 15262

BEAUHARNOIS LIMNOGRAPHE # 15260

MELOCHEVILLE

Saint-Louis-de-Gonzague

ATTENTION N°1 - AIDES A LA NAVIGATION

Les bouées marquant un chenal dirigé sont ordinairement laissées à main droite en montant. Les feux éclairés pour marquer le chenal principal seront de couleur rouge ou verte selon la couleur de la bouée de distance du bord du chenal. On demande aux navigateurs de rester autant que possible à l'intérieur des bouées et des feux aux navigateurs pour savoir à quelle distance les aides permanents sont situés du bord du chenal.

CAUTION NO 1 - AIDS TO NAVIGATION

Buoys marking a narrow or dredged channel are normally established so that they are left-hand buoys when proceeding upstream. The main channel may be located in shoal water some distance back of the channel edge. Mariners are requested to refer to the List of Lights to ascertain the distance of the channel aids that each permanent aid is located from the channel edge.

AVERTISSEMENT

On peut rencontrer plusieurs boudes d'ancre pour les remorqueurs d'glace et des perches flottes en bois dans cette région. Les opérateurs de petites embarcations devront être prudents en naviguant dans cette région.

WARNING

Numerous ice boom anchor buoys and small wooden floats may be encountered in this area. Small craft operators should exercise caution when navigating in this area.

OTTAWA LANDING (QUEBEC) 1915-1968

(Carte la Plus de Référence Internationale des Grands Lacs (1955) retenue la International Great Lakes Datum (1955)

Pieds / Feet	Jan	Fév / Feb	Mar	Avril / Apr	Mai / May	Juin / Jun	Juil / Jul	Août / Aug	Sept / Sep	Oct / Oct	Nov / Nov	Déc / Dec	Mètres / Metres
5													1.5
4													1.2
3													0.9
2													0.6
1													0.3
0													0.0
-1													-0.3

Le zéro des cartes est 150.7 pieds (45.9 mètres) au dessus de M.W.L. à Pointe au Pin / Point Zero is 150.7 feet (45.9 metres) above M.W.L. at Pointe au Pin L.W.

Niveau moyen mensuel de l'eau le plus élevé ____ Highest monthly mean water level
Niveau moyen mensuel de l'eau moyenne ____ Average monthly mean water level
Niveau moyen mensuel de l'eau le plus bas ____ Lowest monthly mean water level

SPEED NOTE

Speed limit 18 miles per hour OVER THE BIRTOWN from Light Buoy 92 S to Light Buoy 90C.

MISE SUR LA VITESSE

La vitesse maximale PAR HEURE AU FOND est de 18 milles entre l'aide marine 92 S et l'aide marine 90C.

NOTE SUR LA VITESSE

La vitesse maximale PAR HEURE AU FOND est de 20 milles à l'heure entre [illegible]

SPEED NOTE

Speed limit 20 miles per hour, GROUP, from [illegible]

NOTE SUR LA VITESSE

La vitesse maximale PAR HEURE AU FOND est de 20 milles à l'heure entre [illegible]

SPEED NOTE

Speed limit 20 miles per hour, GROUP, from [illegible]

Point de Valleyfield (See Insert) (Voir carouche)

Pont de Valleyfield (See Insert) (Voir carouche)

Pont de Beauharnois

Pont Melocheville

Pont Saint-Louis

Pont Saint-Louis

Pont Saint-Louis

FIG NO. A-5

CANADA
VOIE MARITIME DU SAINT-LAURENT
ST. LAWRENCE SEAWAY
LAC SAINT-LOUIS

Levé par G.E. Wade, S. van Dyck et assistants, 1959-60, 1962-63

Surveyed by G.E. Wade, S. van Dyck and assistants, 1959-60, 1962-63

Cross Δ : Lat. 45° 23' 07" .38 N ., Long. 73° 46' 18" .42 W.

PROFONDEURS EN PIEDS
réduites au zéro des cartes situé sur la hauteur de 84.5 pieds (20.1 mètres) au limnigraphe du Service hydrographique du Canada à Pointe-Claire.

Les hauteurs sur terre et les chiffres soulignés dans les eaux intérieures, ainsi que les hauteurs indiquées par des zones asséchantes expriment des hauteurs ou pieds au-dessus du niveau de référence des sondes.

Les courbes de niveau et les points cotés sont exprimés en pieds au-dessus du niveau moyen de la mer

DEPTHS IN FEET
reduced to chart datum 84.5 feet (20.1 metres) by reference to the Canadian Hydrographic Service gauge at Pointe-Claire.

Heights on land and underlined figures in green-tinted areas, and heights against drying areas express heights in feet above the datum of soundings

Topographic contours and spot elevations are expressed in feet above Mean Sea Level

Échelle 1:25,000 Scale

Polyconique : Projection : Polyconic

Où peut obtenir des renseignements concernant les cartes marines canadiennes, les instructions nautiques, les tables des marées et autres publications du gouvernement canadien : Service hydrographique du Canada, Ministère de l'Environnement, Ottawa.

L'édition canadienne des "Avis aux navigateurs" publiée chaque semaine contient des renseignements importants pour la navigation, y compris les modifications aux cartes marines canadiennes et aux publications nautiques. On peut obtenir cette "Avis" gratuitement sur demande en s'adressant au Chef, Avis à la navigation, ministère des Transports, Ottawa.

Information concerning Canadian Nautical Charts, Sailing Directions, Tide Tables and other Government publications of interest to mariners may be obtained on request to the Canadian Hydrographer, Canadian Hydrographic Service, Department of the Environment, Ottawa.

Canadian "Notices to Mariners" published weekly, contain important navigational information including amendments to Canadian Charts, Sailing Directions, Tide Tables and other publications. Copies of this publication may be obtained free on request to the Chief, Aids to Navigation, Ministry of Transport, Ottawa.

BOUÉE SUR LA VITESSE
La Vitesse maximum PAR BATEAU AU FOND ou de 7 milles à l'heure dans le Canal de la Rive Sud.
SPEED BUOY
Speed Limit 7 miles per hour GIVEN THE BOTTOM in the South Shore Canal.

NOTE
Canal de Lachine fermé à la navigation
The Lachine Canal is closed to navigation

ZONE D'EMMAGASINEMENT DE CETTE LIGNE A LA RIVE

POINTE CLAIRE LIMNOGRAPHE 15330

CASCADES POINT LIMNOGRAPHE 15220

BEAUHARNOIS LIMNOGRAPHE 15262

BEAUHARNOIS LIMNOGRAPHE 15260

ÉCLUSE SAINTE-ANNE LOCK
Dimensions
Longueur ..... 200 ft ..... Length
Largeur ..... 45 ft ..... Width
Profondeurs aux seuils .. 9 ft ..... Depths on Sills
Le hauteur libre minimum des ponts est de 26 pieds
The minimum vertical clearance of the bridges is 26 feet

Plusieurs boudes d'amarrage privé sont situées le long de la rive nord du Lac Saint-Louis
Numerous private mooring buoys are located along the north shore of Lac Saint-Louis

SIGNES CONVENTIONNELS ET ABRÉVIATIONS
SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

Feux rouges	R fcs	Red Lights
Privé	(Priv)	Private
Quai Public	Public	Public Wharf
Flèche d'église	Ste	Church Spire
Niveau moyen de l'eau	M W L	Mean Water Level
Quai	WHF	Wharf
Hauteur libre	26ft	Vertical Clearance
Limite d'une zone de dépôts sous-marins		Limit of Submarine Cable Zone
Caisson submergé	(Submerged Crib)	Submerged Crib
Bôme		Boom
Zone de bômes	Booming Ground	Booming Ground
Estacade à glace	Ice Boom	Ice Boom
Mouillage interdit	Prohibited Anchorage	Prohibited Anchorage

Pour la liste complète des signes conventionnels et abréviations, consulter la carte No. 1
For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No. 1

Poteau de signalisation
Distance en pieds du pont
Wharfs Station
Distance in feet from bridge

Indicates Seaway Mileage Signs and during distances in Statute Miles from the Port of Montreal. 0 Mile Point, Victoria Pier, Montreal Harbour, 1.20 miles northward from the Jacques-Cartier Bridge.

For the St. Lawrence Seaway Regulations and Circulars, special navigation rules, the Seaway Traffic Control and related information, refer to THE SEAWAY HANDBOOK, which may be obtained from Information Canada, Ottawa.

Minimum vertical clearance of structures and cables crossing the Seaway is 120 feet above high water.

LE SYSTÈME DE CONTRÔLE DE LA CIRCULATION DES NAVIRES DANS LA VOIE MARITIME DU SAINT-LAURENT
ST. LAWRENCE SEAWAY VESSEL TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Point d'appel numéroté pour le contrôle de la circulation ; la flèche indique la direction suivie par le navire.
Traffic Control calling-in point with number ; arrow indicates direction of vessel movement.

PORTS : CLAIRE, DORVAL 1911-1976
d'après le niveau moyen des eaux du Lac Saint-Louis (1959)
above the mean water level of Lake Saint-Louis (1959)

Niveau moyen mensuel de l'eau le plus élevé ——— Highest monthly mean water level
Niveau moyen mensuel de l'eau le plus bas ——— Lowest monthly mean water level

EDITIONS ANTÉRIEURES-PREVIOUS EDITIONS 1909 11 13 16 21 23 25 28 35 39 42 48 54 59 60 61 65 69
NOUVELLE EDITION / NEW EDITION APR. 28 1972
AVIS AUX NAVIGATEURS / NOTICES TO MARINERS 1972 24e / 1973 6d 6f

PUBLIÉE PAR LE SERVICE HYDROGRAPHIQUE DU CANADA
DIRECTION DES SCIENCES DE LA MER
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, OTTAWA
© Sa majesté la Reine du chef du Canada 1972

PUBLISHED BY THE CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE
MARINE SCIENCES BRANCH
DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, OTTAWA
©Her Majesty The Queen in Right of Canada 1972

Imprimée par la Direction des levés et de la cartographie, ministère des Énergie, des Mines et des Ressources.
Printed by Surveys and Mapping Branch, Department of Energy, Mines and Resources.

PRICE $1.00

1409

CANADA

ST. LAWRENCE SEAWAY

LA PRAIRIE BASIN

MONTRÉAL HARBOUR TO LAC SAINT-LOUIS

Compiled by the Canadian Hydrographic Service, 1958-59

Lachine a. Lat. 45° 26' 33"0 N., Long. 73° 40' 56"6 W.

Bearings refer to the True Compass and are given from Seaward (thus 295° etc.)

SOUNDINGS IN FEET

reduced to a chart datum which is the Seaway Canal datum the Upper Côte-Ste-Catherine Lock and the Upper St. Lambert Lock sill elevation 58·7 ft above the Canadian Geodetic datum, the Lower Côte-Ste-Catherine Lock and the Upper St. Lambert Lock based on elevation 56·7 ft above the C.G.D., gauge at the Upper St. Lambert Lock and below the Lower St. Lambert Lock based on elevation 55·7 ft above the C.G.D., gauge at the Lower St. Lambert Lock.

Water areas with depths of 30 feet and less are tinted blue,except in the seaway canals and channels, and in dredged areas.

Shoreline areas shown in a green tint are subject to drying or covering depending on the elevation of the water surface above chart datum.

Heights on land and underlined figures in geo-desired areas or in brackets against drying areas express heights in feet above the datum of soundings.

For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No. 1

Natural Scale 1 : 20,000

Projection : Polyconic

Hydrography for this chart has been compiled by the Canadian Hydrographic Service. Supplementary information has been supplied by the following agencies: The St. Lawrence Seaway Authority and The Department of Transport.

FATHOMS AND FEET TO METRES

FATHOMS / FEET	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2	4	7	9	11	13	15	18	20	22
METRES										
0	1·8	3·6	5·5	7·3	9·1	10·9	12·8	14·6	16·4	18·3
1	20·1	21·9	23·8	25·6	27·4	29·3	31·1	32·9	34·8	36·6
2	38·4	40·2	42·1	43·9	45·7	47·6	49·4	51·2	53·1	54·9
3	56·7	58·5	60·4	62·2	64·0	65·9	67·7	69·5	71·3	73·2
4	75·0	76·8	78·7	80·5	82·3	84·2	86·0	87·8	89·6	91·5
5	93·3	95·1	97·0	98·8	100·6	102·4	104·3	106·1	107·9	109·8

Information concerning Canadian Nautical Charts, Sailing Directions, Tide Tables and other Government publications of interest to navigators may be obtained from the Canadian Hydrographic, Canadian Hydrographic Service, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa.

Canadian Notices to Mariners published weekly, contain information required to keep charts, including amendments to Canadian Charts, Lists of Lights and Lists of Radio Aids, Sailing Directions, Tide Tables and Tidal Current Charts up to Date, Aids to Navigation, Department of Transport, Ottawa.

Indicates Seaway mileage signs showing distances in Statute Miles from mile 0 which is the intersection of the Seaway and Ship Channels in Montréal Harbour, 1·30 Miles northward from the Jacques Cartier Bridge.

Whistle Station
Distance in feet from bridge

For the St. Lawrence Seaway Regulations and Canplan, special equipment, radio frequencies used in Traffic Control and related information, refer to the THE SEAWAY HANDBOOK, which may be obtained from the Queen's Printer, Ottawa.

Traffic Control calling-in point with number; arrow indicates direction of vessel movement

LIMITING FACTORS GOVERNING THE TRANSIT OF VESSELS THROUGH THE ST. LAWRENCE SEAWAY LOCKS, CANALS AND CHANNELS BETWEEN MONTRÉAL AND LAKE ERIE.

THE IMPROVED CHANNELS AND CANALS IN THE DEEP WATERWAY BETWEEN THE PORT OF MONTREAL AND LAKE ERIE ARE DESIGNED FOR A CONTROLLING WATER DEPTH OF 27 FEET.

THE LOADED DRAUGHT AND SPEED OF VESSELS IN ANY PART OF THE DEEP WATERWAY SHALL BE CONTROLLED BY THE MASTER ACCORDING TO THE VESSEL'S INDIVIDUAL CHARACTERISTICS AND ITS TENDENCY TO LIST OR SQUAT, AND TO THE DEPTH OF WATER.

IN THE SEAWAY CANALS THE MAXIMUM PERMITTED DRAUGHT WILL BE CURRENTLY PRESCRIBED BY THE ST. LAWRENCE SEAWAY AUTHORITY AND THE ST. LAWRENCE SEAWAY DEVELOPMENT CORPORATION.

Maximum vessel length ..... 715 feet (on Restricted basis,730 feet).
Maximum vessel beam ..... 77 feet (on Restricted basis 75 feet).

Channel widths vary from a minimum of 180 feet between bridge abutments and 225 feet in canals flanked by two embankments, to 600 feet in ungrassed channels.
Minimum vertical overhead clearance of structures and cables crossing the Seaway is 120 feet above High water.

LOCK DATA

Lock	Normal Lift	Length, Bread Wall to Fender	Width of Chamber	Usable Length (Lock Gate Sills)	Usable Width (Lock Gate Sills)
St. Lambert (Montréal No.)	1	23 feet	766 feet	80 feet	670 feet	690 feet
Côte Ste. Catherine		33–35 feet	766 feet	80 feet	670 feet	690 feet
Lower Beauharnois		36–42 feet	766 feet	80 feet	1,044 feet	1,058 feet
Upper Beauharnois		36–40 feet	766 feet	80 feet	1,734 feet	1,778 feet
Snell		45–48 feet	766 feet	80 feet	1,628 feet	885 feet
Eisenhower		38–42 feet	766 feet	80 feet	885 feet	885 feet
Iroquois		526–0·5 feet	766 feet	80 feet	804 feet	2,287 feet
		Minimum depth on Lock Gate Sills is 30 feet				

CAUTION: AIDS TO NAVIGATION

Buoys marking a narrow or dredged channel are normally established on the edge of the channel. Light structures established to mark the main channel may be located in shoal water some distance back of the channel edge. Mariners are requested to refer to Light Lists and Notice to Mariners for distances that each permanent aid is located from the channel edge.

SPEED NOTICE
Speed limit 7 miles per hour OVER THE BOTTOM in the Lachine Canal.

Scale of Latitude and Distance
Cables
Sea Miles
Scale of Statute Miles
Scale of Feet
Scale of Metres

Adjoining Chart 1340

FIG NO. A-6

JETÉE # 1 LIMNOGRAPHE # 15520

ST-LAMBERT AVAL LIMNOGRAPHE # 15507

LACHINE LIMNOGRAPHE # 15390

LA PRAIRIE LIMNOGRAPHE # 15470

CÔTE STE-CATHERINE LIMNOGRAPHE # 15450

NOTE
The Canal de Lachine is closed to navigation.

Detail in this area is shown at a larger scale on Chart 1340, Montréal Harbour

(1410)

Adjoining Chart 1430

I.R. NO. 14

Longitude 73° 36' West from Greenwich

PREVIOUS EDITIONS 1959 1960
NEW EDITION JUNE 2 1967
CORRECTIONS FROM CANADIAN NOTICES TO MARINERS TO: 1966 43 1967 37 1969 39 1971 78 1972 643 646

PUBLISHED BY THE CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE
MARINE SCIENCES BRANCH
DEPARTMENT OF ENERGY, MINES AND RESOURCES, OTTAWA

PRICE $1.00

1340

Adjoining Chart 1352

Scale of Latitude and Distance

Scale of Feet

Scale of Metres

DISTANCES OF PLACES BETWEEN MONTRÉAL AND QUÉBEC

Nautical Miles (Read Up)	Statute Miles	PLACE	Statute Miles	Nautical Miles (Read Down)
136.5	157.3	Origin of Seaway Mileage (Mile 0)	0.0	0.0
133.5	153.8	Longue-Pointe	3.5	3.0
125.0	144.0	Cap St-Michel	13.3	11.5
113.3	130.6	Contrecoeur Church	26.7	23.2
99.7	114.9	Sorel	42.4	36.8
93.9	108.2	Ile des Barques (Low Light)	49.1	42.6
82.8	95.4	Middle of Yamachiche Bend, Lac Saint-Pierre	61.9	53.7
73.4	84.6	Port-St-François Wharf	72.7	63.1
68.4	78.8	Trois-Rivières	78.5	68.1
57.8	66.6	Champlain Church	90.7	78.7
51.1	58.9	Batiscan Wharf (Quai)	98.4	85.4
40.8	47.0	St-Charles-des-Grondines	110.3	95.7
34.5	39.8	Rapides Richelieu, opposite Low Light	117.5	102.0
28.4	32.7	Cap-Santé Church	124.6	108.1
23.9	27.5	Les Ecureuils Church	129.7	112.6
12.8	14.8	Pointe St-Nicolas	142.5	123.7
5.8	6.7	Québec Bridge	150.6	130.7
0.0	0.0	Québec, Customs House	157.3	136.5

Information concerning Canadian Nautical Charts, Sailing Directions, Tide Tables and other Government publications of interest to mariners may be obtained on request to the Dominion Hydrographer, Canadian Hydrographic Service, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa.

Canadian "Notices to Mariners" published weekly, contain important navigational information including amendments to Canadian Charts, Sailing Directions, Lists of Lights and Lists of Radio Aids. These "Notices" may be obtained free on request to the Chief, Aids to Navigation, Department of Transport, Ottawa.

FATHOMS AND FEET TO METRES

FATHOMS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FEET	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
FEET	METRES									
	1.8	3.6	5.5	7.3	9.1	10.9	12.8	14.6	16.4	18.3
1	0.3	2.1	3.9	5.8	7.6	9.4	11.3	13.1	14.9	16.7	18.6
2	0.6	2.4	4.2	6.1	7.9	9.7	11.6	13.4	15.2	17.0	18.9
3	0.9	2.7	4.5	6.4	8.2	10.0	11.9	13.7	15.5	17.3	19.2
4	1.2	3.0	4.9	6.7	8.5	10.3	12.2	14.0	15.8	17.7	19.5
5	1.5	3.3	5.2	7.0	8.8	10.6	12.5	14.3	16.1	18.0	19.8

LONGUE POINTE LIMNOGRAPHE # 15590

FRONTENAC LIMNOGRAPHE # 15540

JETÉE # 1 LIMNOGRAPHE # 15520

ST-LAMBERT AVAL LIMNOGRAPHE # 15507

Variation 11°30' W (1970) — nearly stationary

Variation 15°15' W (1970) — nearly stationary

ST. LAWRENCE RIVER MARINE TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Traffic Control reporting point with number; arrow indicates direction of vessel movement.
For additional information concerning this system, see Notice to Mariners No. 25 of each year.

ST. LAWRENCE SEAWAY VESSEL TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Traffic Control calling-in point with number; arrow indicates direction of vessel movement.

For the St. Lawrence Seaway Regulations and Circulars, special equipment, radio frequencies used in Traffic Control and related information, refer to the THE SEAWAY HANDBOOK, which may be obtained from the Queen's Printer, Ottawa.

Berth Numbers ..... (21)

The Small Craft Channel is for vessels with a draft of up to 6 feet.

LIMITING FACTORS GOVERNING THE TRANSIT OF VESSELS THROUGH THE ST. LAWRENCE SEAWAY LOCKS, CANALS AND CHANNELS BETWEEN MONTRÉAL AND LAKE ERIE

THE IMPROVED CHANNELS AND CANALS IN THE DEEP WATERWAY BETWEEN THE PORT OF MONTRÉAL AND LAKE ERIE ARE DESIGNED FOR A CONTROLLING WATER DEPTH OF 27 FEET.
THE LOADED DRAUGHT AND SPEED OF VESSELS IN ANY PART OF THE DEEP WATERWAY SHALL BE CONTROLLED BY THE MASTER ACCORDING TO THE VESSEL'S INDIVIDUAL CHARACTERISTICS AND ITS TENDENCY TO LIST OR SQUAT, SO AS NOT TO STRIKE BOTTOM.
IN THE SEAWAY CANALS THE MAXIMUM PERMITTED DRAUGHT WILL BE CURRENTLY PRESCRIBED BY THE ST. LAWRENCE SEAWAY AUTHORITY AND THE ST. LAWRENCE SEAWAY DEVELOPMENT CORPORATION.

Maximum vessel length ..... 730 feet
Maximum vessel beam ..... 75 feet 6 inches (including permanent fenders)

Channel widths vary from a minimum of 180 feet between bridge abutments and 225 feet in canals flanked by two embankments, to 600 feet in improved channels.
Minimum vertical overhead clearance of structures and cables crossing the Seaway is 120 feet above High water.

LOCK DATA

Lock	Normal Lift	Usable Length	Width of Chamber	Usable Length Lower Ent.	Usable Length Upper Ent.
St-Lambert (Montréal Hr.)	13-20 feet	730 feet	80 feet	2144 feet	1496 feet
Côte Ste-Catherine	33-35 feet	730 feet	80 feet	737 feet	730 feet
Beauharnois	38-42 feet	730 feet	80 feet	1244 feet	1633 feet
Matuchewille	36-40 feet	730 feet	80 feet	1833 feet	1778 feet
Snell	45-49 feet	730 feet	80 feet	1629 feet	885 feet
Eisenhower	38-42 feet	730 feet	80 feet	885 feet	1278 feet
Iroquois	0-5-6-0 feet	730 feet	80 feet	789 feet	2250 feet
Minimum depth on Lock Gate Sills is 30 feet					

② Indicates Seaway mileage signs showing distances in Statute Miles from Mile zero ⓪ which is the intersection of the Seaway and Ship Channels in Montréal Harbour, 1-30 miles northward from the Jacques-Cartier Bridge.

SPEED NOTE
Speed limit 7 miles per hour OVER THE BOTTOM in the South Shore Canal.

CANADA

ST. LAWRENCE SEAWAY

MONTRÉAL HARBOUR

Surveyed by the Canadian Hydrographic Service, 1938-39, 1966

McGill East Transit Pier: Lat. 45° 30' 18"71 N., Long. 73° 34' 42"91 W.

Bearings refer to the True Compass and are given from Seaward (thus 295° etc.)

SOUNDINGS IN FEET

reduced to a chart datum based on elevation 18·0 feet, or 5·5 metres, at the C.H.S. gauge at King Edward Pier, on elevation 17·3 feet, or 5·3 metres, at the C.H.S. gauge at Frontenac Street and on elevation 16·9 feet, or 5·2 metres, at the C.H.S. gauge at Longue-Pointe.

Water areas with depths of 30 feet and less are tinted blue except in the seaway canals and channels, and in dredged areas

Shoreline areas shown in a green tint are subject to drying or covering depending on the elevation of the water surface above chart datum

Heights on land and underlined figures in green-tinted areas or in brackets against drying areas express heights in feet above the datum of soundings

For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No. 1

Natural Scale 1 : 12,000

Projection : Polyconic

Scale of Latitude and Distance

Scale of Feet

Scale of Metres

MONTRÉAL HARBOUR, KING EDWARD PIER (1918-1967) referred to International Great Lakes Datum (1955)

Chart datum is 14·0 feet, or 4·3 metres, above M.W.L. at Point-aux-Pins (Father Point) P.Q.

Highest monthly mean water level
Average monthly mean water level
Lowest monthly mean water level

FIG NO. A-7

Longitude 73°32' West from Greenwich — Adjoining Chart 1409

PREVIOUS EDITIONS 1908 '10 '11 '14 '21 '24 '29 '34 '38 '40 '44 '50 '52 '55 '58 '60 '61 '63 '65 '67 '69
NEW EDITION SEPT. 4 1970
CORRECTIONS FROM CANADIAN NOTICES TO MARINERS TO: 1971 477 687 556 1972 566 643

PUBLISHED BY THE CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE
MARINE SCIENCES BRANCH
DEPARTMENT OF ENERGY, MINES AND RESOURCES, OTTAWA
© Her Majesty The Queen in Right of Canada 1970

St. Lawrence Seaway
MONTRÉAL HARBOUR
1340

PRICE $1.00

(1339)

1540

Adjoining Chart 1511

FIG NO. A-8

CARILLON
LIMNOGRAPHE # 16032

MAXIMUM VESSEL DIMENSIONS
Length ..... 170 feet
Width ..... 42 feet
Draft ..... limited by depth
Only feet over Lock 9 are
Limiting depth of canal 9 feet.

STE-ANNE DE BELLEVUE
LIMNOGRAPHE # 16005

CANADA

QUÉBEC

OTTAWA RIVER

LAC SAINT-LOUIS TO CARILLON

Compiled from latest information

Bearings refer to the True Compass and are given from Seaward (thus 295° etc.)

SOUNDINGS IN FEET
reduced to a chart datum based on elevation 66·5 feet at the Canadian Hydrographic Service gauge at Pointe Claire and on elevation 68·5 feet at the Canadian Hydrographic Service gauge at Ste Anne de Bellevue.

Water areas with depths of 18 feet and less are tinted blue except in dredged areas

Heights are expressed in feet above the datum of soundings

For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No 1

Natural Scale 1 : 48,000

Projection : Polyconic

Scale of Statute Miles

Scale of Feet

Scale of Metres

POINTE CLAIRE, QUÉBEC 1914-1967
referred to International Great Lakes Datum (1955)

FEET	Jan	Feb	Mar	April	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
6												
5												
4												
3												
2												
1												
0												
-1												

Chart Datum is 69·5 feet above M.W.L. at Father Point P.Q.

Highest monthly mean water level
Average monthly mean water level
Lowest monthly mean water level

STE-ANNE DE BELLEVUE, QUÉBEC 1920-1967
referred to International Great Lakes Datum (1955)

FEET	Jan	Feb	Mar	April	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
10												
9												
8												
7												
6												
5												
4												
3												
2												
1												
0												

Chart Datum is 69·5 feet above M.W.L. at Father Point P.Q.

Highest monthly mean water level
Average monthly mean water level
Lowest monthly mean water level

FATHOMS AND FEET TO METRES

FATHOMS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FEET	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
METRES										
0	1·8	3·6	5·5	7·3	9·1	10·9	12·8	14·6	16·4	18·3
1	2·1	3·9	5·8	7·6	9·4	11·3	13·1	14·9	16·7	18·6
2	2·4	4·2	6·1	7·9	9·7	11·6	13·4	15·2	17·0	18·9
3	2·7	4·6	6·4	8·2	10·0	11·9	13·7	15·5	17·3	19·2
4	3·0	4·9	6·7	8·5	10·3	12·2	14·0	15·8	17·7	19·5
5	3·3	5·2	7·0	8·8	10·6	12·5	14·3	16·1	18·0	19·8

Information concerning Canadian Nautical Charts, Sailing Directions, Tide Tables and other Government publications of interest to mariners may be obtained on request to the Dominion Hydrographic Service, Canadian Hydrographic Service, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa.

Canadian "Notices to Mariners" published weekly, contain important navigational information including amendments to Canadian Charts, Lists of Lights and Lists of Radio Aids. These "Notices" may be obtained free on request to the Chief, Aids to Navigation, Department of Transport, Ottawa.

PREVIOUS EDITIONS 1957 1963
NEW EDITION JULY 25 1969
CORRECTIONS FROM CANADIAN NOTICES TO MARINERS TO

The information contained on this chart has been corrected from Notices to Mariners to the date of publication only. For subsequent corrections consult the Notices to Mariners.

PUBLISHED BY THE CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE
MARINE SCIENCES BRANCH
DEPARTMENT OF ENERGY, MINES AND RESOURCES, OTTAWA

Longitude 74° 00' West from Greenwich

Adjoining Chart 1411

Adjoining Chart 1410

Ottawa River
LAC SAINT-LOUIS TO CARILLON

1540

PRICE $1.00

(1339)

1540

Adjoining Chart 1511

CARILLON LIMNOGRAPHE # 16032

MAXIMUM VESSEL DIMENSIONS
Length ..... 170 feet
Width ..... 42 feet
Draught ..... limited by depth of 9 feet over Lock Sills
Limiting depth of canal 9 feet

FIG NO. A-8

Scale of Statute Miles
Scale of Feet
Scale of Metres

CANADA

QUÉBEC

OTTAWA RIVER

LAC SAINT-LOUIS TO CARILLON

Compiled from latest information

Bearings refer to the True Compass and are given from Seaward (thus 295° etc.)

SOUNDINGS IN FEET
reduced to a chart datum based on elevation 66·5 feet at the Canadian Hydrographic Service gauge at Pointe Claire and on elevation 68·5 feet at the Canadian Hydrographic Service gauge at Ste Anne de Bellevue.

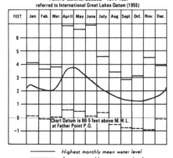
Water areas with depths of 18 feet and less are tinted blue except in dredged areas
Heights are expressed in feet above the datum of soundings
For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No 1

Natural Scale 1 : 48,000

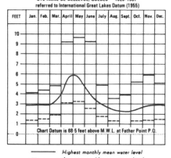
Projection : Polyconic

Scale of Statute Miles
Scale of Feet
Scale of Metres

POINTE CLAIRE, QUÉBEC 1974-1987
referred to International Great Lakes Datum (1955)



STE-ANNE-DE-BELLEVUE, QUÉBEC 1935-1987
referred to International Great Lakes Datum (1955)



FATHOMS AND FEET TO METRES

FATHOMS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FEET	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
METRES										
0	1·8	3·6	5·5	7·3	9·1	10·9	12·8	14·6	16·4	18·3
1	0·3	2·1	3·9	5·8	7·6	9·4	11·3	13·1	14·9	16·7	18·6
2	0·6	2·4	4·2	6·1	7·9	9·7	11·6	13·4	15·2	17·0	18·9
3	0·9	2·7	4·5	6·4	8·2	10·0	11·9	13·7	15·5	17·3	19·2
4	1·2	3·0	4·9	6·7	8·5	10·3	12·2	14·0	15·8	17·7	19·5
5	1·5	3·3	5·2	7·0	8·8	10·6	12·5	14·3	16·1	18·0	19·8

Information concerning Canadian Nautical Charts, Sailing Directions, Tide Tables and other Government publications of interest to mariners may be obtained on request to the Dominion Hydrographer, Canadian Hydrographic Service, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa.

Canadian "Notices to Mariners" published weekly, contain important navigational information including amendments to Canadian Charts, Lists of Lights and Lists of Radio Aids. These "Notices" may be obtained free on request to the Chief, Aids to Navigation, Department of Transport, Ottawa.

Longitude 74°00' West from Greenwich

Adjoining Chart 1411

Adjoining Chart 1410

PREVIOUS EDITIONS 1957 1963
NEW EDITION JULY 25 1969
CORRECTIONS FROM CANADIAN NOTICES TO MARINERS TO

The information contained on this chart has been corrected from Notices to Mariners to the date of publication only. For subsequent corrections consult the Notices to Mariners.

PUBLISHED BY THE CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE
MARINE SCIENCES BRANCH
DEPARTMENT OF ENERGY, MINES AND RESOURCES, OTTAWA

Ottawa River
LAC SAINT-LOUIS TO CARILLON

1540

$1.00

DISTANCES DES LOCALITÉS ENTRE MONTRÉAL ET QUÉBEC
DISTANCES OF PLACES BETWEEN MONTRÉAL AND QUÉBEC

Milles marins Montréal Miles	Milles terrestres Statute Miles	LOCALITÉ PLACE	Milles terrestres Statute Miles	Milles marins Montréal Miles
138·6	167·3	Origine du millage de la Voie Maritime, Montréal (Mille 0) ... Origin of Seaway Mileage (Montréal (Mile 0)	0·0	0·0
132·6	162·0	Longue-Pointe	3·6	3·0
126·0	144·0	Cap St-Michel	13·3	11·5
113·3	136·6	Contrecoeur (Eglise/Church)	28·7	23·2
99·7	114·9	Sorel	42·4	36·6
83·9	108·2	Ile des Barques (Feu/Light)	49·1	42·6
80·8	96·4	Lac St. Pierre (Au milieu de la courbe de Yamachiche/ Middle of Yamachiche Bend)	61·8	53·7
72·4	84·8	Pont St-François (Quai/Wharf)	72·7	63·1
66·4	79·6	Trois-Rivières	78·5	68·1
57·6	68·6	Champlain (Eglise/Church)	90·7	78·7
51·1	59·9	Batiscan (Quai/Wharf)	98·4	85·4
40·8	47·0	St-Charles-des-Grondines	110·3	95·7
34·5	38·9	Rapides Richelieu	117·6	102·0
28·4	32·7	Cap-Santé (Eglise/Church)	124·8	108·1
22·9	27·6	Les Ecureuils (Eglise/Church)	129·7	112·6
12·8	14·5	Pointe St-Nicolas	142·6	123·7
5·8	6·7	Québec (Pont/Bridge)	160·6	139·1
0·0	0·0	Québec (Bureau des douanes/Customs House)	167·3	139·6

SIGNES CONVENTIONNELS ET ABRÉVIATIONS
SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

Feux rouges	R Lts	Red Lights
Privé	(Priv)	Private
Quai public	Public	Public Wharf
Flèche d'église	Sp	Church Spire
Niveau moyen de l'eau	M.W.L.	Mean Water Level
Quai	Whf	Wharf
Hauteur libre	(26)	Vertical Clearance
Limite d'une zone de câbles sous-marins		Limit of Submarine Cable Zone
Caisson submergé	(Sub R Tr) Caisson Crib	Submerged Crib
Bôme	Boom	Boom
Zone de bômes	Boom Grid	Booming Ground
Estacade à glace	Anchor Anchor	Ice Boom
Mouillage interdit	Vessel Under Anchor Prohibited Anchor	Prohibited Anchorage

Pour la liste complète des signes conventionnels et abréviations, consulter la carte no. 1
For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No. 1

CHENAL POUR PETITES EMBARCATIONS

Les bateaux suivent le chenal pour les petites embarcations doivent traverser le chenal principal entre les bouées marquées "129M" et "Varennes"

Le chenal pour les petites embarcations entre Varennes et Boucherville a une profondeur limitée à 6 pieds.

La hauteur libre du pont à l'Ile Charron 6·5 milles en amont

SMALL-CRAFT CHANNEL

Boats following the small-craft channel must cross the main channel between buoys marked "129M" and "Varennes"

The small-craft channel between Varennes and Boucherville has a limiting depth of 6 feet.

The overhead clearance of the bridge at Ile Charron 6·5 miles upstream is 25 feet.

LE SYSTÈME DE CONTRÔLE DE LA CIRCULATION MARITIME DU FLEUVE SAINT-LAURENT.
ST. LAWRENCE RIVER MARINE TRAFFIC CONTROL SYSTEM.

Point de signalement numéroté; la flèche indique la direction du mouvement du navire.
Pour de plus amples renseignements concernant ce système, consulter l'Avis aux navigateurs no. 25 de chaque année.

Traffic Control reporting point with number; arrow indicates direction of vessel movement.
For additional information concerning this system, see Notice to Mariners No. 25 of each year.

BRASSES 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 FATHOMS
PIEDS 6 12 18 24 30 36 42 48 54 60 66 72 78 84 90 96 102 FEET
MÈTRES 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 METRES

LAVALTRIE
LIMNOGRAPHE # 15793

CONTRECOEUR
LIMNOGRAPHE # 15790

VERCHERES
LIMNOGRAPHE # 15720

REPENTIGNY
LIMNOGRAPHE # 15668

VARENNES
LIMNOGRAPHE # 15660

POINTE-AUX-TREMBLES
LIMNOGRAPHE # 15630

Déclinaison - Variation 15°45'W (1971) diminue de 1' par année decreasing 1' annually

Déclinaison - Variation 15°30'W (1971) diminue de 1' par année decreasing 1' annually

VERCHERES, QUÉBEC 1960 - 1969
d'après le Plan de Référence International des Grands Lacs (1955)
referred to International Great Lakes Datum (1955)

Pieds Jan. Fév. Mar. Avril Mai Juin Juil. Août Sept. Oct. Nov. Déc. Mètres
Feet Jan. Feb. Mar. April May June July Aug. Sept. Oct. Nov. Dec. Metres

La cote des cartes est 14·4 pieds (4·4 mètres) au-dessus du M.W.L. à Pointe-au-Père
Chart Datum is 14·4 feet (4·4 metres) above M.W.L. at Pointe-au-Père

Niveau moyen mensuel de l'eau la plus élevée — Highest monthly mean water level
Niveau moyen mensuel de l'eau moyenne — Average monthly mean water level
Niveau moyen mensuel de l'eau la plus basse - - - Lowest monthly mean water level

VARENNES, QUÉBEC 1960 - 1969
d'après le Plan de Référence International des Grands Lacs (1955)
referred to International Great Lakes Datum (1955)

Pieds Jan. Fév. Mar. Avril Mai Juin Juil. Août Sept. Oct. Nov. Déc. Mètres
Feet Jan. Feb. Mar. April May June July Aug. Sept. Oct. Nov. Dec. Metres

La cote des cartes est 15·7 pieds (4·8 mètres) au-dessus du M.W.L. à Pointe-au-Père
Chart Datum is 15·7 feet (4·8 metres) above M.W.L. at Pointe-au-Père

Niveau moyen mensuel de l'eau la plus élevée — Highest monthly mean water level
Niveau moyen mensuel de l'eau moyenne — Average monthly mean water level
Niveau moyen mensuel de l'eau la plus basse - - - Lowest monthly mean water level

CANADA

FLEUVE SAINT-LAURENT

LAVALTRIE À/TO LONGUE-POINTE

Levé par le Service hydrographique du Canada, 1946-48, 1966

Surveyed by the Canadian Hydrographic Service, 1946-48, 1966

Lavaltrie N E Sp. : Lat. 45° 53'04"·08N., Long. 73° 16'41"·35W.

PROFONDEURS EN PIEDS

réduites au zéro des cartes basé sur la hauteur 13·7 pieds (4·2 mètres) à la station de jaugeage du Service hydrographique du Canada à Lavaltrie, sur la hauteur 13·9 pieds (4·2 mètres) à la station de jaugeage du S.H.C. à Contrecoeur, sur la hauteur 14·4 pieds (4·4 mètres) à la station de jaugeage du S.H.C. à Verchères, sur la hauteur 15·7 pieds (4·8 mètres) à la station de jaugeage du S.H.C. à Repentigny, sur la hauteur 15·7 pieds (4·8 mètres) à la station de jaugeage du S.H.C. à Varennes, et sur la hauteur 16·9 pieds (5·2 mètres) à la station de jaugeage du S.H.C. à Pointe aux Trembles et sur la hauteur 16·9 pieds (5·2 mètres) à la station de jaugeage du S.H.C. à Longue - Pointe

DEPTHS IN FEET

reduced to chart datum based on elevation 13·7 feet (4·2 metres) at the Canadian Hydrographic Service gauge at Lavaltrie, on elevation 13·9 feet (4·2 metres) at the C.H.S. gauge at Contrecoeur, on elevation 14·4 feet (4·4 metres) at the C.H.S. gauge at Verchères, on elevation 15·7 feet (4·8 metres) at the C.H.S. gauge at Repentigny, on elevation 15·7 feet (4·8 metres) at the C.H.S. gauge at Varennes, on elevation 16·3 feet (5·0 metres) at the C.H.S. gauge at Pointe - aux - Trembles and on elevation 16·9 feet (5·2 metres) at the C.H.S. gauge at Longue - Pointe

Les hauteurs sont exprimées en pieds au-dessus du niveau de réference des sondes

Heights are expressed in feet above the datum of soundings

Les hauteurs libres des structures et des câbles aériens traversant le Chenal maritime sont exprimées en pieds au-dessus des hautes eaux

Vertical clearances of structures and cables crossing the Ship Channel are expressed in feet above High Water

Échelle 1:36,000 Scale

Transverse de Mercator : Projection : Transverse Mercator

On peut obtenir des renseignements concernant les cartes marines du Canada, les instructions nautiques, les tables de marées et autres publications du gouvernement à l'intention des navigateurs en s'adressant à l'Hydrographe fédéral, Service hydrographique du Canada, ministère de l'Environnement, Ottawa.

L'édition canadienne des "Avis aux navigateurs" publiée chaque semaine, renferme des renseignements importants pour la navigation, y compris les modifications aux cartes marines canadiennes, aux instructions nautiques, à la nomenclature des feux et des aides radio. On peut obtenir ces "Avis" gratuitement sur demande en s'adressant au Chef, Aides à la navigation, ministère des Transports, Ottawa.

Information concerning Canadian Nautical Charts, Sailing Directions, Tide Tables and other Government publications of interest to mariners may be obtained on request to the Dominion Hydrographer, Canadian Hydrographic Service, Department of the Environment, Ottawa.

Canadian "Notices to Mariners" published weekly, contain important navigational information including amendments to Canadian charts, Sailing Directions, Lists of Lights, and Lists of Radio Aids. These "Notices" may be obtained free on request to the Chief, Aids to Navigation, Ministry of Transport, Ottawa.

FIG NO. A-10

Fleuve Saint-Laurent
LAVALTRIE À/TO LONGUE-POINTE

ÉDITIONS ANTÉRIEURES/ PREVIOUS EDITIONS 1949 '51 '59 '61 '65 '67 '69
NOUVELLE ÉDITION/ NEW EDITION AUG. 6 1971
AVIS AUX NAVIGATEURS/ NOTICES TO MARINERS 1971 /206

Imprimée par la Direction des levés et de la cartographie, ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources.

PUBLIÉE PAR LE SERVICE HYDROGRAPHIQUE DU CANADA
DIRECTION DES SCIENCES DE LA MER
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, OTTAWA
© Sa majesté la Reine du chef du Canada 1971
PUBLISHED BY THE CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE
MARINE SCIENCES BRANCH
DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, OTTAWA
© Her Majesty The Queen in Right of Canada 1971

Printed by Surveys and Mapping Branch, Department of Energy, Mines and Resources

$1.00

1338

CANADA

FLEUVE SAINT-LAURENT

LAC SAINT-PIERRE
À / TO
LAVALTRIE

Levé par S.R. Titus, assisté de J.E.V. Goodwill, 1944-45

Surveyed by S.R. Titus, assisted by J.E.V. Goodwill, 1944-45

Lavaltrie, NE Sp : Lat 45° 53' 04"08 N., Long. 73° 16' 41"35 W.

PROFONDEURS EN PIEDS

Réduites au zéro des cartes basé sur la hauteur 12.2 pieds (3.7 mètres) à la station de jaugeage d'un canal hydrographique du Service hydrographique du Canada à Sorel, et sur la hauteur 12.7 pieds (3.9 mètres) à la station de jaugeage du C.N.-C. à Lanaudière

Les hauteurs sont exprimées en pieds au-dessus du niveau de référence des sondes

DEPTHS IN FEET

reduced to a chart datum based on elevation 12.2 feet (3.7 metres) at the Canadian Hydrographic Service gauge at Sorel, on elevation 12.9 feet (3.7 metres) at the C.N.R. gauge at Lanoraie and on elevation 13.7 feet (4.2 metres) at the C.N.R. gauge at Lavaltrie

Heights are expressed in feet above the datum of soundings

Échelle 1:36,000 Scale

Mercator Transversale : Projection : Transverse Mercator

SOREL, QUÉBEC 1912-1969
d'après le Plan de Référence International des Grands Lacs (1955)
referred to International Great Lakes Datum (1955)

Pieds Jan. Fév. Mars Avril Mai Juin Juil. Août Sept. Oct. Nov. Déc. — Mètres

Le zéro des cartes est 17.2 pieds (5.2 mètres) au-dessous du M.W.L. à Pointe-au-Père.
Chart datum is 17.2 feet (5.2 metres) below M.W.L. at Pointe-au-Père.

Niveau moyen mensuel de l'eau la plus élevée ____ Highest monthly mean water level
Niveau moyen mensuel de l'eau Moyenne ____ Average monthly mean water level
Niveau moyen mensuel de l'eau la plus basse ____ Lowest monthly mean water level

DISTANCES DES LOCALITÉS ENTRE MONTRÉAL ET QUÉBEC
DISTANCES OF PLACES BETWEEN MONTRÉAL AND QUÉBEC

Milles Marins Nautical Miles	Milles Terrestres Statute Miles	LOCALITÉ PLACE	Milles Terrestres Statute Miles	Milles Marins Nautical Miles
136 5	157 3	Origine du millage de la Voie Maritime, Montréal (Mille 0)	0 0	0 0
		Origin of Seaway Mileage , Montréal (Mile 0)		
133 5	153 8	Longue Pointe	3 5	3 0
129 0	144 0	Cap St Michèle	13 3	11 5
113 3	130 6	Contrecoeur (Eglise/Church)	26 7	23 2
97 0	112 0	Sorel	45 0	39 1
93 0	106 2	Iles des Barques (Feu/Light)	49 1	42 6
82 6	95 4	Lac St-Pierre (Au milieu de la courbe de Yamachiche) Middle of Yamachiche Bend)	61 0	53 0
73 4	84 6	Port St-François (Quai/Wharf)	72 7	63 1
68 4	78 8	Trois-Rivières	78 5	68 1
57 8	66 6	Champlain (Eglise/Church)	90 7	78 7
51 1	58 9	Batiscan (Quai/Wharf)	99 4	86 4
40 8	47 0	St-Charles-des-Grondines	110 3	95 7
34 5	39 8	Rapides Richelieu	117 5	102 0
28 1	32 4	Cap-Santé (Eglise/Church)	125 2	108 7
23 9	27 6	Pointe-aux-Trembles (Eglise/Church)	129 7	112 6
12 8	14 8	Pointe St-Charles	142 5	123 7
5 8	6 7	Québec (Pont/Bridge)	150 4	130 7
0 0	0 0	Québec (Bureau des douanes/Customs House)	157 3	136 5

On peut obtenir des renseignements concernant les cartes marines du Canada, les instructions nautiques, les tables de marées et autres publications du gouvernement à l'intention des navigateurs en s'adressant à l'Hydrographe fédéral, Service hydrographique du Canada, ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources, Ottawa.

L'édition canadienne des "Avis aux navigateurs" publiée chaque semaine, renferme des renseignements importants pour la navigation, y compris des amendements aux cartes marines canadiennes, aux instructions nautiques, à la nomenclature des feux et des aides radio. On peut obtenir ces "Avis" gratuitement sur demande en s'adressant au Chef, Aides à la navigation, ministère des Transports, Ottawa.

Information concerning Canadian Nautical Charts, Sailing Directions, Tide Tables and other Government publications of interest to mariners may be obtained on request to the Hydrographer, Canadian Hydrographic Service, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa.

Canadian "Notices to Mariners" published weekly, contain important navigational information including amendments to Canadian charts, Sailing Directions, Lists of Lights, and Lists of Radio Aids. These "Notices" may be obtained free on request to the Chief, Aids to Navigation, Ministry of Transport, Ottawa.

LE SYSTÈME DE CONTRÔLE DE LA CIRCULATION MARITIME DU FLEUVE SAINT-LAURENT
ST. LAWRENCE RIVER MARINE TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Point de signalement numéroté, la flèche indique la direction du mouvement du navire.
Pour de plus amples renseignements concernant ce système, consulter l'Avis aux navigateurs no. 25 de chaque année.

Traffic Control reporting point with number, arrow indicates direction of vessel movement.
For additional information concerning this system, see Notice to Mariners No. 25 of each year.

SIGNES CONVENTIONNELS ET ABRÉVIATIONS
SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

Feux rouges	R Lts	Red Lights
Privé	(Priv)	Private
Quai public	Public	Public Wharf
Flèche d'église	Sp	Church Spire
Niveau moyen de l'eau	M W L	Mean Water Level
Quai	Whf	Wharf
Hauteur libre	28ft	Vertical Clearance
Limite d'une zone de câbles sous-marins		Limit of Submarine Cable Zone
Caisson submergé	(Subm'g Caisson Crib)	Submerged Crib
Bôme	Bm	Boom
Zone de bômes	Bm Grd	Booming Ground
Estacade à glace	Anchrs Anchors	Ice Boom
Mouillage interdit	Prohib Anch	Prohibited Anchorage

Pour la liste complète des signes conventionnels et abréviations, consulter la carte no. 1
For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No. 1

BRASSES 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 FATHOMS
PIEDS 6 12 18 24 30 36 42 48 54 60 66 72 78 84 90 96 102 FEET
MÈTRES 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 METRES

NOTE

Les profondeurs inscrites dans les chenaux sont rapportées comme étant les suivantes:

Sorel à l'écluse de Sorel - Ouest	12 pieds
L'écluse de Sorel - Ouest au Canal de Chambly	12 pieds
Canal de Chambly	6 ½ pieds
Canal de Chambly (Saint Jean) au Lac Champlain	9 pieds

Les zones dangereuses du chenal sont marquées par des bouées et des alignements (voir les cartes 1325 et 1326

The limiting depths in the channels are reported to be as follows:

Sorel to Sorel Ouest Lock	12 feet
Sorel Ouest Lock to Canal de Chambly	12 feet
Canal de Chambly	6 ½ feet
Canal de Chambly (Saint Jean) to Lake Champlain	9 feet

Critical areas of the channel are marked by buoys and ranges
See Charts 1325 and 1326

SOREL LIMNOGRAPHE # 15930

LANORAIE LIMNOGRAPHE # 15860

CONTRECOEUR LIMNOGRAPHE # 15790

MAGNETIC NORTH — Variation 16° 15' W (1971) Decreasing 1' annually

MAGNETIC NORTH — Variation 16° 00' W (1971) Decreasing 1' annually

PORT DE SOREL

Échelle 1:12,000 Scale

MAGNETIC NORTH — Variation 16° 00' W (1971) Decreasing 1' annually

FIG NO. A-11

ÉDITIONS ANTÉRIEURES/PREVIOUS EDITIONS 1947 52 56 58 60 63
NOUVELLE ÉDITION/NEW EDITION MAR. 25 1971
AVIS AUX NAVIGATEURS / NOTICES TO MARINERS 1971 487 50 762 88 892 1138 1972 184 38 425 426 679 534 535

PUBLICATION DU SERVICE HYDROGRAPHIQUE DU CANADA
DIRECTION DES SCIENCES DE LA MER
MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE, DES MINES ET DES RESSOURCES
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada 1971

PUBLISHED BY THE CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE
MARINE SCIENCES BRANCH
DEPARTMENT OF ENERGY, MINES AND RESOURCES, OTTAWA
© Her Majesty The Queen in Right of Canada 1971

Fleuve Saint-Laurent
LAC SAINT-PIERRE À/TO LAVALTRIE

1338

FIG NO. A-12

LOUISEVILLE, QUÉBEC 1961-1990
d'après le Plan de Référence International des Grands Lacs (1955)
référent le International Great Lakes Datum (1955)

Pieds Feet	Jan	Fév Feb	Mar	Avril Apr	Mai May	Juin Jun	Juil Jul	Août Aug	Sept Sep	Oct	Nov	Déc Dec	Mètres Metres
6													1.8
5													1.5
4													1.2
3													0.9
2													0.6
1													0.3
0													0.0

La glace fera cortes sur 11.1 pieds (3.4 mètres) au dessus du N.M.E. à Pointe au Pins
Ice jams to 11.1 feet (3.4 metres) above M.W.L. at Pointe au Pins

Niveau moyen mensuel de l'eau le plus élevé ——— Highest monthly mean water level
Niveau moyen mensuel de l'eau le plus bas ——— Lowest monthly mean water level

DISTANCES DES LOCALITÉS ENTRE MONTRÉAL ET QUÉBEC
DISTANCES OF PLACES BETWEEN MONTRÉAL AND QUÉBEC

Milles marins Nautical Miles	Milles Statute Miles	LOCALITÉ PLACE	Milles marins Nautical Miles	Milles Statute Miles
136.5	157.2	Origine du milliage de la Voie Maritime, Montréal (Mile 0)	0.0	0.0
133.5	153.8	Origin of Seaway Mileage, Montréal (Mile 0)		
130.0	149.8	Longue Pointe	3.5	3.9
125.0	144.0	Lavaltrie	13.5	17.5
113.3	130.5	Contrecoeur (Eglise/Church)	26.7	23.2
99.7	114.8	Sorel	42.4	36.8
93.7	107.9	Ile des Barques (Feu/Light)	48.4	42.1
82.8	95.4	Lac St. Pierre (au milieu de la course de l'ancienne/ Middle of Yamachiche Bend)	61.3	52.1
73.4	84.6	Port St-François (Quai/Wharf)	72.7	63.1
62.4	72.6	Trois Rivières	79.5	92.1
57.9	66.6	Champlain (Eglise/Church)	90.7	78.7
51.8	59.7	Batiscan (Eglise/Church)	100.3	86.9
45.8	47.5	St-Charles des Grondines	110.5	95.7
34.5	39.8	Rapides Richelieu	111.5	102.5
28.4	22.7	Cap Santé (Eglise/Church)	124.4	108.0
22.9	27.6	Les Ecureuils (Eglise/Church)	129.1	112.5
11.8	13.6	Portneuf (Quai/Wharf)	150.7	130.7
5.8	6.7	Québec (Pont/Bridge)	150.8	130.7
0.0	0.0	Québec (Bureau des douanes/Customs House)	157.3	136.5

NOTE
Les escaliers à glace sont marqués par des bouées
Ice booms are marked by buoys

LOUISEVILLE LIMNOGRAPHE # 15972

CYR 606

C2YR 6.0.6

BIRD SANCTUARY
SANCTUAIRE D'OISEAUX

PROFONDEURS / DEPTHS
Rivière St-François
Lac Saint-Pierre à la Notre Dame de Pierreville ..... 5 ft 1968
Notre-Dame-de-Pierreville à l'Ile Plate ..... 4 ft 1968
Rivière Yamachiche
Lac Saint-Pierre à l'ouest du Chenal du Sud ..... 5 ft 1968
Chenal du Sud à la Yamaska ..... 4 ft 1968

AVERTISSEMENT / WARNING
Exercices de tir et zones d'exercices CYR 606 Firing Practice and Exercise Areas
Pour de plus amples renseignements concernant ces zones, consulter l'Avis aux navigateurs no. 2 de chaque année.
For additional information concerning these areas, see Notice to Mariners No. 2 of each year.

ATTENTION
On peut rencontrer des pêcheries en dehors du chenal principal

CAUTION
Fishing stakes may be encountered outside of the main channel

Equidistance / Cables 0 1 2 3 Milles marins / Nautical Miles
Pieds 3000 0 5000 Feet
Mètres 1000 0 1000 Metres

SIGNES CONVENTIONNELS ET ABRÉVIATIONS
SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

Feux rouges	R ou	Red Lights
Privé	(Priv)	Private
Quai public	Public	Public Wharf
Flèche d'église	Ég	Church Spire
Niveau moyen de l'eau	M W L	Mean Water Level
Quai	QUAI	Wharf
Hauteur libre	(lib)	Vertical Clearance
Limite d'une zone de câbles sous-marins		Limit of Submarine Cable Zone
Caisson submergé		Submerged Crib
Bôme		Boom
Zone de bômes		Booming Ground
Estacade à glace		Ice Boom
Mouillage interdit		Prohibited Anchorage

Pour la liste complète des signes conventionnels et abréviations, consulter la carte no. 1
For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No. 1

CANADA

FLEUVE SAINT-LAURENT

LAC SAINT-PIERRE

Levé par le Service hydrographique du Canada, 1941-43

Surveyed by the Canadian Hydrographic Service, 1941-43

△ H.I. Lat. 46° 08' 05"12N., Long. 72° 50' 27"69W.

PROFONDEURS EN PIEDS
réduites au zéro des cartes (soit, sur la marque 7.6 pieds (2.3 mètres) à la station de jaugeage du Service hydrographique du Canada à Port St-François, et sur la marque 12.3 pieds (3.7 mètres) à la station de jaugeage du S.H.C. à Louiseville et sur la marque 12.3 pieds (3.7 mètres) à la station de jaugeage du S.H.C. à Sorel

Les hauteurs sont exprimées en pieds au-dessus du niveau de référence des sondes

DEPTHS IN FEET
reduced to a chart datum based on elevation 9.6 feet (2.9 metres) at the Canadian Hydrographic Service, gauge at Port St-François, elevation 12.3 feet (3.7 metres) at the C.H.S. gauge at Louiseville and an elevation 12.3 feet (3.7 metres) on the C.H.S. gauge at Sorel

Heights are expressed in feet above the datum of soundings

Echelle 1:36,000 Scale

Transverse de Mercator Projection: Transverse Mercator

LE SYSTÈME DE CONTRÔLE DE LA CIRCULATION MARITIME DU FLEUVE SAINT-LAURENT
ST. LAWRENCE RIVER MARINE TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Point de signalement numéroté; la flèche indique la direction du mouvement du navire
Pour de plus amples renseignements concernant ce système, consulter l'Avis aux navigateurs no. 25 de chaque année.

Traffic Control reporting point with number; arrow indicates direction of vessel movement
For additional information concerning this system, see Notice to Mariners No. 25 of each year.

| | | | | | | | | | | | | |

#1.00

1336

CANADA

FLEUVE SAINT-LAURENT

CHAMPLAIN AU/TO LAC SAINT-PIERRE

Levé par M.A. MacKinnon, R.E. Hanson et assistants, 1940

Surveyed by M.A. MacKinnon, R.E. Hanson and assistants, 1940

Carmel Δ: Lat. 46° 29' 58" N/N., Long. 72° 37' 40" W/W.

PROFONDEURS EN PIEDS

(réduites au zéro des cartes situé sur la hauteur 7 pieds (2 mètres) d'après celui des cartes du Service hydrographique du Canada à Champlain et correspondant à 9 pieds (3 mètres) à la station de jaug. rage du S.H.C. à Trois-Rivières

Les hauteurs sont exprimées en pieds au-dessus du niveau de la Haute Mer Supérieure Grandes Marées (au niveau bas du fleuve) en aval du Pont Laviolette à Trois-Rivières, et au-dessus du niveau de référence des sondes,en amont du pont

DEPTHS IN FEET

reduced to a chart datum based on elevation 7 Feet (2 metres) at the Canadian Hydrographic Service gauge at Champlain and on elevation 9 Feet (3 metres) at the C.H.S. gauge at Trois-Rivières

Heights are expressed in feet above Higher High Water, Large Tides (at low stage of river), downstream from the Pont Laviolette at Trois-Rivières, and above the datum of soundings, upstream from the bridge

Échelle 1:36,000 Scale

Mercator Transversale : Projection : Transverse Mercator

Note concernant les profondeurs

Dû au dépôt vaseux, les profondeurs naturelles le long des quais de Trois-Rivières changent continuellement et ne sont maintenues au moyen de dragage aux niveaux suivants:

Le Bassin de Trois-Rivières ..... 35 pieds
Le long des autres quais ..... 30 pieds

Note re depths

Owing to silt,the natural depths alongside the wharves at Trois-Rivières are constantly changing but are reported to the Harbour Office dredging to the following depths:

Trois-Rivières Basin ..... 35 feet
The Waterfront elsewhere ..... 30 feet

BRASSES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	FATHOMS
PIEDS	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	FEET
MÈTRES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	METRES

On peut obtenir des renseignements concernant les cartes marines canadiennes, les instructions nautiques, les tables de marées et autres publications du gouvernement à l'intention des navigateurs, en s'adressant à l'Hydrographe fédéral, Service hydrographique du Canada, ministère de l'Environnement, Ottawa.

Consulter les rubriques des "Avis aux navigateurs" publiés chaque semaine, concernant des renseignements importants pour la navigation, y compris les modifications aux cartes marines canadiennes. Ces rubriques sont intitulées "Avis aux Navigateurs et aux livres des aides radio. On peut obtenir ces "Avis" gratuitement sur demande en s'adressant au Chef, Division des aides (Marine), ministère des Transports, Ottawa.

Information concerning Canadian Nautical Charts, Sailing Directions, Tide Tables and other Government publications of interest to mariners may be obtained on request to the Dominion Hydrographer, Canadian Hydrographic Service, Department of the Environment, Ottawa.

Canadian "Notices to Mariners" published weekly, contain important navigational information affecting Canadian Nautical Charts, Sailing Directions, Lists of Lights and Lists of Radio Aids. These "Notices" may be obtained free on request to the Chief, Marine Aids Division, Ministry of Transport, Ottawa.

RENSEIGNEMENTS SUR LES MARÉES/TIDAL INFORMATION

LOCALITÉ LOCATION	Hauteur au-dessus du niveau de référence des sondes Height above Datum of Soundings							
	Grandes marées Large Tides				Marées moyennes Average Tides			Niveau moyen de l'eau Mean Water Level
	H.H.W.		L.L.W.		H.H.W.		L.L.W.	
	pieds Feet	mètres metres	pieds Feet	mètres metres	pieds Feet	mètres metres	pieds Feet	mètres metres
Champlain Trois-Rivières					6.6 6.6	1.8 1.4	3.6 3.6	0.9 0.9	4.7 3.6	1.4 1.1

SIGNES CONVENTIONNELS ET ABRÉVIATIONS
SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

Feux Rouges	R ou.	Red Lights
Privé	(Priv)	Private
Quai public	Public	Public Wharf
Flèche d'église	fle	Church Spire
Niveau moyen de l'eau	M.W.L.	Mean Water Level
Quai	(Wf)	Wharf
Hauteur libre	clr.	Vertical Clearance
Limite d'une zone de câbles sous marins		Limit of Submarine Cable Zone
Caisson submergé	Caisson	Submerged Crib
Bôme		Boom
Zone de bômes	Bm Grd	Booming Ground
Estacade à glace	Wharf Inter Prohib Anch	Ice Boom
Mouillage interdit	Wharf Inter Prohib Anch	Prohibited Anchorage

Pour la liste complète des signes conventionnels et abréviations voir Carte marine No. 1
For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No. 1

AVERTISSEMENT/WARNING

Exercices de tir et zones d'exercices — C6R20 — Firing Practice and Exercise Areas

Pour de plus amples renseignements concernant ces zones, consulter l'Avis aux navigateurs no. 2 de chaque année.

For additional information concerning these areas, see Notice to Mariners No. 2 of each year.

DISTANCES DES LOCALITÉS ENTRE MONTRÉAL ET QUÉBEC
DISTANCES OF PLACES BETWEEN MONTRÉAL AND QUÉBEC

Milles Marins Nautical Miles	Milles Terrestres Statute Miles	LOCALITÉ PLACE	Milles Terrestres Statute Miles	Milles Marins Nautical Miles
136 9	157 3	Origine du milliage de la Voie Maritime, Montréal (Mille 0) Origin of Seaway Mileage, Montréal (Mile 0)	0 0	0 0
133 5	153 5	Longue Pointe	2 5	3 0
132 0	151 8	Cap St-Michel	3 8	3 3
113 3	130 3	Repentigny (Eglise/Church)	26 7	23 2
99 1	114 0	Sorel	41 1	35 8
83 9	106 2	Ile des Barques (Feu/Light)	48 1	42 6
82 8	95 4	Lac St. Pierre (Au milieu de la course de l'amont/Mid-channel Upbound Fairway/Axis Bound)	61 9	53 7
72 4	84 6	Port St François (Quai/Wharf)	72 7	63 1
68 4	78 8	Trois Rivières	78 5	68 1
61 1	70 3	Cap de la Madeleine (Eglise/Church)	86 5	75 1
51 1	58 9	Bécancour (Quai/Wharf)	96 4	83 8
40 8	47 0	St. Charles des Grondines	110 3	95 7
28 4	32 7	Deschaillons	113 5	102 0
26 4	30 4	Cap Santé (Eglise/Church)	124 5	112 9
23 9	27 5	Les Ecureuils (Eglise/Church)	134 9	118 3
12 8	14 8	Pointe St. Nicolas	142 5	123 7
9 8	9 7	Québec (Pont/Bridge)	150 8	130 7
0 0	0 0	Québec (Bureau des douanes/Customs House)	157 3	136 5

LE SYSTÈME DE CONTRÔLE DE LA CIRCULATION MARITIME DU FLEUVE SAINT-LAURENT
ST. LAWRENCE RIVER MARINE TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Point de signalement numéroté; la flèche indique la direction du mouvement du navire.
Pour de plus amples renseignements concernant ce système, consulter l'Avis aux navigateurs no. 25 de chaque année.

Traffic Control reporting point with number; arrow indicates direction of vessel movement.
For additional information concerning this system, see Notice to Mariners No. 25 of each year.

Soundings / Cables — Feet — Fathoms — Nautical Miles
Pieds — Brasses — Milles Marins
Mètres — Milles

Numéro du poste d'amarrage ⊙ Berth number

Imprimée par la Direction des levés et de la cartographie, ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources.

EDITIONS ANTÉRIEURES/PREVIOUS EDITIONS: 1941 45 51 54 58 61 66
NOUVELLE EDITION/NEW EDITION MAR. 5 1971. RÉIMPRESSION CORRIGÉE/CORRECTED REPRINT APR. 27 1973
AVIS AUX NAVIGATEURS/NOTICES TO MARINERS 1973 632

PUBLIÉE PAR LE SERVICE HYDROGRAPHIQUE DU CANADA
DIRECTION GÉNÉRALE DES SCIENCES DE LA MER
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, OTTAWA
© Sa majesté la Reine du chef du Canada 1973

PUBLISHED BY THE CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE
MARINE SCIENCES DIRECTORATE
DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, OTTAWA
© Her Majesty The Queen in Right of Canada 1973

Printed by Surveys and Mapping Branch, Department of Energy, Mines and Resources

Fleuve Saint-Laurent
CHAMPLAIN AU/TO LAC SAINT-PIERRE

1336

FIG NO. A-13

$1.00

1335

FIG NO. A-14

DISTANCES DES LOCALITÉS ENTRE MONTRÉAL ET QUÉBEC
DISTANCES OF PLACES BETWEEN MONTREAL AND QUÉBEC

Milles Statute Miles	Milles Nautiques Nautical Miles	LOCALITÉ PLACE	Milles Statute Miles	Milles Nautiques Nautical Miles
136·6	187·3	Origine du millage de la Voie Maritime, Montréal (Mille 0)..... Origin of Seaway Mileage, Montréal (Mile 0)	0·0	0·0
133·6	183·6	Longue-Pointe.....	3·6	3·0
126·6	144·0	Cap Ste-Michèle.....	13·1	11·8
113·3	130·6	Contrecoeur (Eglise/Church).....	26·7	23·2
97·6	108·2	Verchères.....	39·1	42·6
93·9	108·2	Ile des Barques (Feu/Light).....	42·1	42·6
82·6	86·4	Lac St- Pierre (Au milieu de la courbe de Yamachiche/ Middle of Yamachiche Bend).....	51·9	53·7
73·4	84·6	Port St-François (Quai/Wharf).....	72·7	63·1
67·6	68·6	Gentilly.....	80·1	74·0
57·6	68·6	Champlain (Eglise/Church).....	90·1	19·1
51·1	58·5	Bécancour (Quai/Wharf).....	96·4	85·4
40·6	47·0	St-Charles des Grondines.....	110·3	95·7
34·6	39·5	Rapides Richelieu.....	117·5	102·0
29·6	27·6	Deschambault (Eglise/Church).....	123·7	112·8
23·6	27·6	Les Ecures de Portneuf (Church).....	129·7	112·8
12·6	14·5	Pointe St- Nicolas.....	142·6	123·7
9·6	8·7	Québec (Pont/Bridge).....	180·6	130·1
0·0	0·0	Québec (Bureau des douanes/Customs House).....	187·3	136·6

RENSEIGNEMENTS SUR LES MARÉES / TIDAL INFORMATION

LOCALITÉ LOCATION	Hauteur au-dessus du niveau de référence des sondes / Height above Datum of Soundings						Niveau moyen de l'eau / Mean Water Level
	Grandes marées / Large Tides		Marées moyennes / Average Tides				
	H.W.	L.W.	H.W.		L.W.		
	pieds / feet	mètres / metres	pieds / feet	mètres / metres	pieds / feet	mètres / metres	pieds / feet — mètres / metres
St-Charles des Grondines	11·0	3·4	8·0	2·4	3·0	0·9	6·7 — 2·0
Bécancour	8·0	1·8	6·0	1·8	3·0	0·9	4·6 — 1·4
Champlain	8·0	1·8	6·0	1·8	3·0	0·9	4·7 — 1·4

SIGNES CONVENTIONNELS ET ABRÉVIATIONS
SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

Feux rouges	R Lts	Red Lights
Privé	(Priv)	Private
Quai public	Public	Public Wharf
Flèche d'église	Ch Spire	Church Spire
Niveau moyen de l'eau	M.W.L.	Mean Water Level
Quai	Whf	Wharf
Hauteur libre	28	Vertical Clearance
Limite d'une zone de câbles sous-marins	Limit of Submarine Cable Zone	Limit of Submarine Cable Zone
Caisson submergé	Caisson Crib (Submerged Crib)	Submerged Crib
Bôme	Boom	Boom
Zone de bômes	Boom Grd	Booming Ground
Estacade à glace	Ancres / Ancres	Ice Boom
Mouillage interdit	Prohibited Anchorage	Prohibited Anchorage

Pour la liste complète des signes conventionnels et abréviations, consulter la carte No. 1
For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No. 1

CANADA

FLEUVE SAINT-LAURENT

LECLERCVILLE À/TO CHAMPLAIN

D'après les levés de 1901, 1902 et 1940

From surveys of 1901, 1902 and 1940

L'Observatoire McGill ⊕ : Lat. 45° 30' 18"71 N., Long. 73° 34' 42"91 W.: McGill Observatory ⊕

PROFONDEURS EN PIEDS

réduites au zéro des cartes basé sur la hauteur 0·6 pied (0·2 mètre) à la station de jaugeage du Service hydrographique du Canada à St-Charles-des-Grondines, la hauteur 1·1 pied (0·3 mètre) à la station de jaugeage du C.N. à Cap à la Roche et la hauteur 9·1 pieds (1·9 mètres) à la station de jaugeage du S.H.C. à Batiscan et sur la hauteur 7·2 pieds (2·2 mètres) à la station de jaugeage du S.H.C. à Champlain

DEPTHS IN FEET

reduced to a chart datum based on elevation 0·6 feet (0·2 metres) at the Canadian Hydrographic Service gauge at St-Charles-des-Grondines, on elevation 1·1 feet (0·3 metres) at the C.N.R. gauge at Cap à la Roche and on elevation 9·1 feet (1·9 metres) at the S.H.C. gauge at Batiscan, and on elevation 7·2 feet (2·2 metres) at the S.H.C. gauge at Champlain

ATTENTION

Pour ajuster les sondes en dehors des endroits dragués du chenal navigable à ce niveau de référence, ajouter un pied

CAUTION

To adjust the soundings outside the dredged areas of the Ship Channel to this datum, add one foot

Les hauteurs sont exprimées en pieds au-dessus de la Haute Mer Supérieure,Grandes Marées(au niveau bas du fleuve)

Heights are expressed in feet above Higher High Water, Large Tides (at low stage of river)

Échelle 1:36,000 Scale

Polyconique : Projection : Polyconic

Encyclonie 10 Cables — 1 — 2 Miles Milles — 2 Nautical Miles Nautiques

Feets/pieds 1000 — 0 — 5000 Feet

Metres/Mètres 1000 — 0 — 1000 Metres

LE SYSTÈME DE CONTRÔLE DE LA CIRCULATION MARITIME DU FLEUVE SAINT-LAURENT
ST. LAWRENCE RIVER MARINE TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Point de signalement numéroté; la flèche indique la direction du mouvement du navire.
Pour de plus amples renseignements concernant ce système, consulter l'Avis aux navigateurs No 25 de chaque année.

Traffic Control reporting point with number; arrow indicates direction of vessel movement.
For additional information concerning this system, see Notice to Mariners No. 25 of each year.

BRASSES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17 FATHOMS
PIEDS	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102 FEET
METRES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17 METRES

Information concerning Canadian Nautical Charts, Sailing Directions, Tide Tables and Current Publications is available from authorized agents or may be obtained by writing to the Dominion Hydrographer, Canadian Hydrographic Service, Department of the Environment, Ottawa

Canadian "Notices to Mariners" published weekly, contain important navigational information including amendments to Canadian Charts, Sailing Directions, Lists of Lights, Tide Tables and Current Publications. Subscriptions and free on request to the Chief, Marine Aids Division, Ministry of Transport, Ottawa

On peut obtenir des renseignements concernant les cartes marines canadiennes, les instructions nautiques, les tables des marées et autres publications du gouvernement du Canada auprès des agents autorisés ou en écrivant à l'hydrographe, Service hydrographique du Canada, ministère de l'Environnement, Ottawa.

L'édition canadienne des "Avis aux navigateurs" publiée chaque semaine, contient des renseignements importants pour la navigation, y compris les modifications aux cartes marines canadiennes, aux instructions nautiques, aux livres des feux et des signaux de brume, aux tables des marées et aux publications courantes. S'adresser au Chef, Division des aides (Marine), ministère des Transports, Ottawa

Imprimée par le Direction des levés et de la cartographie, ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources.

Printed by Surveys and Mapping Branch, Department of Energy, Mines and Resources.

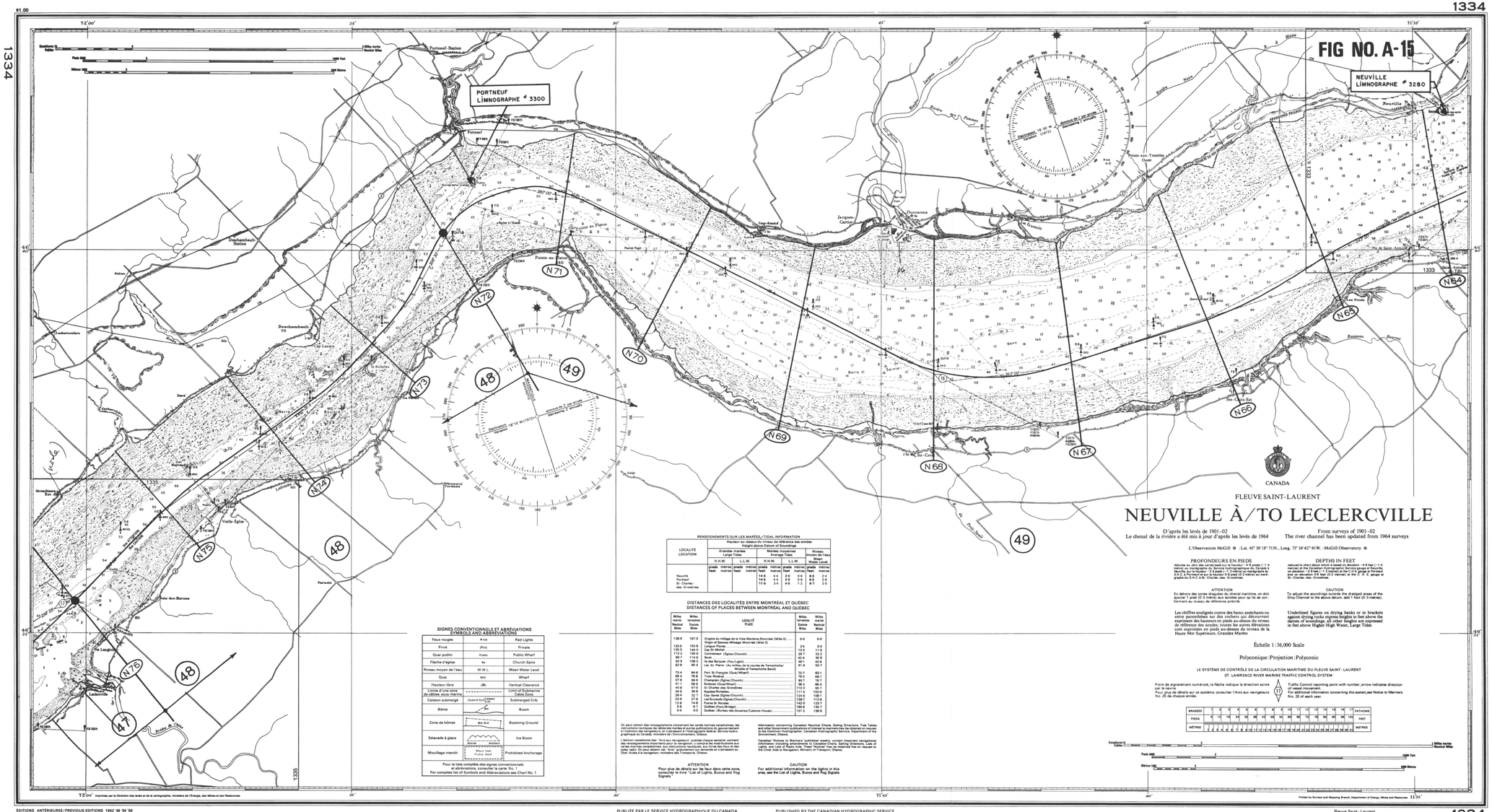
PUBLIÉE PAR LE SERVICE HYDROGRAPHIQUE DU CANADA
DIRECTION GÉNÉRALE DES SCIENCES DE LA MER
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, OTTAWA
© Sa majesté la Reine du chef du Canada 1973

PUBLISHED BY THE CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE
MARINE SCIENCES DIRECTORATE
DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, OTTAWA
© Her Majesty The Queen in Right of Canada 1973

EDITIONS ANTERIEURES/PREVIOUS EDITIONS 1942 '46 '49 '54 '59 '62
NOUVELLE EDITION/NEW EDITION FEB. 26 1971 RÉIMPRESSION CORRIGÉE / CORRECTED REPRINT JAN. 12 1973

Fleuve Saint-Laurent
LECLERCVILLE À/TO CHAMPLAIN

1335



RENSEIGNEMENTS SUR LES MARÉES/TIDAL INFORMATION

LOCALITÉ LOCATION	Hauteur au-dessus du niveau de référence des sondes Height above Datum of Soundings				
	Grandes marées Large Tides		Marées moyennes Average Tides		Niveau moyen de l'eau Mean Water Level
	H.W.W.	L.L.W.	H.W.W.	L.L.W.	
	pieds feet / mètres metres	pieds feet / mètres metres	pieds feet / mètres metres	pieds feet / mètres metres	pieds feet / mètres metres
Neuville Portneuf St.-Charles-des-Grondines	14.6 4.4 14.6 4.4 11.0 3.4	2.6 0.8 2.6 0.8 4.6 1.2	8.6 2.6 8.6 2.6 8.7 2.7	2.6 0.8 2.6 0.8 4.7 1.4	5.6 1.7 5.6 1.7 6.7 2.0

DISTANCES DES LOCALITÉS ENTRE MONTRÉAL ET QUÉBEC
DISTANCES OF PLACES BETWEEN MONTREAL AND QUÉBEC

Milles marins Nautical Miles	Milles terrestres Statute Miles	LOCALITÉ PLACE	Milles terrestres Statute Miles	Milles marins Nautical Miles
136.6	157.3	Origine du millage de la Voie Maritime, Montréal (Mille 0)	0.0	0.0
133.5	153.8	Origin of Seaway Mileage Montreal (Mile 0)	3.5	3.0
125.0	144.0	Longue Pointe	13.3	11.6
119.7	137.8	Cap St-Michel	19.5	17.0
99.7	114.9	Repentigny (Eglise/Church)	43.4	38.0
93.9	108.2	Sorel	49.1	42.6
82.6	95.4	Ile des Barques (Feu/Light)	61.9	53.7
		Lac St-Pierre (Au milieu de la route de Yamachiche/ Middle of Yamachiche Bend)		
73.4	84.6	Pont St-François (Quai/Wharf)	72.7	63.1
65.4	75.3	Trois Rivières	79.5	69.1
57.8	66.6	Champlain (Eglise/Church)	90.7	78.7
51.3	59.1	Batiscan (Eglise/Church)	97.2	84.4
40.8	47.0	St-Charles des Grondines	110.3	95.7
34.5	39.8	Rapides Richelieu	117.0	102.0
28.4	32.7	Cap Santé (Eglise/Church)	124.6	108.1
23.9	27.6	Les Ecureuils (Eglise/Church)	129.7	112.6
17.9	20.6	Portneuf (Quai/Wharf)	137.0	118.9
9.9	9.7	Québec (Pont/Bridge)	150.6	130.7
0.0	0.0	Québec (Bureau des douanes/Customs House)	157.3	136.6

On peut obtenir des renseignements concernant les cartes marines canadiennes, les instructions nautiques, les tables des marées et autres publications de genre relevant à l'intention des navigateurs, en s'adressant à l'Hydrographe fédéral, Service hydrographique du Canada, ministère de l'Environnement, Ottawa.

L'édition canadienne des "Avis aux navigateurs" publiées chaque semaine, contient des renseignements nautiques importants touchant les feux, les bouées, les cartes marines canadiennes, aux instructions nautiques, aux livres des feux et des aides radio. On peut obtenir ces "Avis" gratuitement sur demande en s'adressant au Chef, Aides à la navigation, ministère des Transports, Ottawa.

Information concerning Canadian Nautical Charts, Sailing Directions, Tide Tables and other Government publications of interest to mariners may be obtained on request to the Dominion Hydrographer, Canadian Hydrographic Service, Department of the Environment, Ottawa.

Canadian "Notices to Mariners" published weekly, contain important navigational information affecting lights, buoys, charts, Sailing Directions, Lists of Lights and Lists of Radio Aids. These "Notices" may be obtained free on request to the Chief, Aids to Navigation, Ministry of Transport, Ottawa.

ATTENTION
Pour plus de détails sur les feux dans cette zone, consulter le livre "List of Lights, Buoys and Fog Signals."

CAUTION
For additional information on the lights in this area, see the List of Lights, Buoys and Fog Signals.

SIGNES CONVENTIONNELS ET ABRÉVIATIONS
SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

Feux rouges	R Vis	Red Lights
Privé	(Priv)	Private
Quai public	Public	Public Wharf
Flèche d'église	fle	Church Spire
Niveau moyen de l'eau	M.W.L.	Mean Water Level
Quai	WHF	Wharf
Hauteur libre	(38)	Vertical Clearance
Limite d'une zone de câbles sous-marins	Limit of Submarine Cable Zone	Limit of Submarine Cable Zone
Caisson submergé	(Submerged Crib)	Submerged Crib
Bôme	Boom	Boom
Zone de bômes	Boom Grid	Booming Ground
Estacade à glace	Ice Boom	Ice Boom
Mouillage interdit	Prohibited Anchorage	Prohibited Anchorage

Pour la liste complète des signes conventionnels et abréviations, consulter la carte No. 1
For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No. 1

EDITIONS ANTERIEURES/PREVIOUS EDITIONS 1942 '49 '54 '59
NOUVELLE EDITION/NEW EDITION MAR. 31 1972
AVIS AUX NAVIGATEURS/NOTICES TO MARINERS 1972 552 822 1255 1324 330 817

PUBLIÉE PAR LE SERVICE HYDROGRAPHIQUE DU CANADA
DIRECTION DES SCIENCES DE LA MER
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, OTTAWA
© Sa majesté la Reine du chef du Canada 1972

PUBLISHED BY THE CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE
MARINE SCIENCES BRANCH
DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, OTTAWA
© Her Majesty The Queen in Right of Canada 1972

CANADA

FLEUVE SAINT-LAURENT

QUÉBEC À / TO NEUVILLE

D'après les levés de 1901-02, 1938-39, avec des additions, 1971 — From surveys of 1901-02, 1938-39, with additions, 1971

L'Observatoire McGill ⊕ : Lat. 45° 30' 18"·71 N., Long. 73° 34' 42"·91 W. : McGill Observatory ⊕

PROFONDEURS EN PIEDS

réduites au zéro des cartes basé sur la hauteur — 6·7 pieds (– 2·0 mètres) au marégraphe du Service hydrographique du Canada à Québec (Lauzon) et sur la hauteur — 4·6 pieds (– 1·4 mètre) au marégraphe du S.H.C. à Neuville.

Les chiffres soulignés sur les bancs asséchants ou entre parenthèses contre les rochers qui découvrent expriment des hauteurs en pieds au-dessus du niveau de référence des sondes; toutes les autres élévations sont exprimées en pieds au-dessus du niveau de la Haute Mer Supérieure, Grandes Marées

DEPTHS IN FEET

reduced to chart datum based on elevation – 6·7 feet (– 2·0 metres) at the Canadian Hydrographic Service gauge at Québec (Lauzon) and on elevation – 4·6 feet (– 1·4 metres) at the C.H.S. gauge at Neuville.

Underlined figures on drying banks or in brackets against drying rocks express heights in feet above the datum of soundings; all other heights are expressed in feet above Higher High Water, Large Tides

Échelle 1 : 36,000 Scale

Polyconique : Projection : Polyconic

RENSEIGNEMENTS SUR LES MARÉES / TIDAL INFORMATION

LOCALITÉ LOCATION	Hauteur au-dessus du niveau de référence des sondes Height above Datum of Soundings								Niveau moyen de l'eau Mean Water Level	
	Grandes marées Large Tides				Marées moyennes Average Tides					
	H.H.W.		L.L.W.		H.H.W.		L.L.W.			
	pieds feet	mètres metres	pieds feet	mètres metres	pieds feet	mètres metres	pieds feet	mètres metres	pieds feet	mètres metres
Québec (Lauzon)	18·5	5·6	– 0·6	– 0·2	13·6	4·1	2·2	0·7	8·2	2·5
Neuville	16·3	5·0	0·0	0·0	13·4	4·1	2·0	0·6	7·6	2·3

On peut obtenir des renseignements concernant les cartes marines canadiennes, les instructions nautiques, les tables des marées et autres publications du gouvernement à l'intention des navigateurs, en s'adressant à l'Hydrographe fédéral, Service hydrographique du Canada, ministère de l'Environnement, Ottawa.

L'édition canadienne des "Avis aux navigateurs" publiée chaque semaine, contient des renseignements importants pour la navigation, y compris les modifications aux cartes marines canadiennes, aux instructions nautiques, aux livres des feux et des signaux de brume, aux tables des marées et aux cartes spéciales, on s'adressant au Chef, Division des aides (Marine), ministère des Transports, Ottawa.

Information concerning Canadian Nautical Charts, Sailing Directions, Tide Tables and other Government publications of interest to mariners may be obtained on request to the Dominion Hydrographer, Canadian Hydrographic Service, Department of the Environment, Ottawa.

Canadian "Notices to Mariners" published weekly, contain important navigational information including amendments to Canadian Charts, Sailing Directions, Lists of Lights and Lists of Radio Aids. These "Notices" may be obtained free on request to the Chief, Marine Aids Division, Ministry of Transport, Ottawa.

LE SYSTÈME DE CONTRÔLE DE LA CIRCULATION MARITIME DU FLEUVE SAINT-LAURENT

ST. LAWRENCE RIVER MARINE TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Point de signalement numéroté; la flèche indique la direction suivie par le navire.
Pour plus de détails concernant ce système, consulter l'Avis aux navigateurs No. 25 de chaque année.

14 — Traffic Control reporting point with number; arrow indicates direction of vessel movement.
For additional information concerning this system, see Notice to Mariners No. 25 of each year.

BRASSES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	FATHOMS
PIEDS	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	FEET
MÈTRES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	METRES
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				

Carte adjacente / Adjoining Chart 1208

FIG NO. A-16

QUÉBEC LAUZON
LIMNOGRAPHE # 3250

NEUVILLE
LIMNOGRAPHE # 3280

Échelle / Scale 1 : 36,000

Échelle / Scale 1 : 36,000

Magnetic Variation 18° 15' W (1972) — Annual decrease 2' annually

Magnetic Variation 18° 30' W (1972) — Annual decrease 2' annually

ATTENTION
Pour plus de détails sur les feux dans cette zone, consulter le livre "List of Lights, Buoys and Fog Signals."

CAUTION
For additional information on the lights in this area, see the List of Lights, Buoys and Fog Signals.

DISTANCES DES LOCALITÉS ENTRE MONTRÉAL ET QUÉBEC
DISTANCES OF PLACES BETWEEN MONTRÉAL AND QUÉBEC

Milles marines Nautical Miles	Milles terrestres Statute Miles	LOCALITÉ PLACE	Milles terrestres Statute Miles	Milles marines Nautical Miles
136·5	157·3	Origine du millage de la Voie Maritime, Montréal (Mille 0)	0·0	0·0
133·5	153·8	Origin of Seaway Mileage, Montréal (Mile 0) Longue Pointe	1·5	3·0
125·0	144·0	Cap St-Michel	13·3	11·5
119·7	138·0	Repentigny (Eglise/Church)	19·0	16·5
99·7	114·9	Sorel	40·4	34·8
93·9	108·2	Ile des Barques (Feu/Light)	49·1	42·6
82·6	95·4	Lac St-Pierre (Au milieu de la courbe de Yamachiche/ Middle of Yamachiche Bend)	61·9	53·7
73·4	84·6	Port St-François (Quai/Wharf)	72·7	63·1
68·4	78·8	Trois-Rivières	79·5	68·1
57·6	66·6	Champlain (Eglise/Church)	90·7	78·7
51·1	58·9	Batiscan (Quai/Wharf)	98·4	85·4
39·1	47·0	St-Charles-des-Grondines	110·3	95·7
30·6	35·2	Rapides-des-Cèdres	117·5	102·0
26·4	30·7	Deschambault (Eglise/Church)	123·8	107·5
23·6	27·6	Les Ecureuils (Eglise/Church)	130·7	112·6
12·6	14·8	Pointe St-Nicolas	140·5	123·7
5·6	6·7	Québec (Pont/Bridge)	150·6	130·7
0·0	0·0	Québec (Bureau des douanes/Customs House)	157·3	136·5

SIGNES CONVENTIONNELS ET ABRÉVIATIONS
SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

Feux rouges	R Lts	Red Lights
Privé	(Priv)	Private
Quai public	Public	Public Wharf
Flèche d'église	Ste	Church Spire
Niveau moyen de l'eau	M.W.L.	Mean Water Level
Quai	Whf	Wharf
Hauteur libre	(38)	Vertical Clearance
Limite d'une zone de câbles sous-marins		Limit of Submarine Cable Zone
Caisson submergé	(Submg'd Cais) Caisson Cais	Submerged Crib
Bôme	Boom	Boom
Zone de bômes	Boom Grd	Booming Ground
Estacade à glace	Anchrs Anchors	Ice Boom
Mouillage interdit	Mouil Interr Prohib Anch	Prohibited Anchorage

Pour la liste complète des signes conventionnels et abréviations, consulter la carte No. 1
For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No. 1

Imprimée par la Direction des levés et de la cartographie, ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources

ÉDITIONS ANTÉRIEURES / PREVIOUS EDITIONS 1944 '55 '62 '69
NOUVELLE ÉDITION / NEW EDITION OCT. 27 1972
AVIS AUX NAVIGATEURS / NOTICES TO MARINERS 1973 (1) 330

PUBLIÉE PAR LE SERVICE HYDROGRAPHIQUE DU CANADA
DIRECTION GÉNÉRALE DES SCIENCES DE LA MER
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, OTTAWA
© Sa majesté la Reine du chef du Canada 1972
PUBLISHED BY THE CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE
MARINE SCIENCES DIRECTORATE
DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, OTTAWA
© Her Majesty The Queen in Right of Canada 1972

Printed by Surveys and Mapping Branch, Department of Energy, Mines and Resources

$1.00

1208

FIG NO. A-17

CANADA

FLEUVE SAINT-LAURENT

GROSSE ILE À/TO QUÉBEC

D'après les levés de Cmdr. W.F. Maxwell, R.N., 1885-86, C.M. Savary, 1918-19 et information du ministère des Transports

From surveys by Cmdr. W.F. Maxwell, R.N., 1885-86, C.M. Savary, 1918-19 and information from the Ministry of Transport

PROFONDEURS EN BRASSES
réduites au niveau des plus basses mers normales

Les chiffres soulignés contre des hauts-sondchants et entre parenthèses sur des rochers qui découvrent expriment des hauteurs en pieds au-dessus du niveau de référence des sondes; toutes les autres élévations sont exprimées en pieds au-dessus du niveau de la Haute Mer Supérieure, Grandes Marées

DEPTHS IN FATHOMS
reduced to Lowest Normal Tides

Underlined figures on drying banks or in brackets against drying rocks express heights in feet above the datum of soundings; all other heights are expressed in feet above Higher High Water, Large Tides

Échelle 1:48,000 Scale

Polyconique : Projection : Polyconic

On peut obtenir des renseignements concernant les cartes marines canadiennes, les instructions nautiques, les tables de marées et autres publications du gouvernement du Canada auprès du Chef, Service hydrographique du Canada, Service hydrographique du Canada, ministère de l'Environnement, Ottawa.

L'édition canadienne des "Avis aux navigateurs" publiée chaque semaine, contient des renseignements importants pour la navigation, y compris les modifications aux cartes marines canadiennes, aux instructions nautiques, aux livres des feux et des signaux de brume et aux publications radio. Ces renseignements sont fournis sur demande en s'adressant au Chef, Division des aides (Marine), ministère des Transports, Ottawa.

Information concerning Canadian Nautical Charts, Sailing Directions, Tide Tables and other Government publications of interest to mariners may be obtained on request to the Chief, Hydrographic Service, Canadian Hydrographic Service, Department of the Environment, Ottawa.

Canadian "Notices to Mariners" published weekly, contain important navigational information including amendments to Canadian Charts, Sailing Directions, Lists of Lights and Lists of Radio Aids. These "Notices" may be obtained free on request to the Chief, Marine Aids Division, Ministry of Transport, Ottawa.

BRASSES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	FATHOMS
PIEDS	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	FEET
METRES	2	4	5	7	9	11	13	15	16	18	20	22	24	25	27	29	31	METRES

LE SYSTÈME DE CONTRÔLE DE LA CIRCULATION MARITIME DU FLEUVE SAINT-LAURENT
ST. LAWRENCE RIVER MARINE TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Point de signalement numéroté. La flèche indique la direction du trafic contrôlé.
Pour de plus amples renseignements concernant ce système,consulter l'Avis aux navigateurs no. 25 de chaque année.

Traffic Control reporting point with number; arrow indicates direction of controlled traffic.
For additional information concerning this system, see Notice to Mariners No. 25 of each year.

SIGNES CONVENTIONNELS ET ABRÉVIATIONS
SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

Feux rouges	R ou	Red Lights	
Privé	(Priv)	Private	
Quai (public)	Public	Public Wharf	
Flèche d'église	Ay	Church Spire	
Niveau moyen de l'eau	M.W.L.	Mean Water Level	
Quai	WHF	Wharf	
Hauteur libre	clr.	Vertical Clearance	
Limite d'une zone de pêche sous-marine	Cable Zone	Limit of Submarine Cable Zone	
Caisson submergé	Caisson (Subm. Tk.)	Submerged Crib	
Bôme	Boom	Boom	
Zone de bômes	Boom Grid	Booming Ground	
Estacade à glace	Ice Boom	Ice Boom	
Mouillage interdit	Prohibited Anchorage	Prohibited Anchorage	

Pour la liste complète des signes conventionnels et abréviations, consulter la carte no. 1
For complete list of Symbols and Abbreviations see Chart No. 1

Soudures D Cables — 1 Milles Marins / Nautical Miles
Poids/Weight 1000 Pieds/Feet
Mètres/Metres 1000 Mètres/Metres

RENSEIGNEMENTS SUR LES MARÉES / TIDAL INFORMATION

LOCALITÉ LOCATION	Hauteur au-dessus du niveau de référence des sondes Height above Datum of Soundings						Niveau moyen de l'eau Mean Water Level
	Grandes marées Large Tides			Marées moyennes Neap Tides			
	H.W.M.	L.W.M.		H.W.M.	L.W.M.		
	pieds feet	mètres metres	pieds feet	mètres metres	pieds feet	mètres metres	pieds feet	mètres metres
Grosse Ile	20.2	6.2	-3.2	19.4	6.1	2.1	0.6	0.1	9.8	3.0
St-François	21.5	6.6	-1.6	-0.5	17.8	5.4	2.7	0.8	9.9	3.0
Québec (Lauzon)	19.5	5.9	-0.6	-0.2	16.6	5.1	2.2	0.7	9.3	2.8

REPÈRES DE NIVELLEMENT / BENCH MARKS

La cime de cette carte à St-François à 24.00 pieds (7.32 mètres) au-dessus du repère de nivellement 10468 (de Levés géodésiques du Canada) a été établie à 27.53 mètres au-dessus du Plan de Référence International des Grands Lacs (1985).

La cime de cette carte à Québec (Lauzon) est 25.07 pieds (7.65 mètres) au-dessus du repère de nivellement 9942 (des Levés géodésiques du Canada) et 31 pieds (7.239 mètres) au-dessus du Plan de Référence International des Grands Lacs (1985).

The datum of this chart at St-François is 24.00 feet (7.32 metres) below Geodetic Survey of Canada Bench Mark 10468 and 9.50 feet (2.59 metres) below International Great Lakes Datum (1985).

The datum of this chart at Québec (Lauzon) is 25.07 feet (7.65 metres) below Geodetic Survey of Canada Bench Mark 9942 and 31 feet (7.239 metres) above International Great Lakes Datum (1985).

LES COURANTS DE MARÉE

Les groupes de flèches aux positions numérotées 30 et 33, en accord avec le tableau ci-dessous donnent la direction et la vitesse approximatives des courants de marée durant toute heure de la période de marées. Les flèches indiquent les directions principales du flot et du jusant de façon habituelle avec les vitesses données pour les marées moyennes

TIDAL CURRENTS

The arrow groups at positions numbered 30 and 33, along with the data in the table below, furnish the approximate direction and rate of the tidal currents for any hour of the tidal period. The arrows show the principal directions of flood and ebb directions in the usual way and rates given are for average tides.

Port de référence - Québec / Reference Port - Québec

LOCALITÉ LOCALITY	Tourne au flot Turning to Flood	Tourne au jusant Turning to Ebb	Flèche Arrow		Flèche Arrow
	h.m.	h.m.			
Position 33	0.40 avant / before L.W.	0.33 avant / before H.W.	1	0.0 / 6.0 avant / before H.W.	1
			2	1.0 / 5.0 après / after H.W.	2
Position 30	0.22 avant / before L.W.	0.15 avant / before H.W.	3	2.0 / 4.0 après / after H.W.	3
			4	3.0 / 3.0 après / after H.W.	4
Grosse Ile	0.18 après / after L.W.	0.08 après / after H.W.	5	4.0 / 2.0 après / after H.W.	5
			6	5.0 / 1.0 après / after H.W.	6
St-François	0.13 après / after L.W.	0.22 après / after H.W.	7	6.0 / 0.0 à / at L.W.	7
			8	1.0 / 7.0 après / after L.W.	8
Berthier	0.02 après / after L.W.	0.18 après / after H.W.	9	2.0 / 6.0 après / after L.W.	9
			10	3.0 / 5.0 après / after L.W.	10
Québec	1.07 après / after L.W.	1.05 après / after H.W.	11	4.0 / 4.0 après / after L.W.	11
			12	5.0 / 3.0 après / after L.W.	12

Imprimée par la Direction des levés et de la cartographie, ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources.

Printed by Surveys and Mapping Branch, Department of Energy, Mines and Resources.

EDITIONS ANTÉRIEURES/PREVIOUS EDITIONS 1933 '36 '39 '51 '56 '62 '66 '69 '70 '85
NOUVELLE ÉDITION/NEW EDITION MAR. 5 1971. CORRECTED REPRINT APR. 20 1973

AVIS AUX NAVIGATEURS/NOTICES TO MARINERS 1973 SR 370 660 SW

PUBLIÉE PAR LE SERVICE HYDROGRAPHIQUE DU CANADA
DIRECTION GÉNÉRALE DES SCIENCES DE LA MER
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, OTTAWA
© Sa majesté la Reine du chef du Canada 1973

PUBLISHED BY THE CANADIAN HYDROGRAPHIC SERVICE
MARINE SCIENCES DIRECTORATE
DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, OTTAWA
© Her Majesty The Queen in Right of Canada 1973

Fleuve Saint-Laurent
GROSSE ILE À / TO QUÉBEC

1208

ANNEXE A-2

Vérification hydrodynamique des sous-réseaux

(Figures 4.1 à 4.42 et 4.46 à 4.75)

Etant donné que le programme des tracés fournit les renseignements sur les graphiques en langue anglaise, afin d'éviter toute confusion les titres apparaissent aussi en anglais.

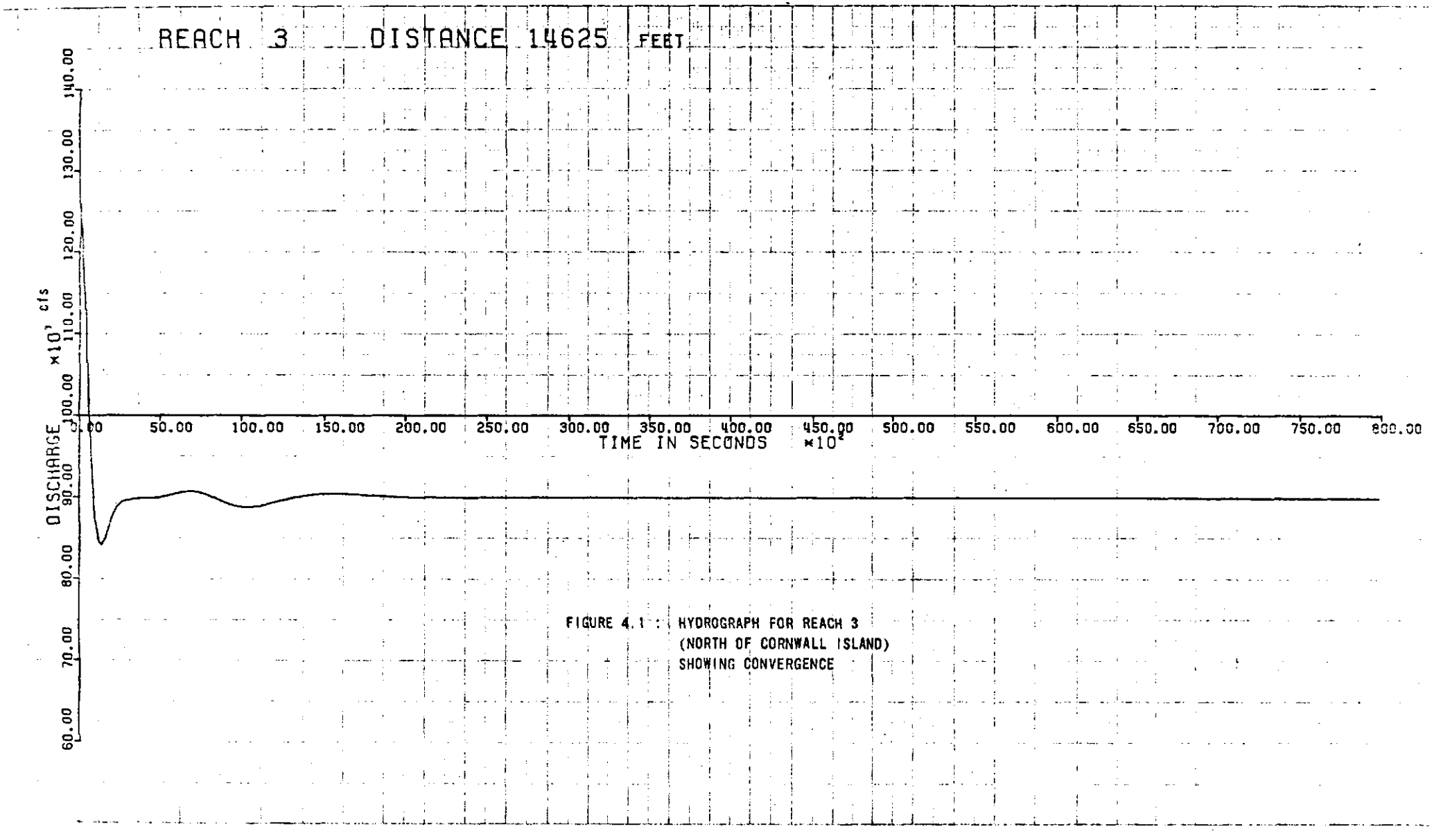


FIGURE 4.1 : HYDROGRAPH FOR REACH 3
(NORTH OF CORNWALL ISLAND)
SHOWING CONVERGENCE

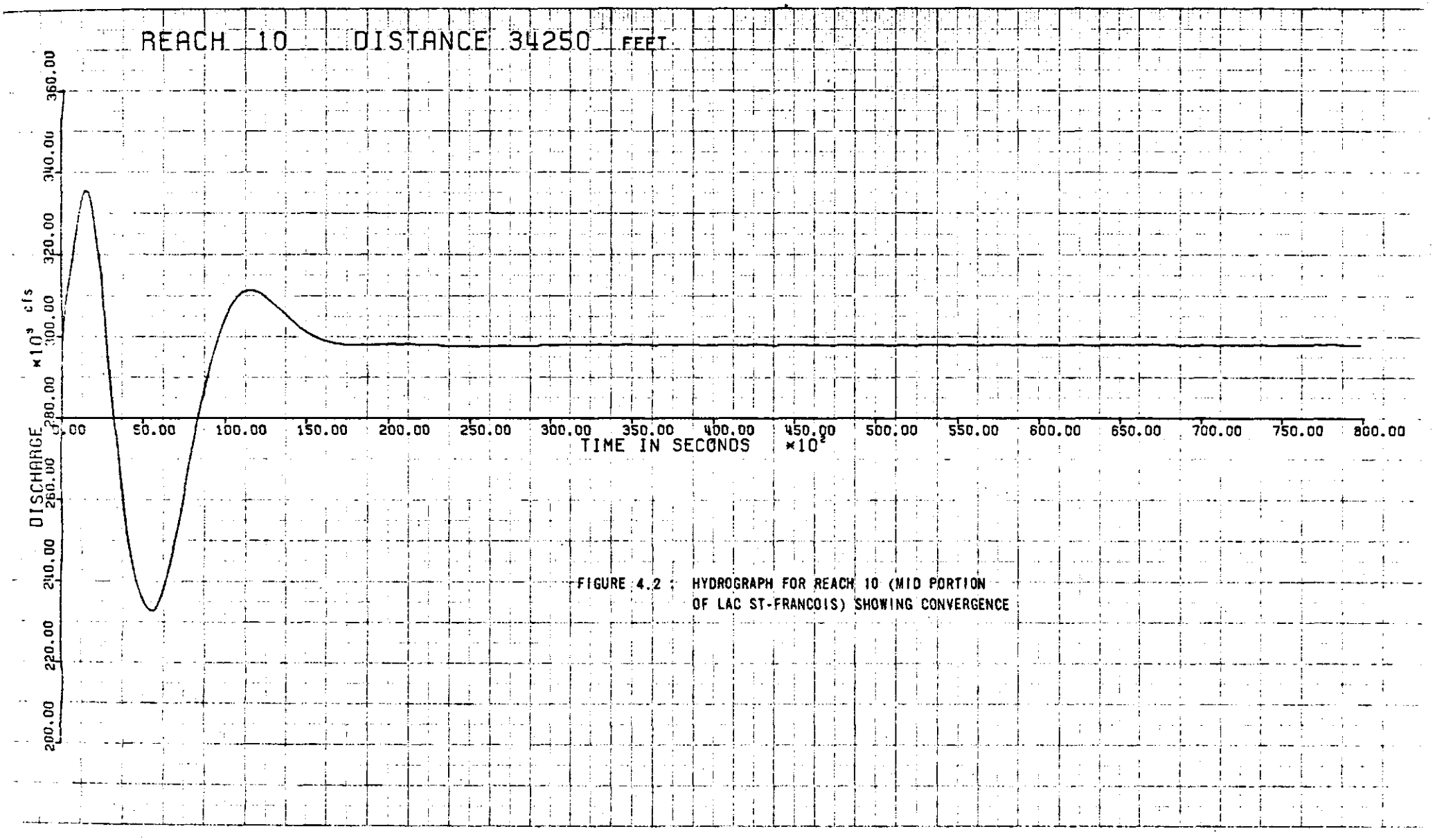


FIGURE 4.2 : HYDROGRAPH FOR REACH 10 (MID PORTION OF LAC ST-FRANCOIS) SHOWING CONVERGENCE

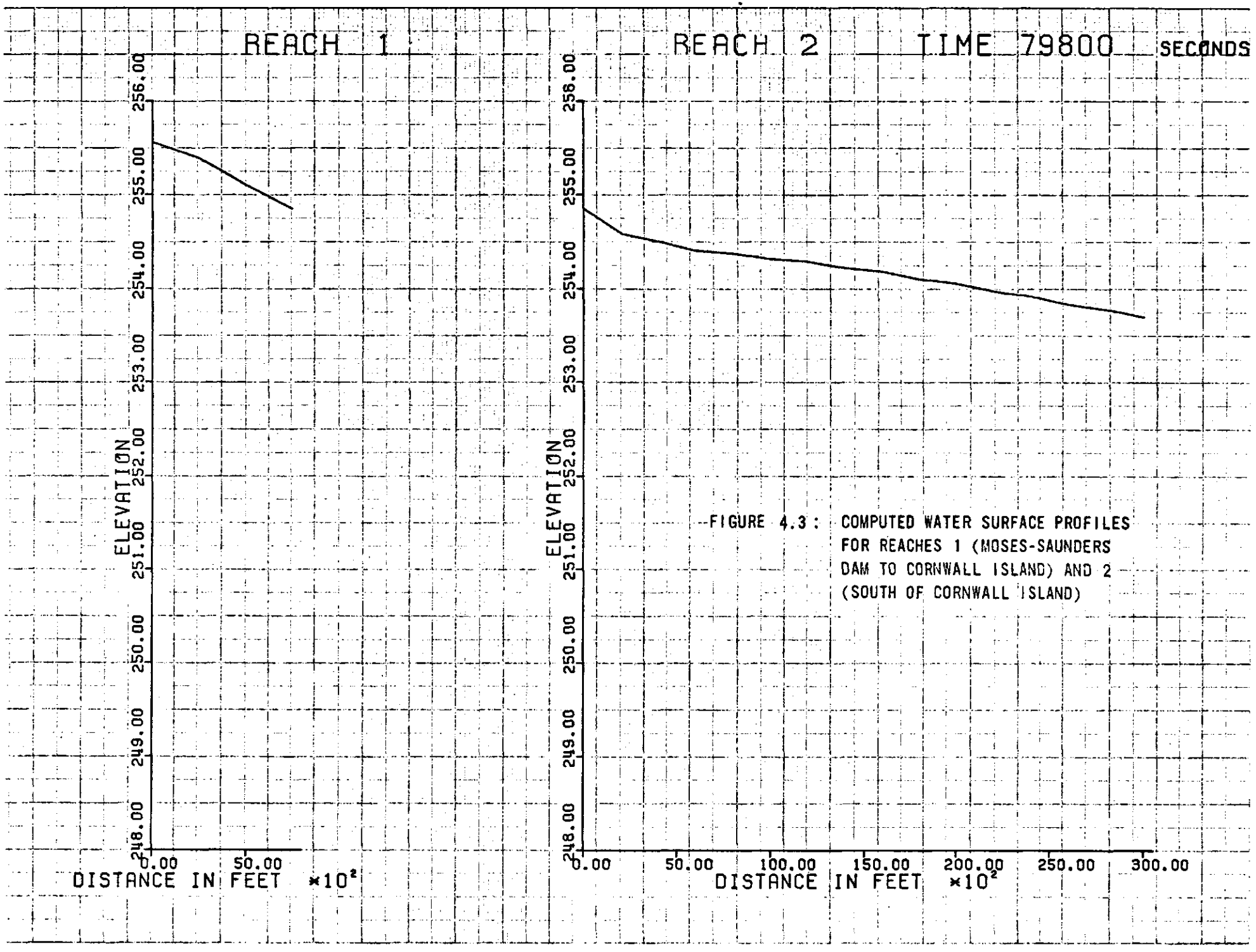


FIGURE 4.3 : COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 1 (MOSES-SAUNDERS DAM TO CORNWALL ISLAND) AND 2 (SOUTH OF CORNWALL ISLAND)

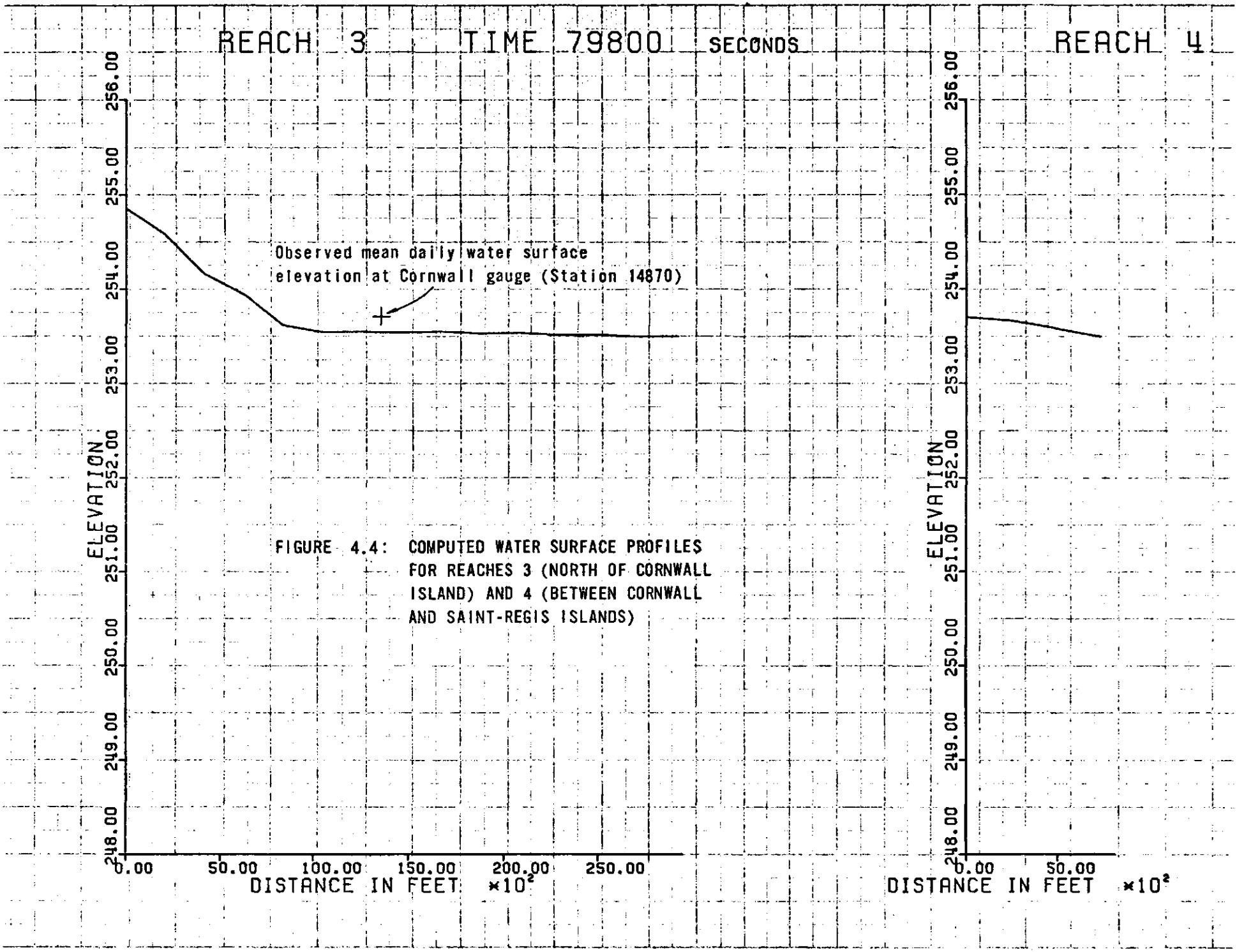


FIGURE 4.4: COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 3 (NORTH OF CORNWALL ISLAND) AND 4 (BETWEEN CORNWALL AND SAINT-REGIS ISLANDS)

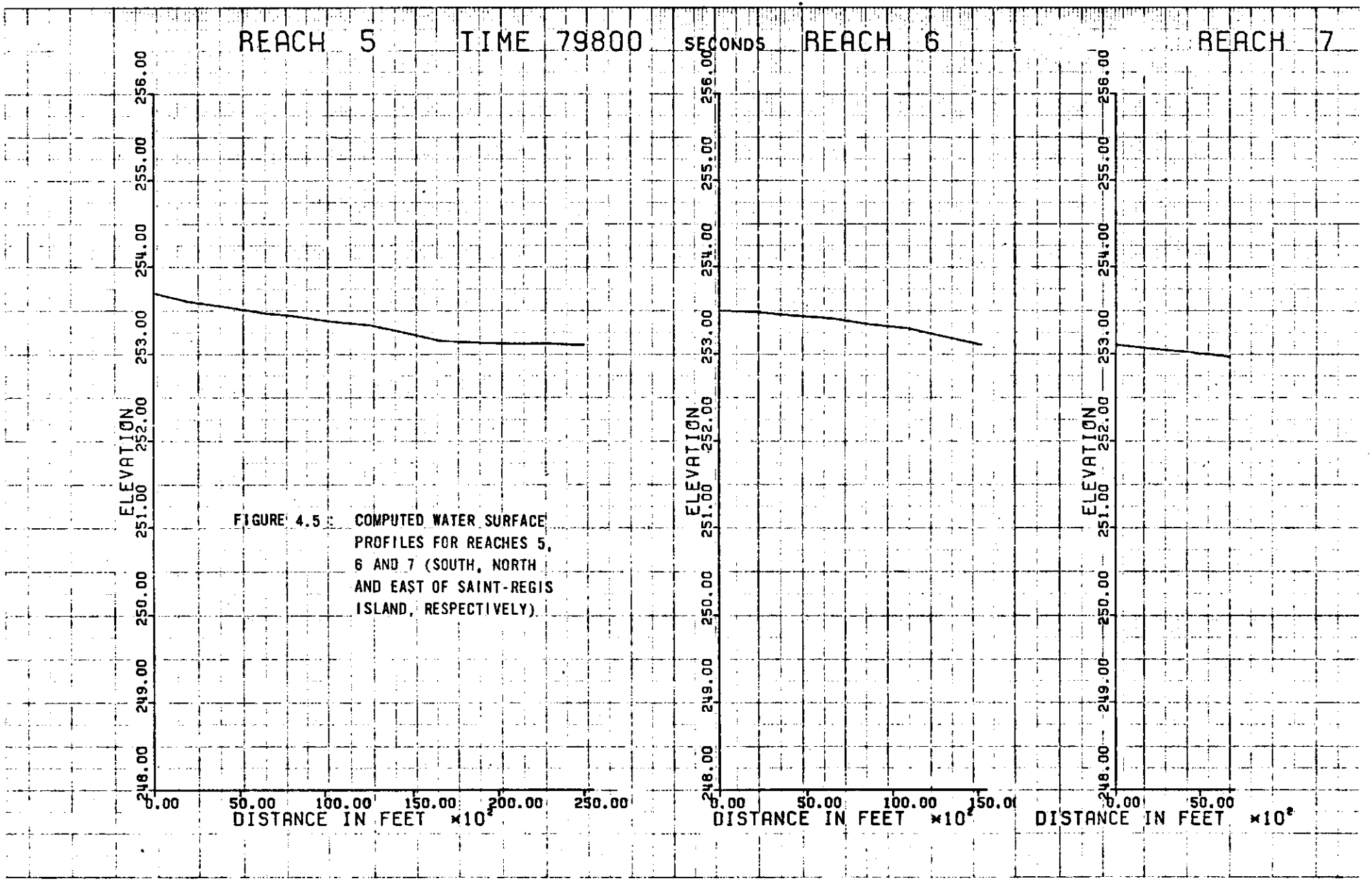


FIGURE 4.5 : COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 5, 6 AND 7 (SOUTH, NORTH AND EAST OF SAINT-REGIS ISLAND, RESPECTIVELY).

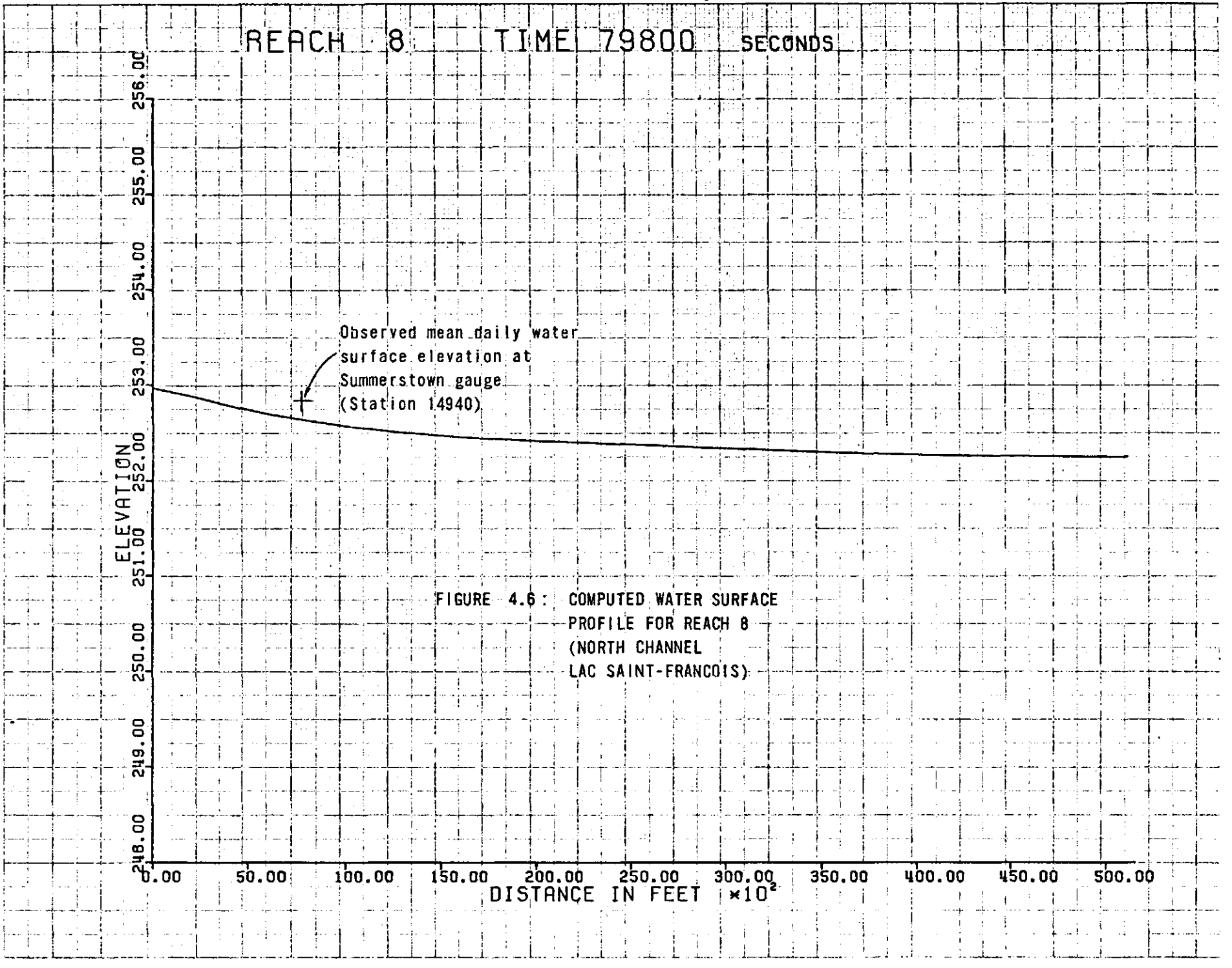


FIGURE 4.6 : COMPUTED WATER SURFACE PROFILE FOR REACH 8 (NORTH CHANNEL LAC SAINT-FRANCOIS)

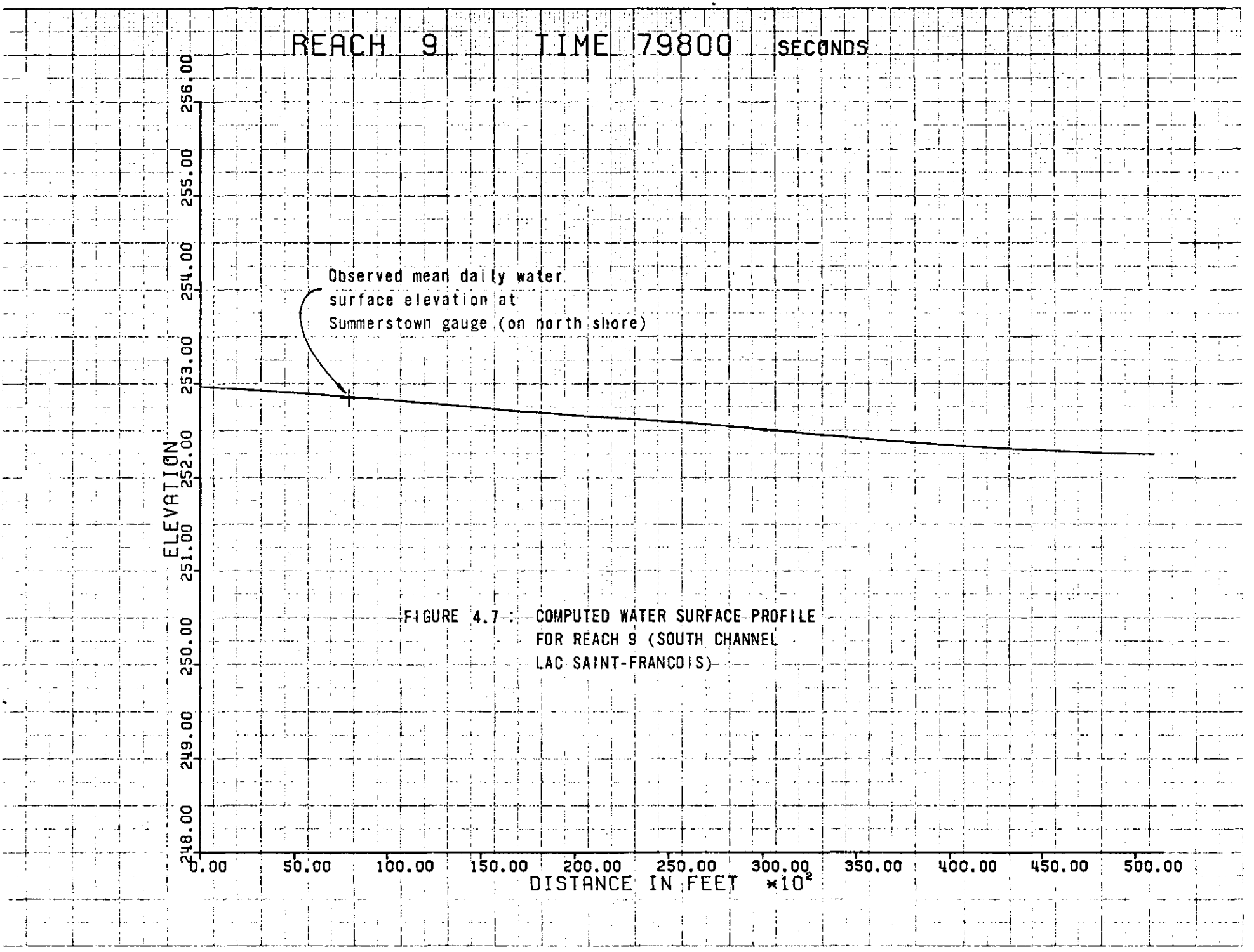


FIGURE 4.7: COMPUTED WATER SURFACE PROFILE FOR REACH 9 (SOUTH CHANNEL LAC SAINT-FRANCOIS)

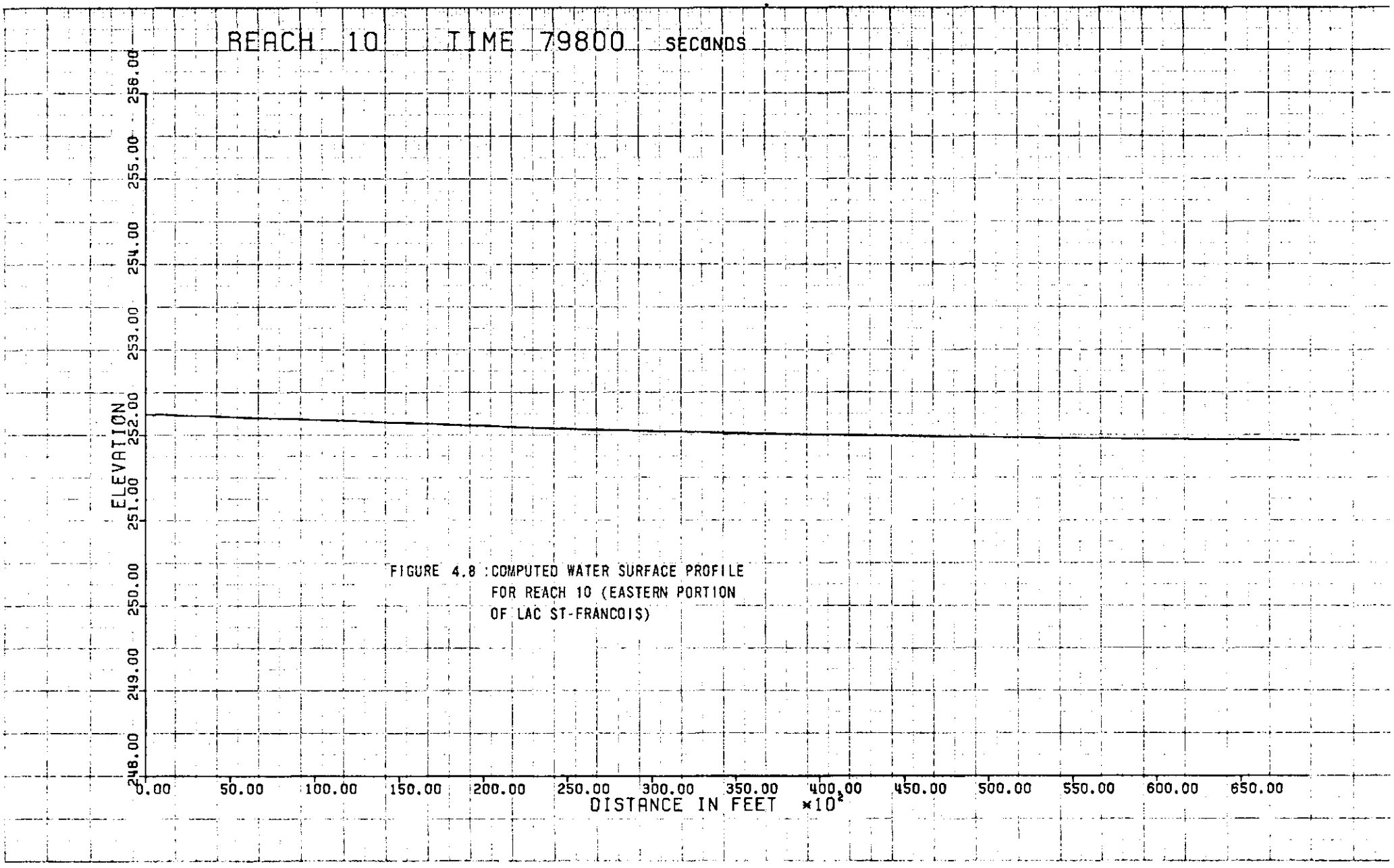


FIGURE 4.8 : COMPUTED WATER SURFACE PROFILE FOR REACH 10 (EASTERN PORTION OF LAC ST-FRANCOIS)

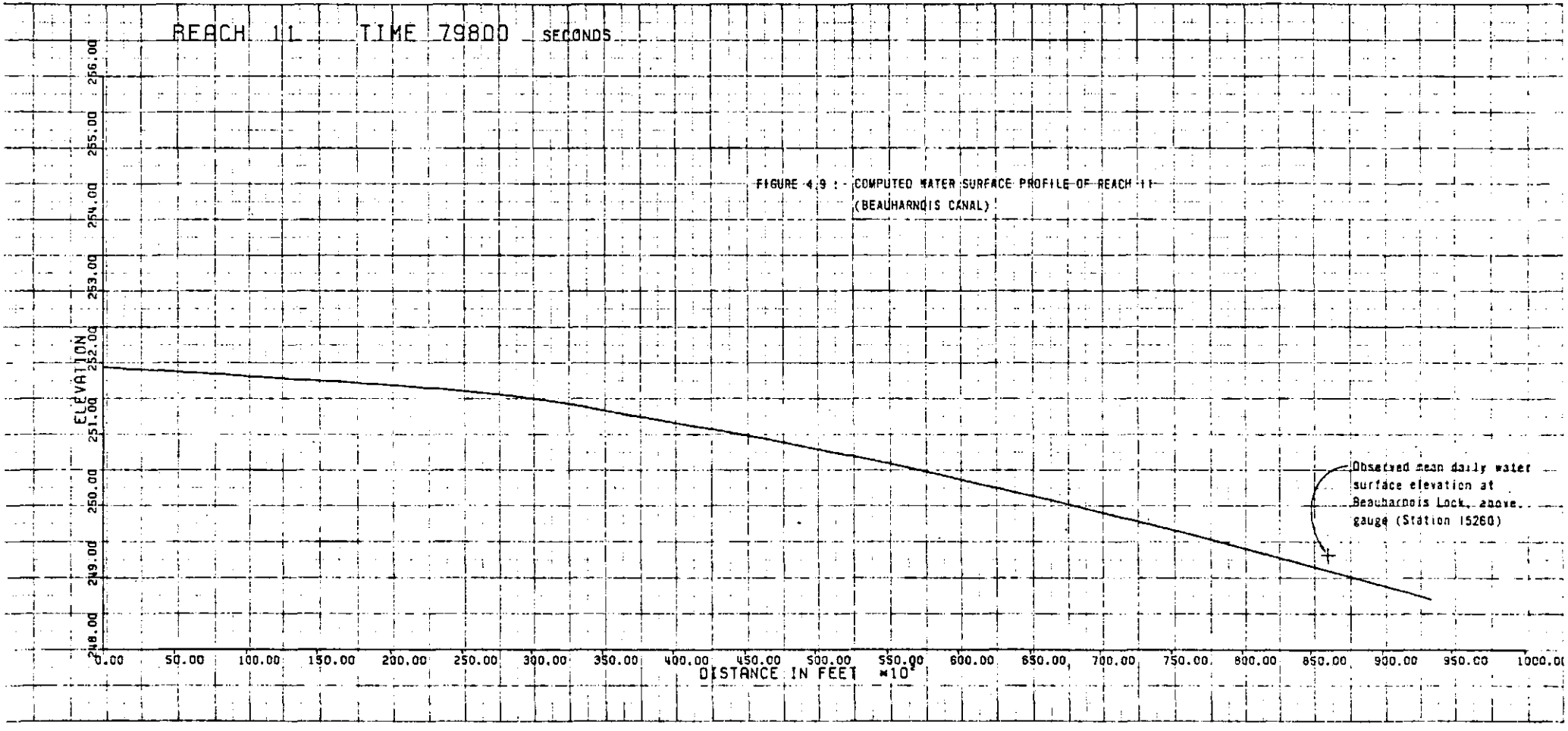


FIGURE 4.9 : COMPUTED WATER SURFACE PROFILE OF REACH 11 (BEAUHARNOIS CANAL)

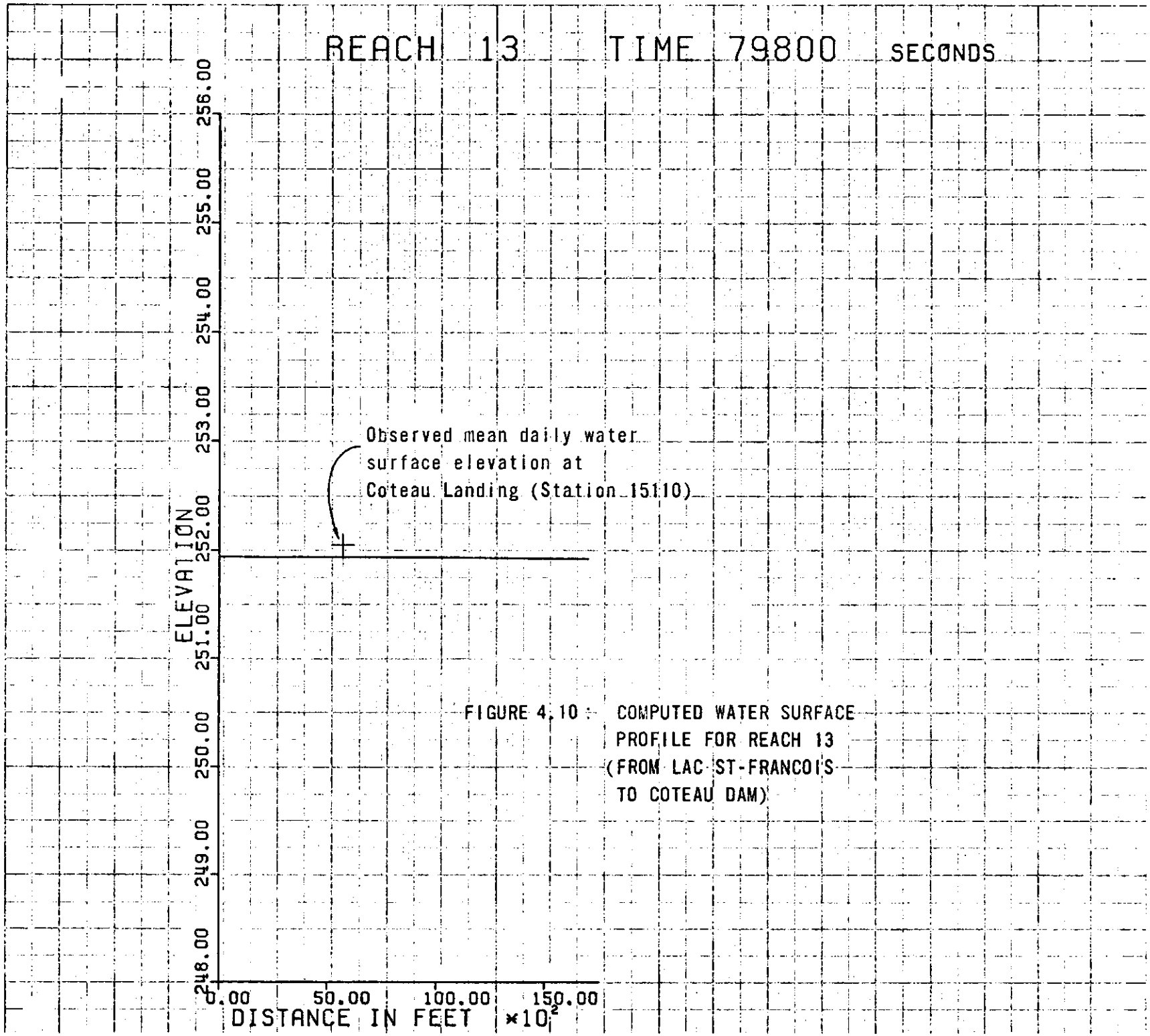


FIGURE 4.10 : COMPUTED WATER SURFACE PROFILE FOR REACH 13 (FROM LAC ST-FRANCOIS TO COTEAU DAM)

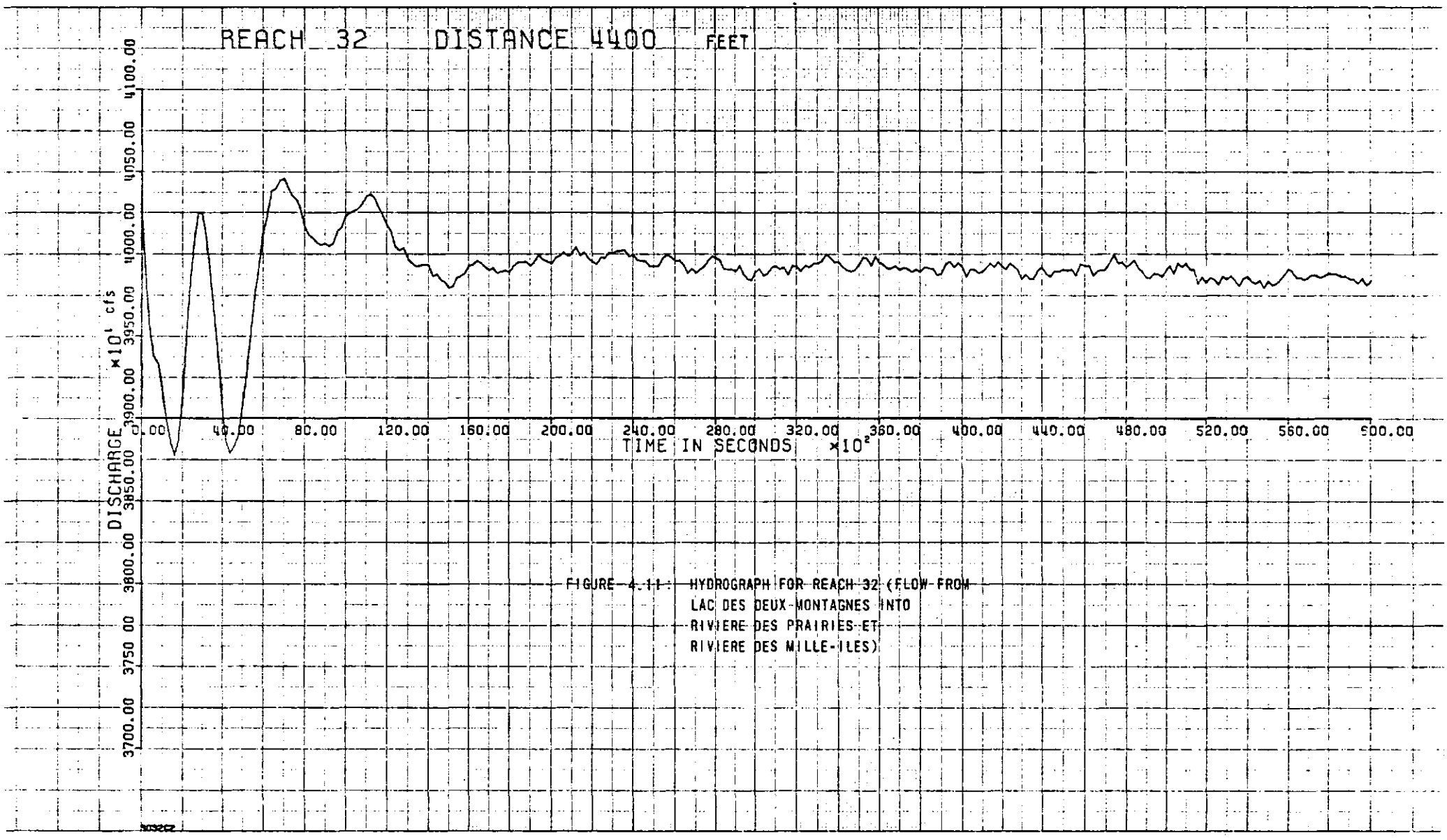


FIGURE 4.11: HYDROGRAPH FOR REACH 32 (FLOW FROM LAC DES DEUX-MONTAGNES INTO RIVIERE DES PRAIRIES ET RIVIERE DES MILLE-ILES)

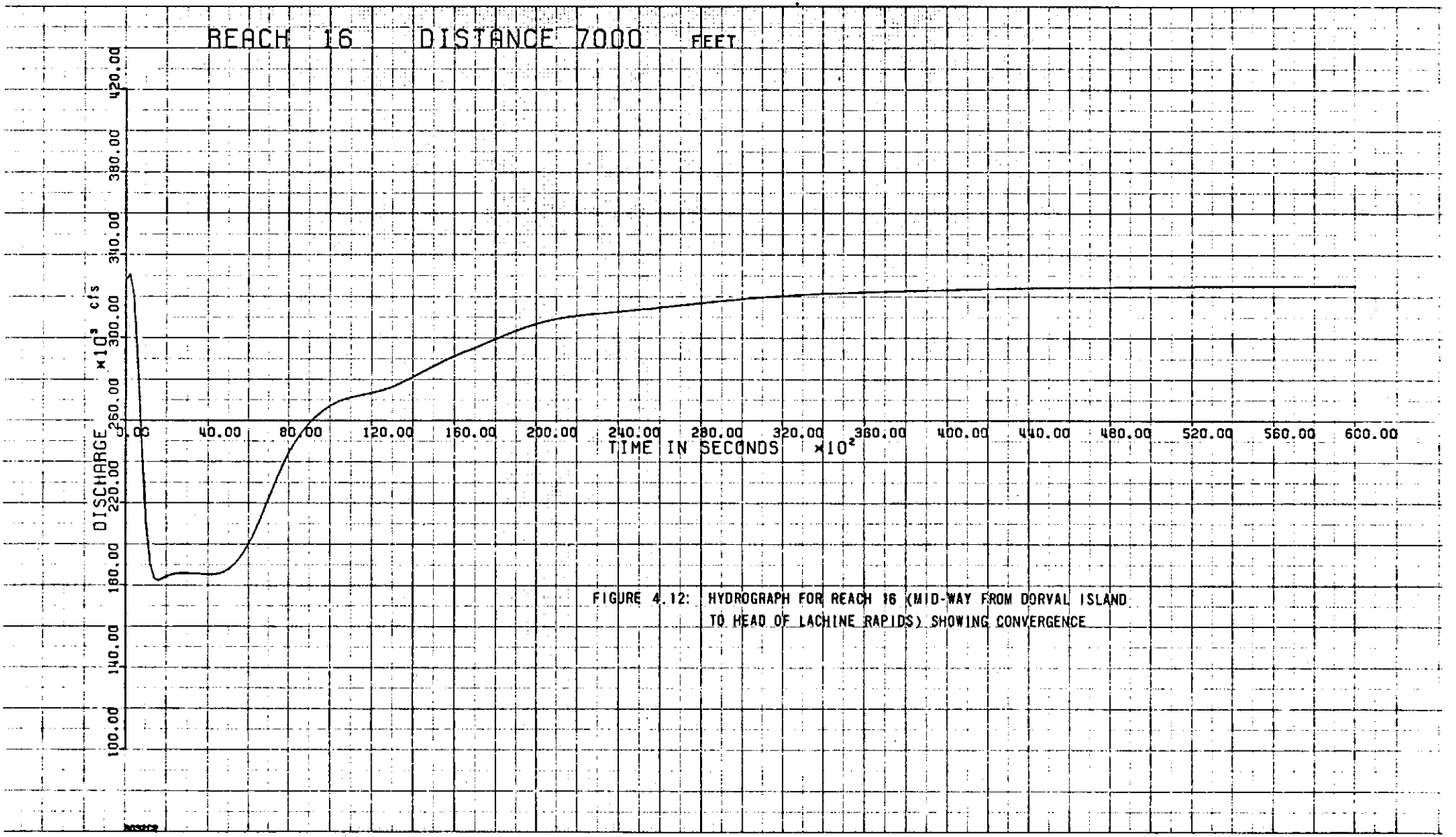


FIGURE 4.12: HYDROGRAPH FOR REACH 16 (MID-WAY FROM DORVAL ISLAND TO HEAD OF LACHINE RAPIDS) SHOWING CONVERGENCE

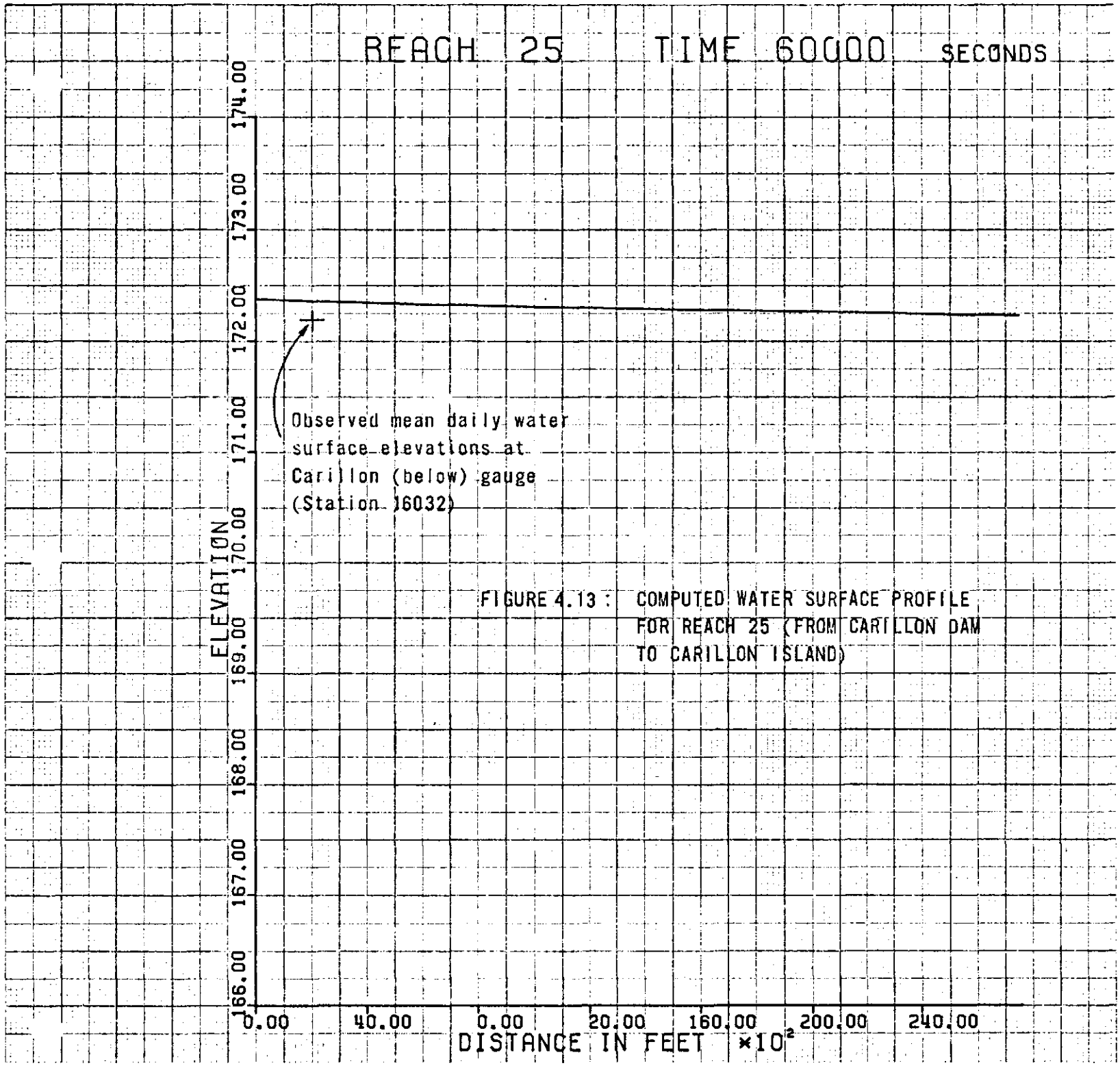


FIGURE 4.13 : COMPUTED WATER SURFACE PROFILE FOR REACH 25 (FROM CARILLON DAM TO CARILLON ISLAND)

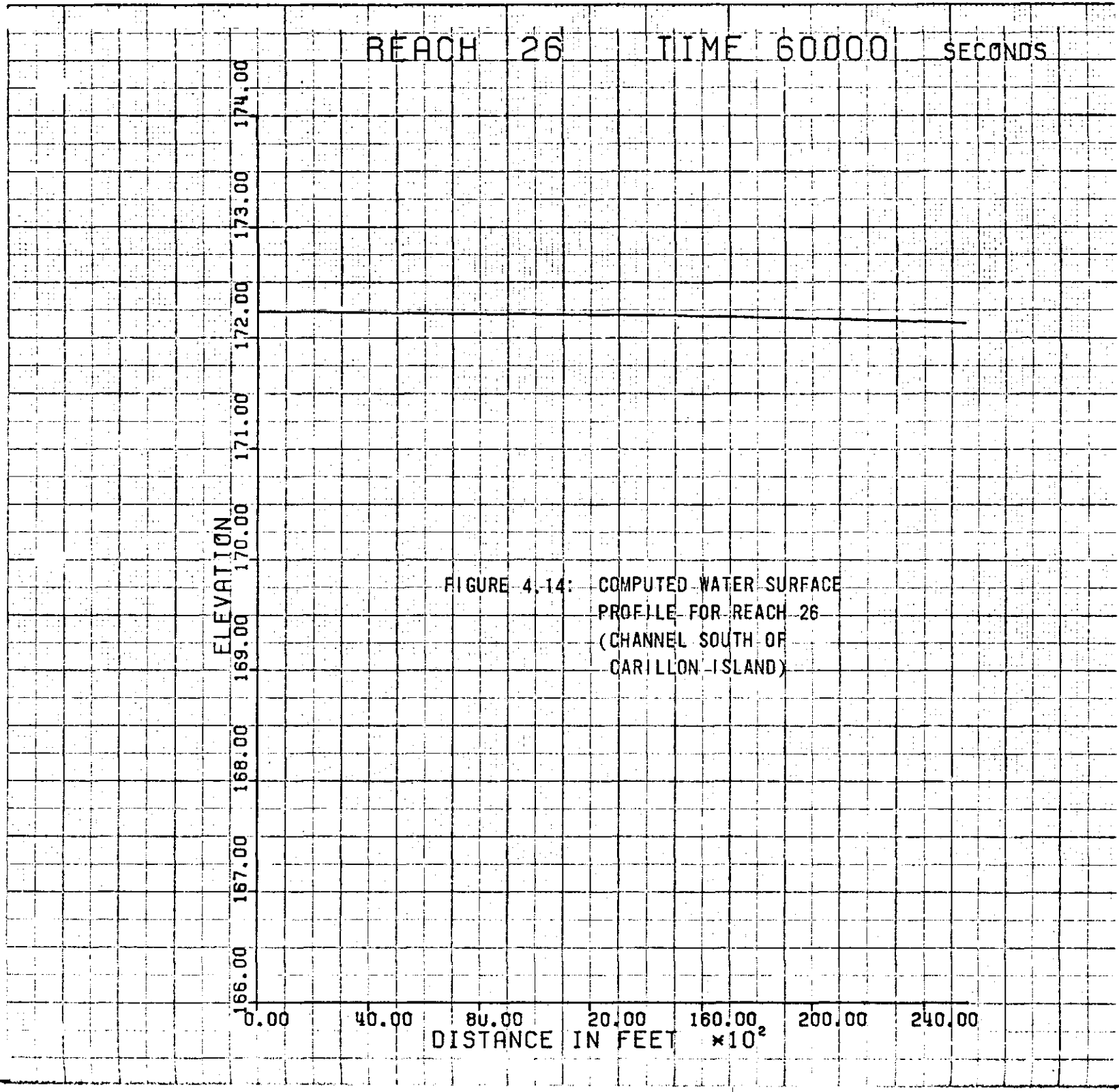


FIGURE 4.14: COMPUTED WATER SURFACE PROFILE FOR REACH 26 (CHANNEL SOUTH OF CARILLON ISLAND)

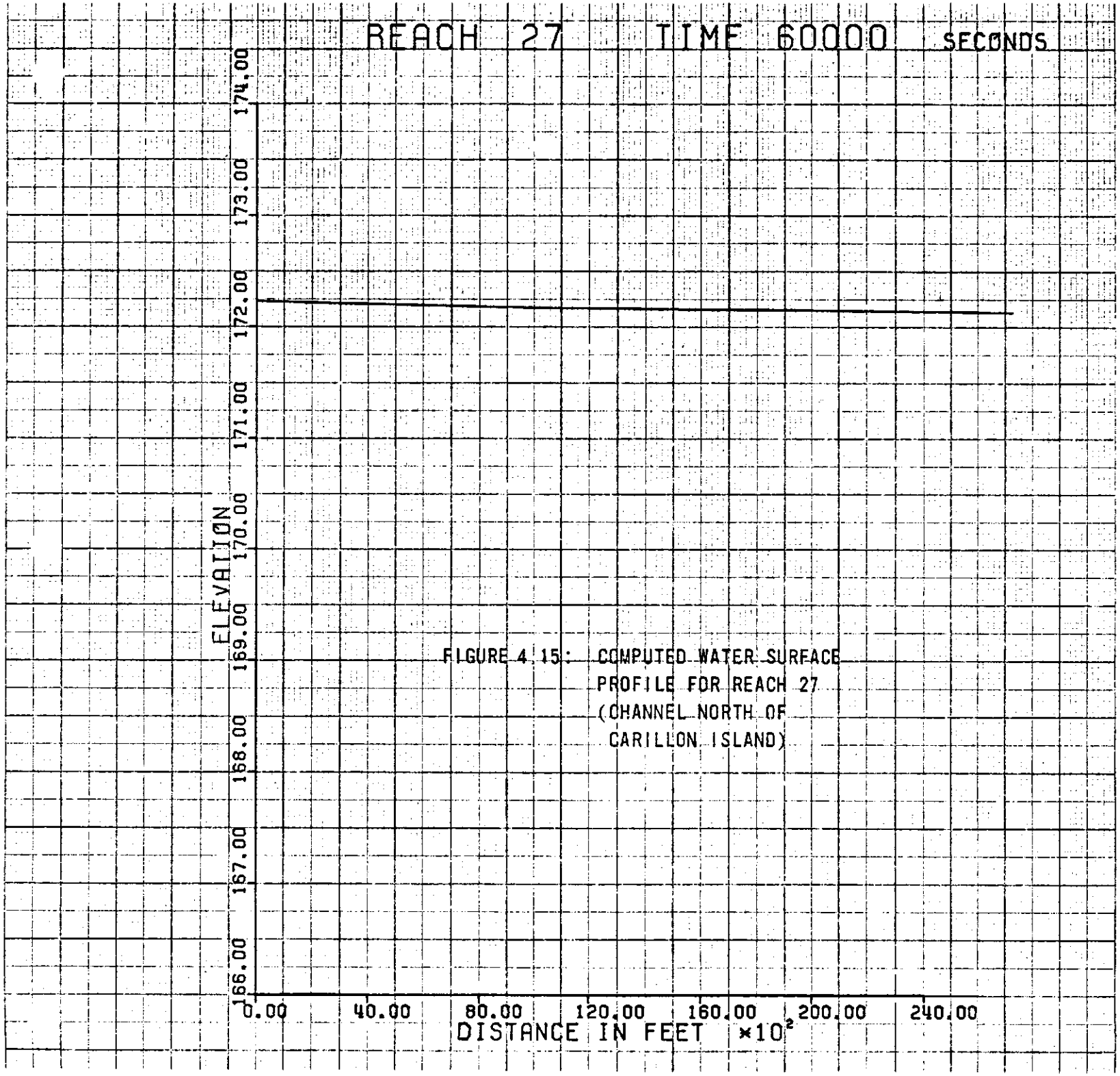


FIGURE 4.15: COMPUTED WATER SURFACE PROFILE FOR REACH 27 (CHANNEL NORTH OF CARILLON ISLAND)

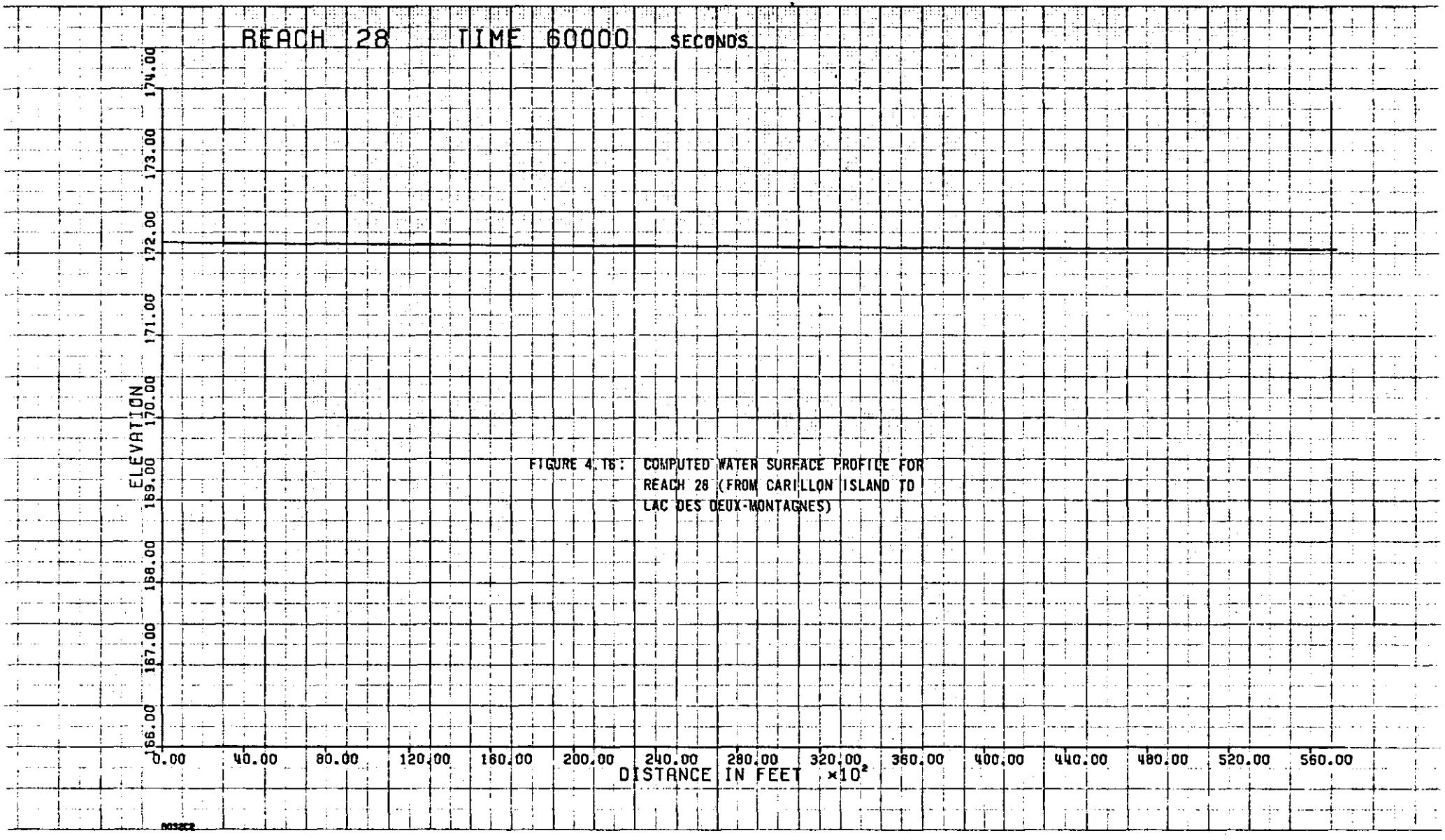


FIGURE 4.16: COMPUTED WATER SURFACE PROFILE FOR REACH 28 (FROM CARILLON ISLAND TO LAC DES DEUX-MONTAGNES)

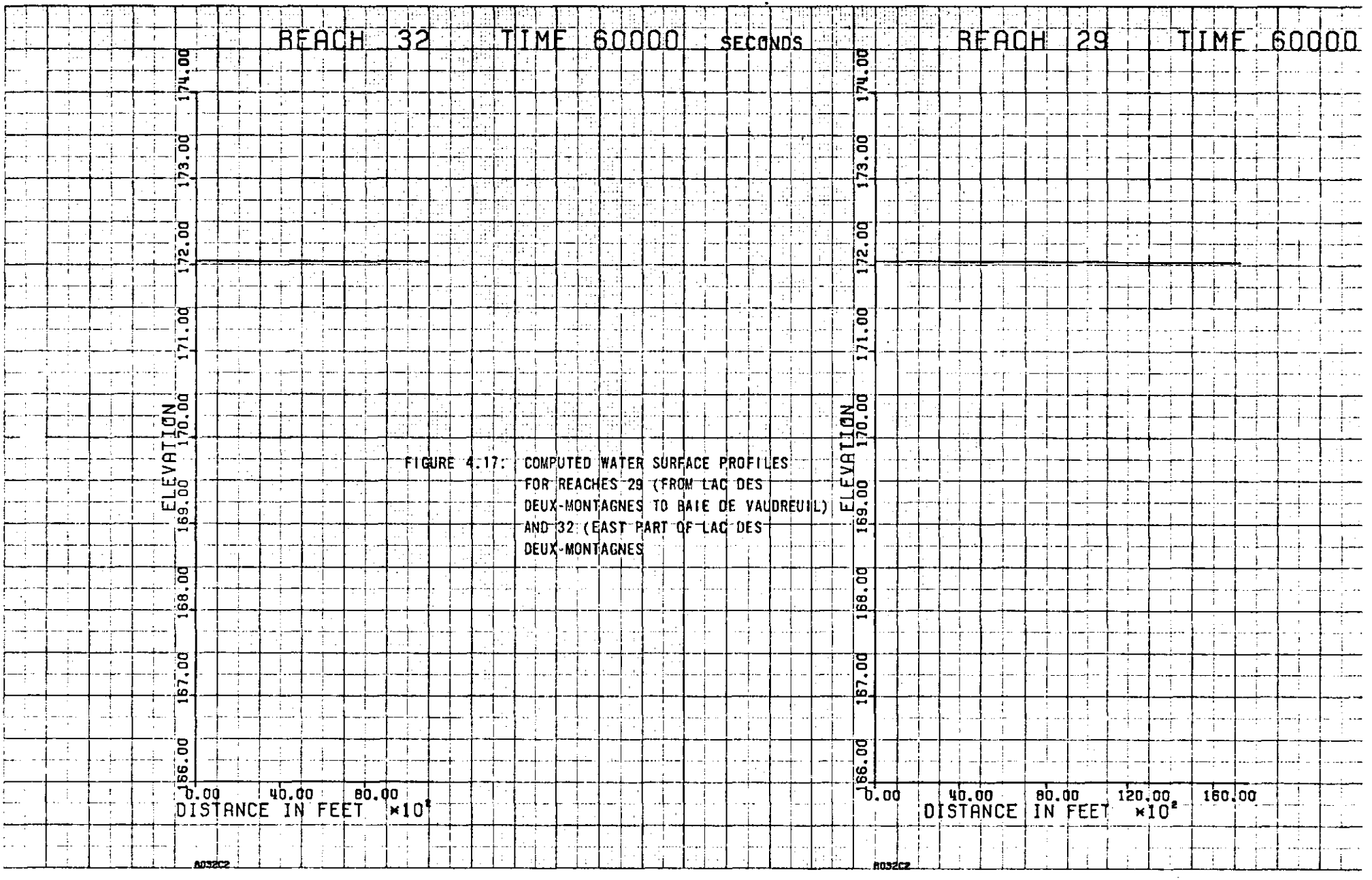


FIGURE 4.17: COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 29 (FROM LAC DES DEUX-MONTAGNES TO BAIE DE VAUDREUIL) AND 32 (EAST PART OF LAC DES DEUX-MONTAGNES

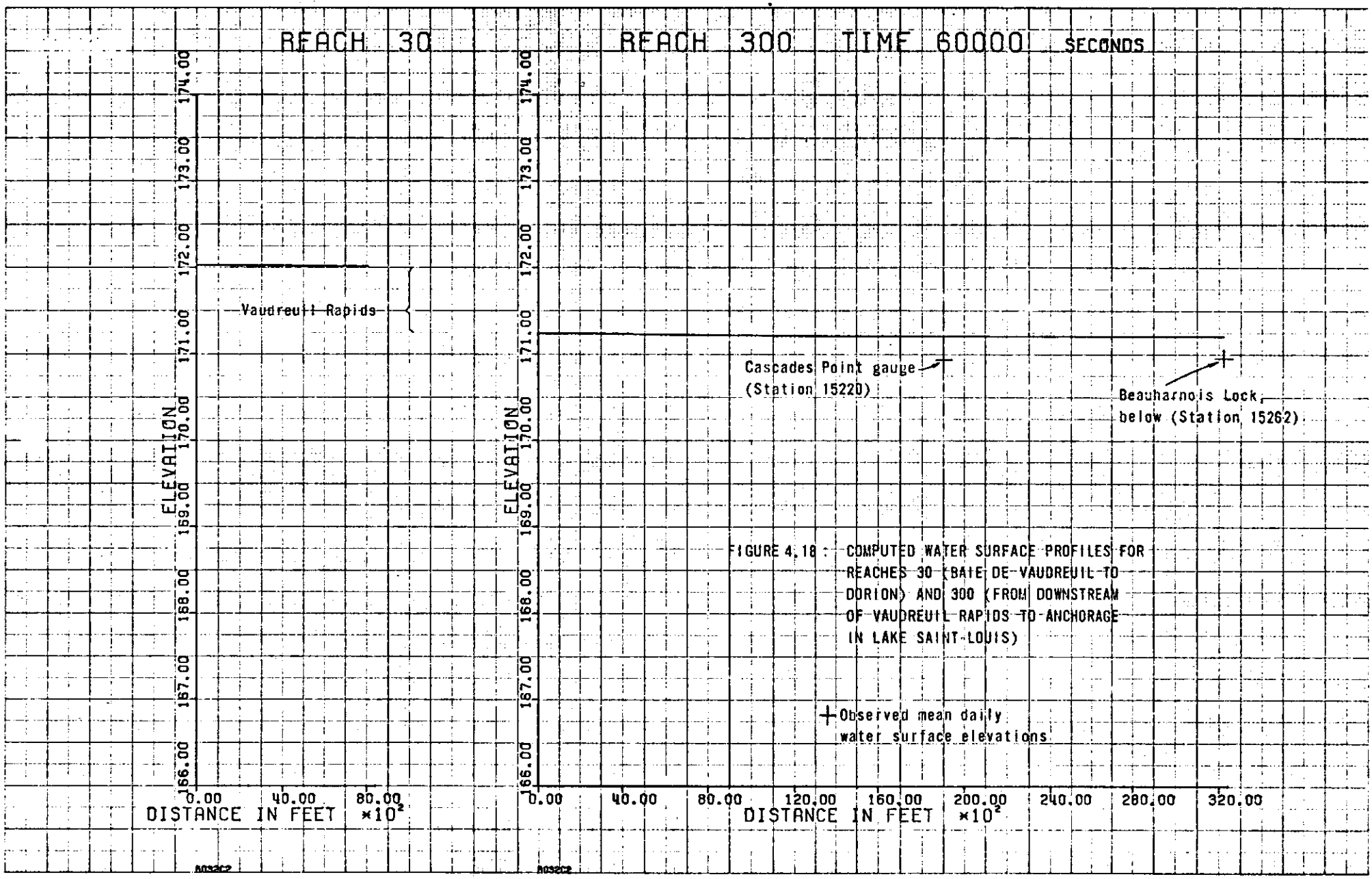


FIGURE 4.18 : COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 30 (BAIE DE VAUDREUIL TO DORION) AND 300 (FROM DOWNSTREAM OF VAUDREUIL RAPIDS TO ANCHORAGE IN LAKE SAINT-LOUIS)

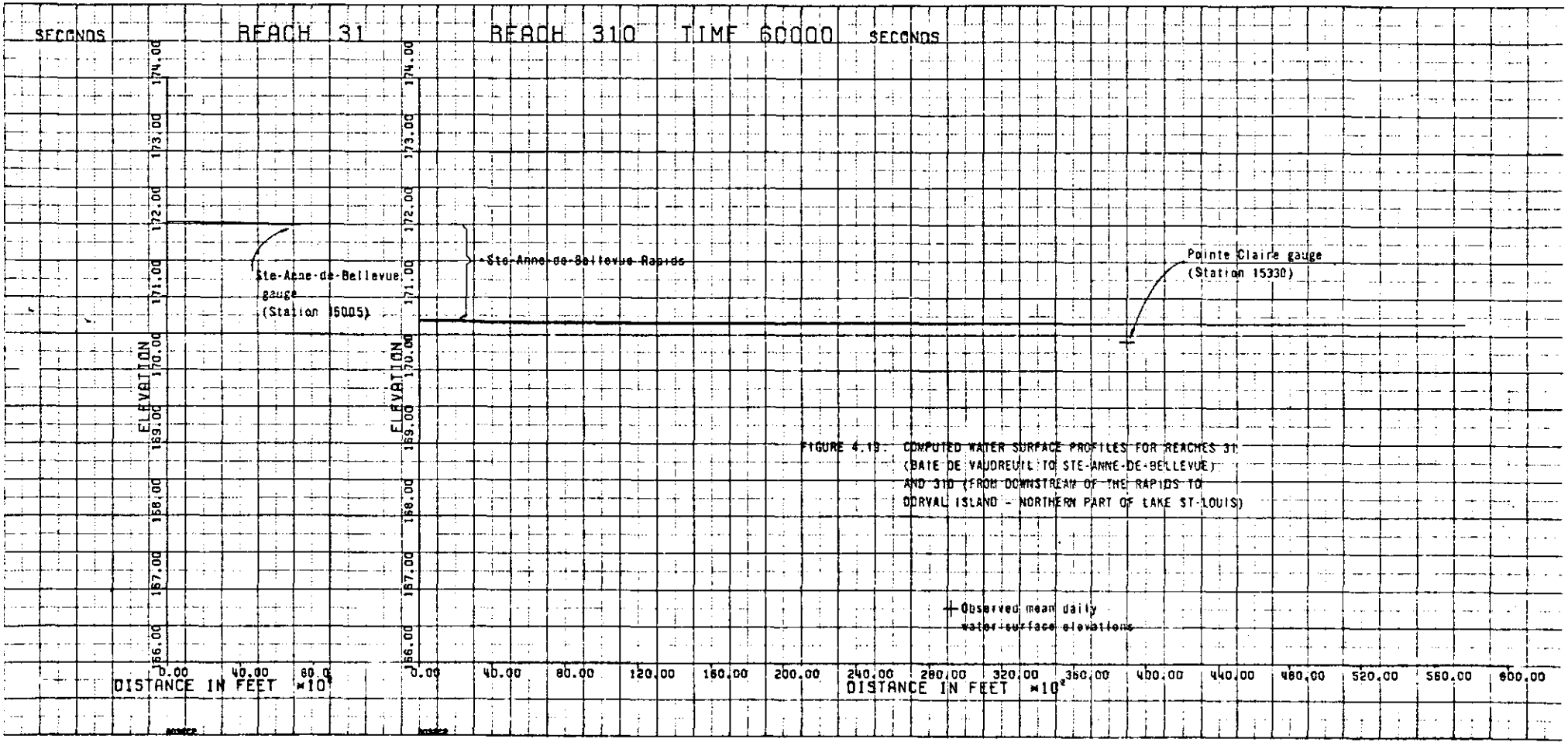


FIGURE 4.19: COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 31 (BAIE DE VAUDREUIL TO STE-ANNE-DE-BELLEVUE) AND 310 (FROM DOWNSTREAM OF THE RAPIDS TO ORVAL ISLAND - NORTHERN PART OF LAKE ST-LOUIS)

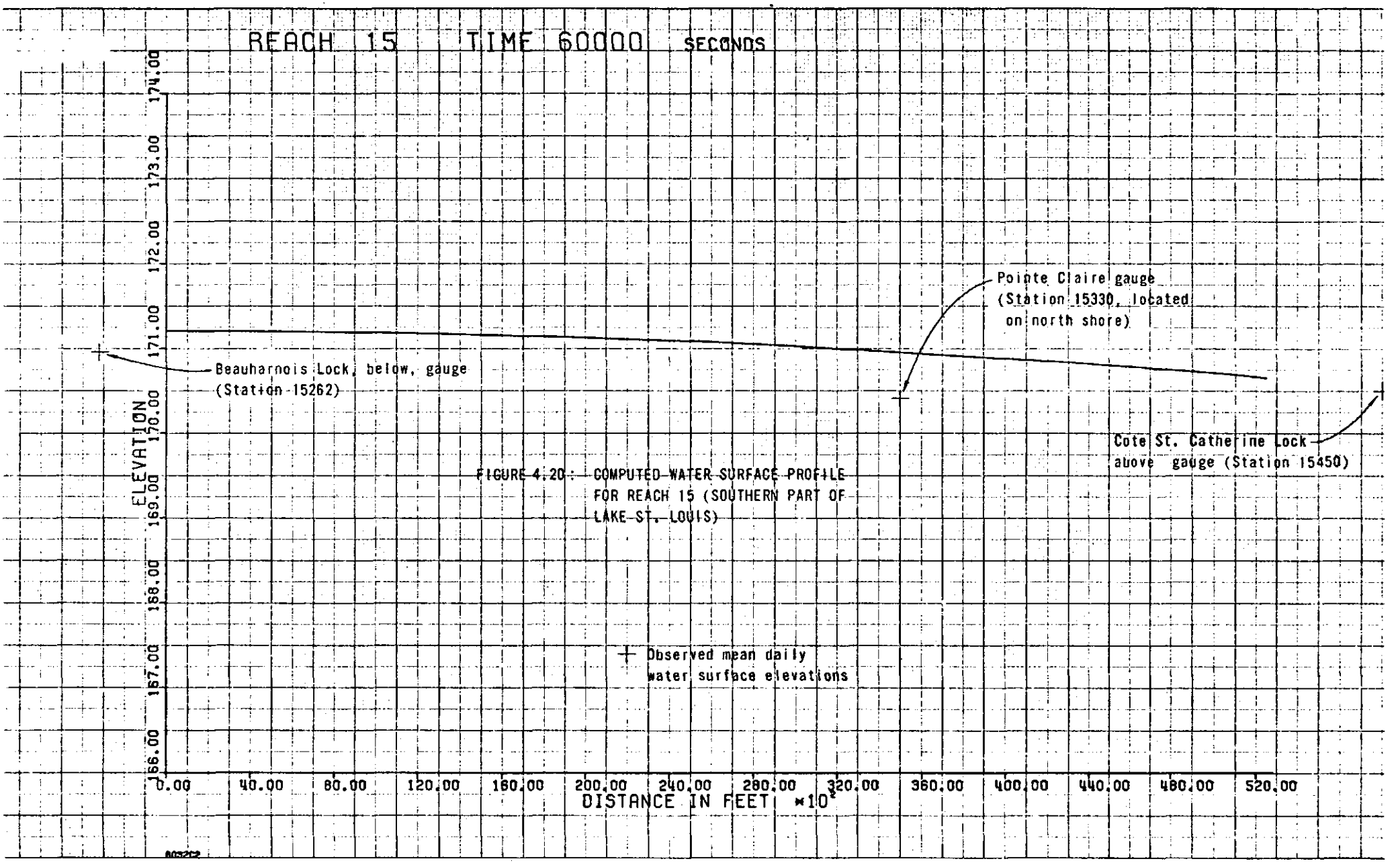


FIGURE 4.20: COMPUTED WATER SURFACE PROFILE FOR REACH 15 (SOUTHERN PART OF LAKE ST. LOUIS)

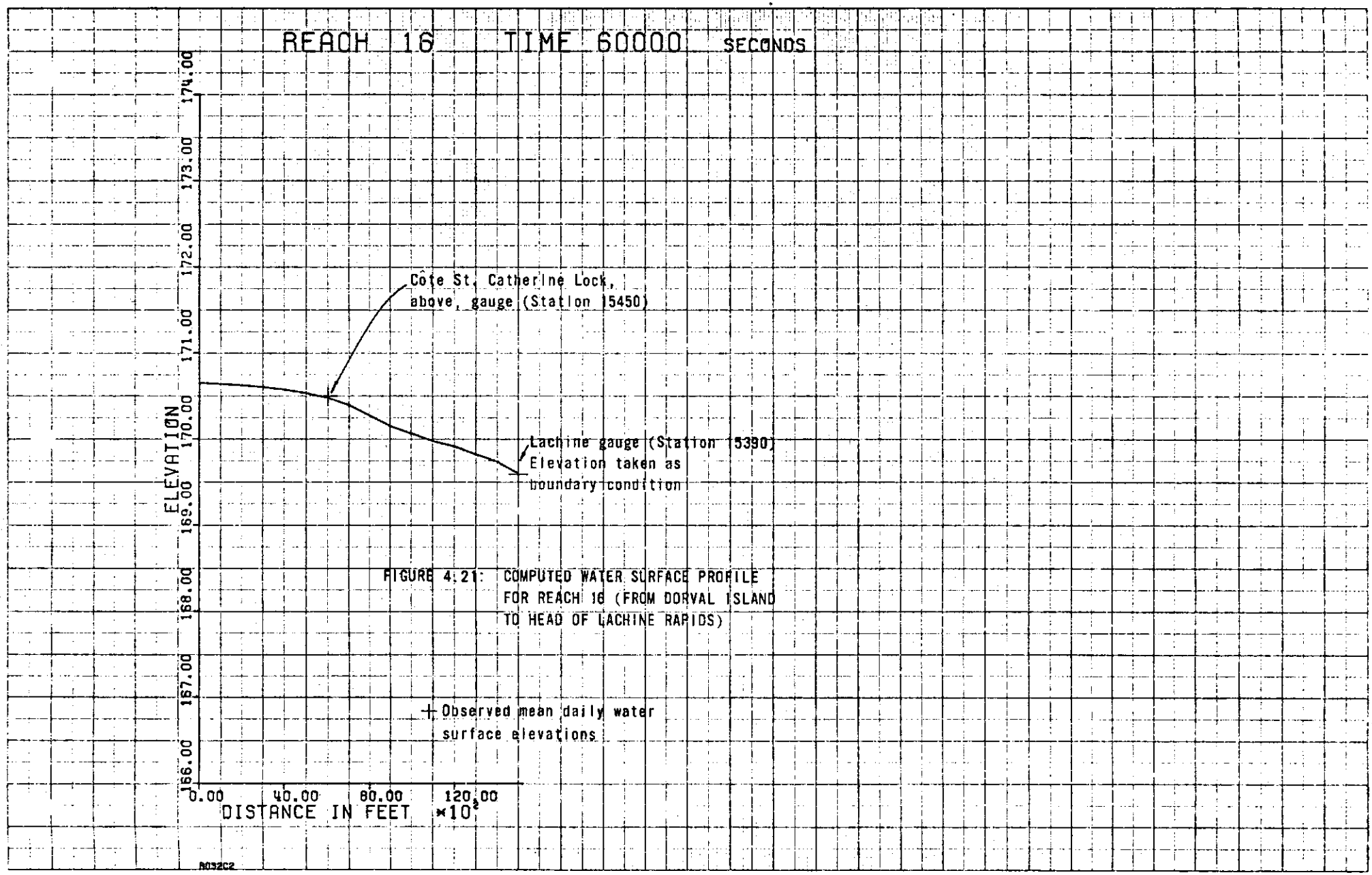


FIGURE 4.21: COMPUTED WATER SURFACE PROFILE FOR REACH 16 (FROM DORVAL ISLAND TO HEAD OF LACHINE RAPIDS)

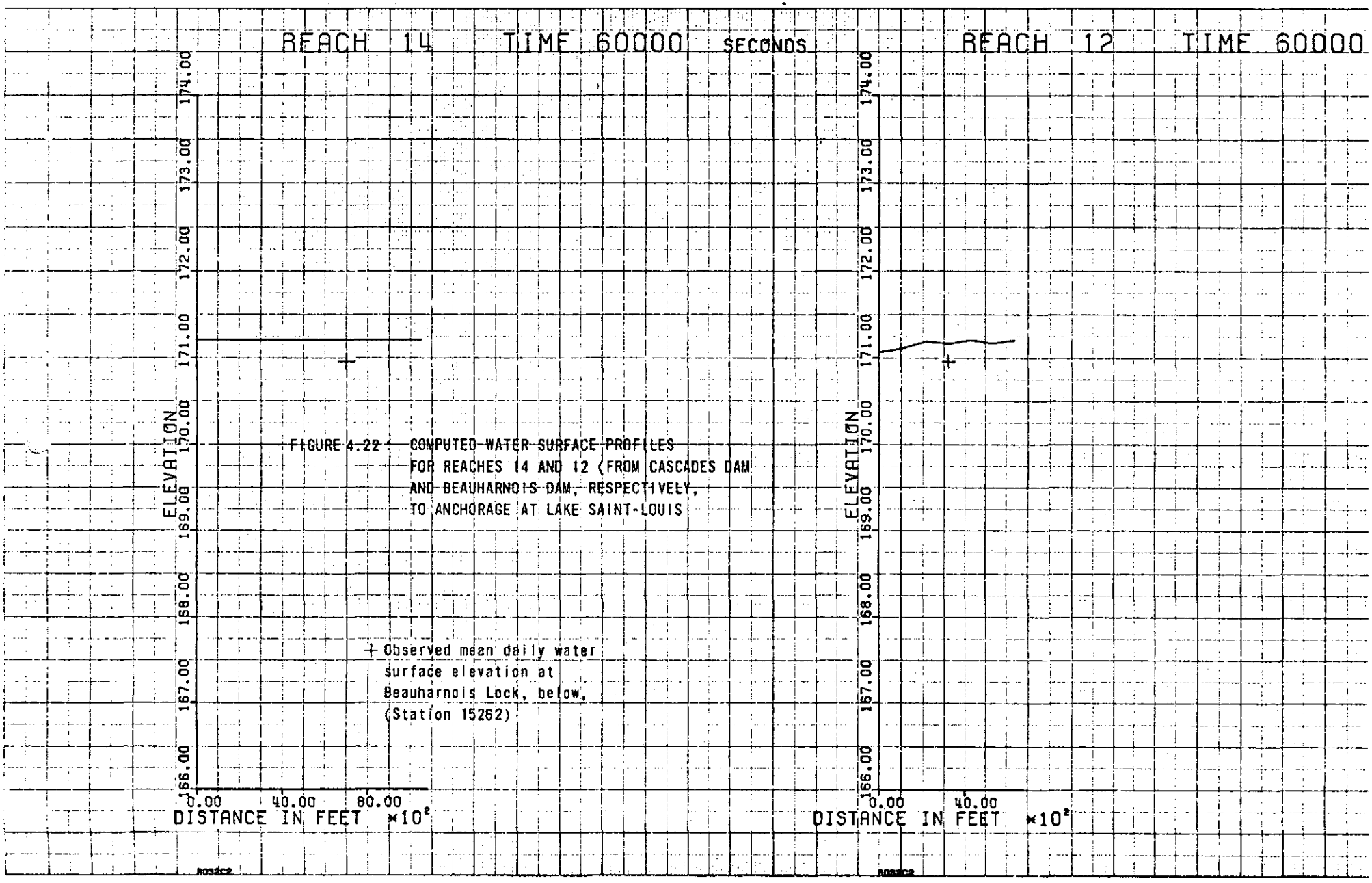


FIGURE 4.22 - COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 14 AND 12 (FROM CASCADES DAM AND BEAUHARNOIS DAM, RESPECTIVELY, TO ANCHORAGE AT LAKE SAINT-LOUIS

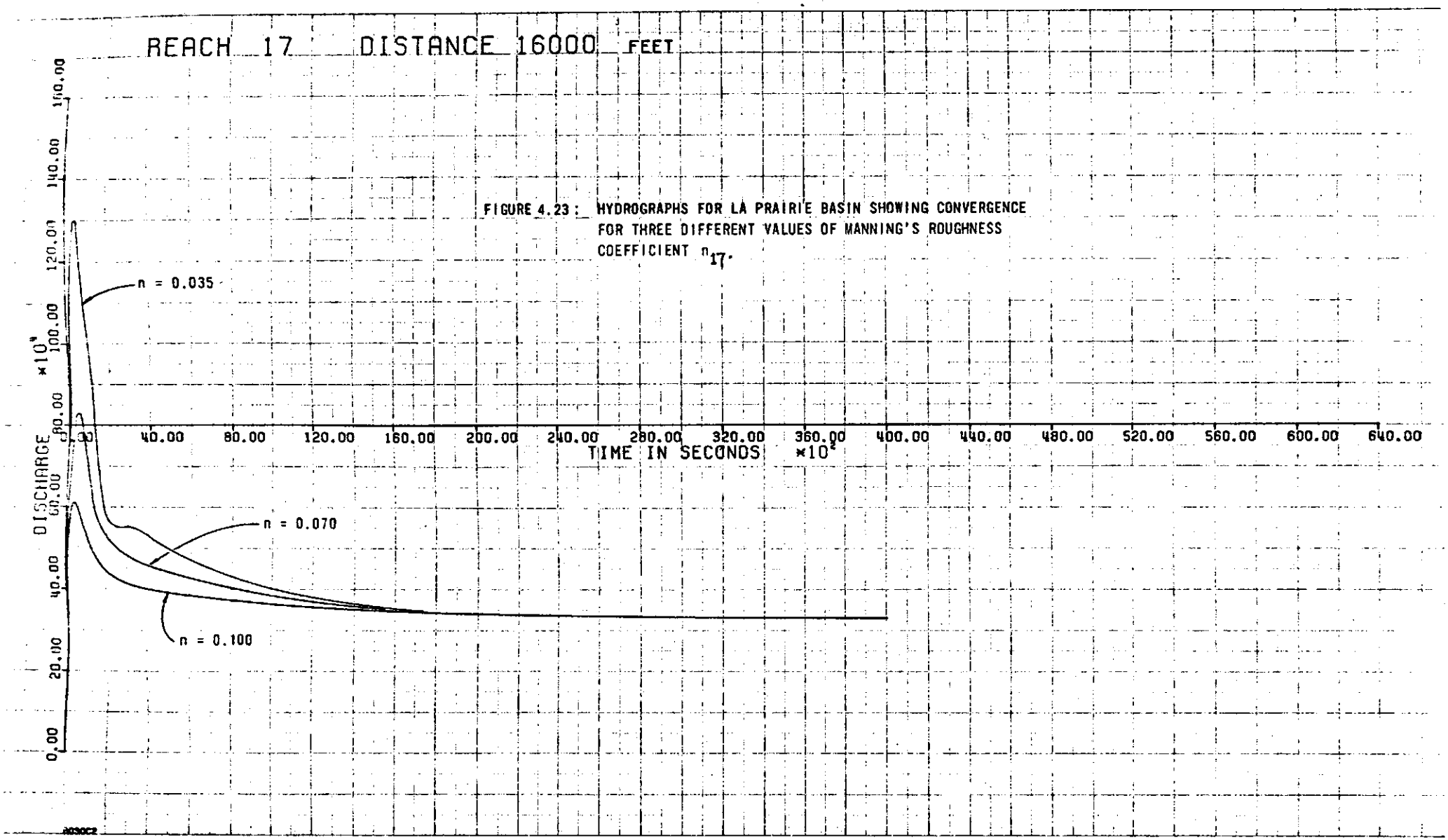


FIGURE 4.23 : HYDROGRAPHS FOR LA PRAIRIE BASIN SHOWING CONVERGENCE FOR THREE DIFFERENT VALUES OF MANNING'S ROUGHNESS COEFFICIENT n_{17}.

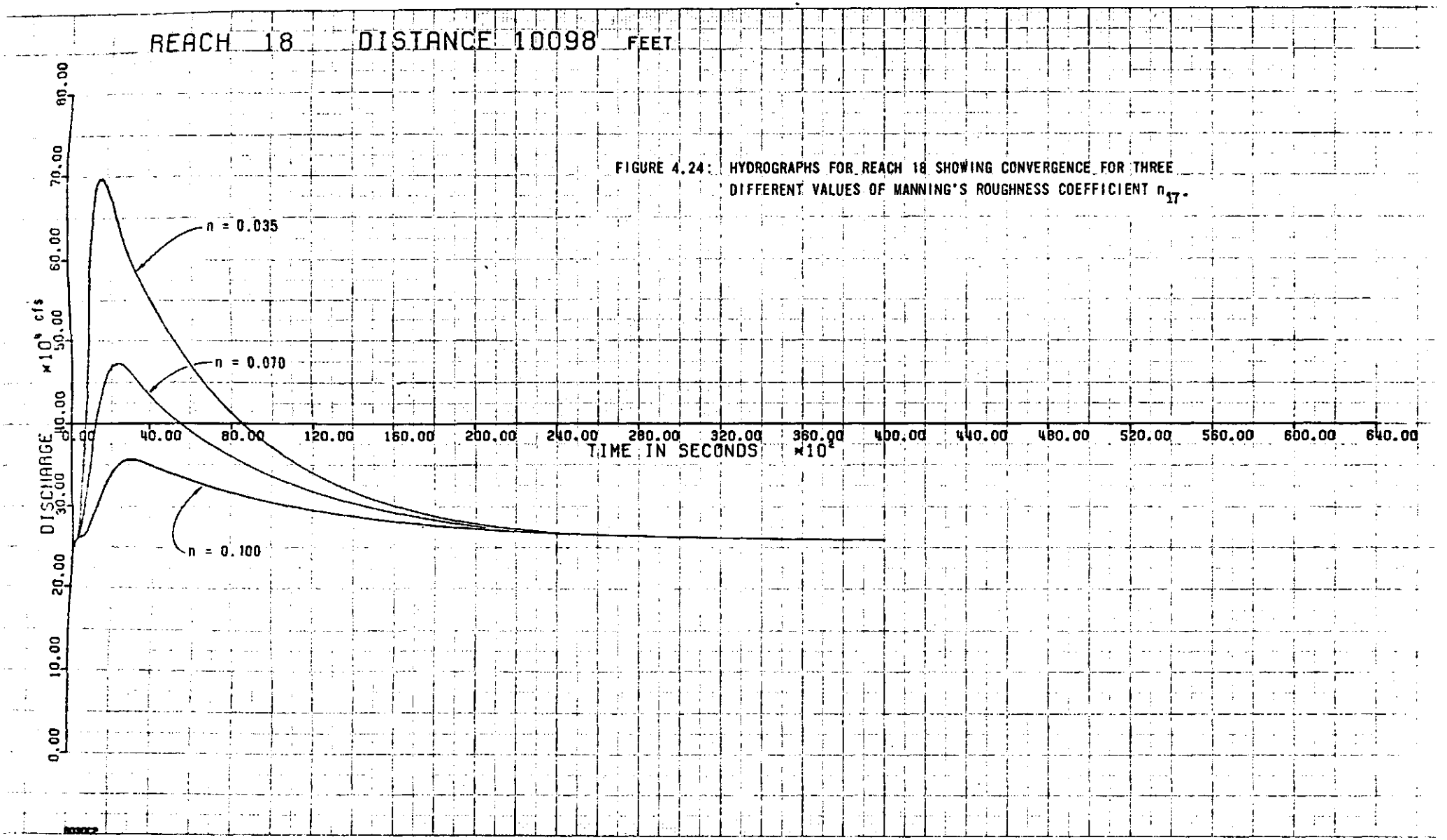


FIGURE 4.24: HYDROGRAPHS FOR REACH 18 SHOWING CONVERGENCE FOR THREE DIFFERENT VALUES OF MANNING'S ROUGHNESS COEFFICIENT n_{17}.

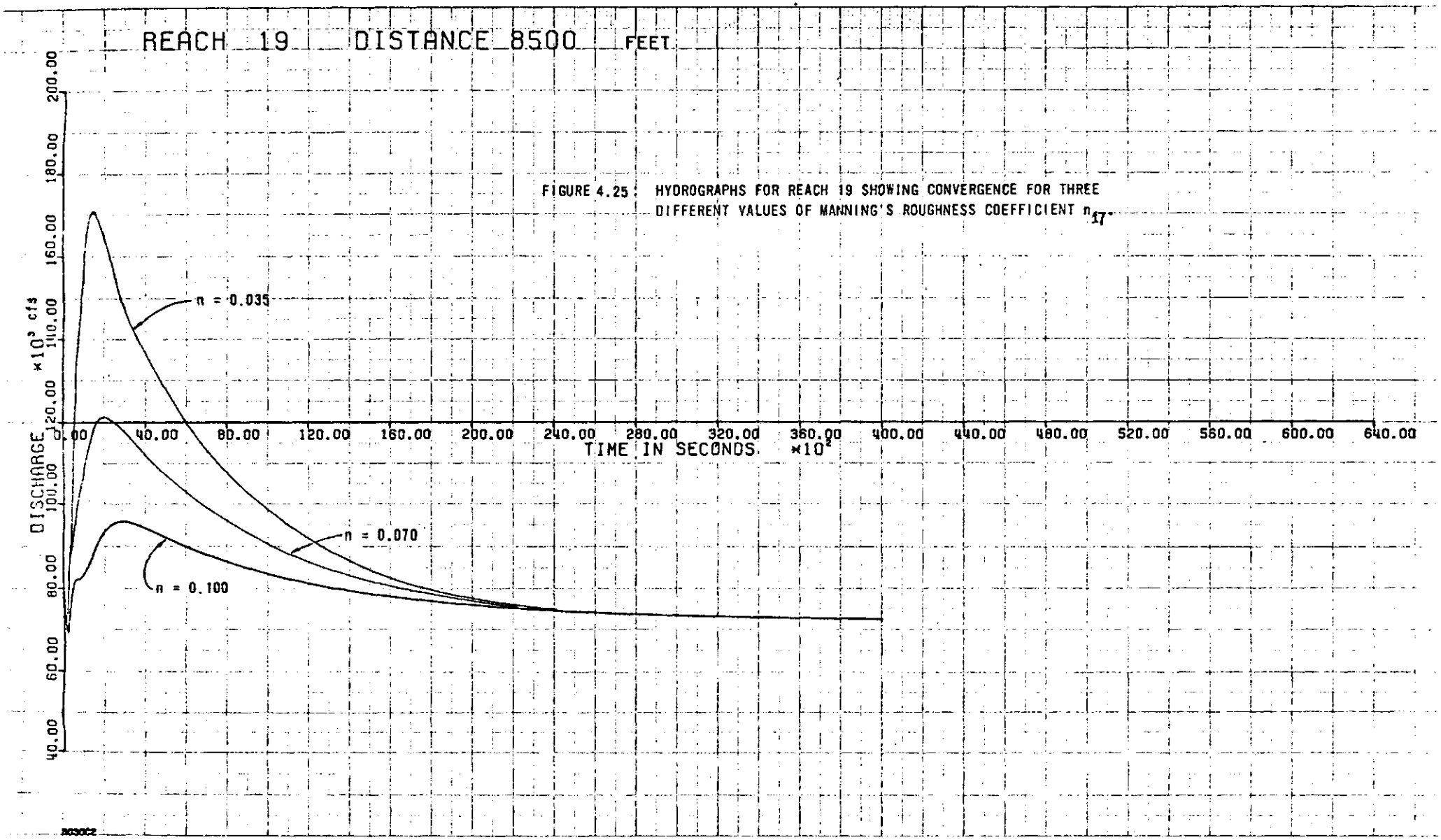


FIGURE 4.25: HYDROGRAPHS FOR REACH 19 SHOWING CONVERGENCE FOR THREE DIFFERENT VALUES OF MANNING'S ROUGHNESS COEFFICIENT n_{17}.

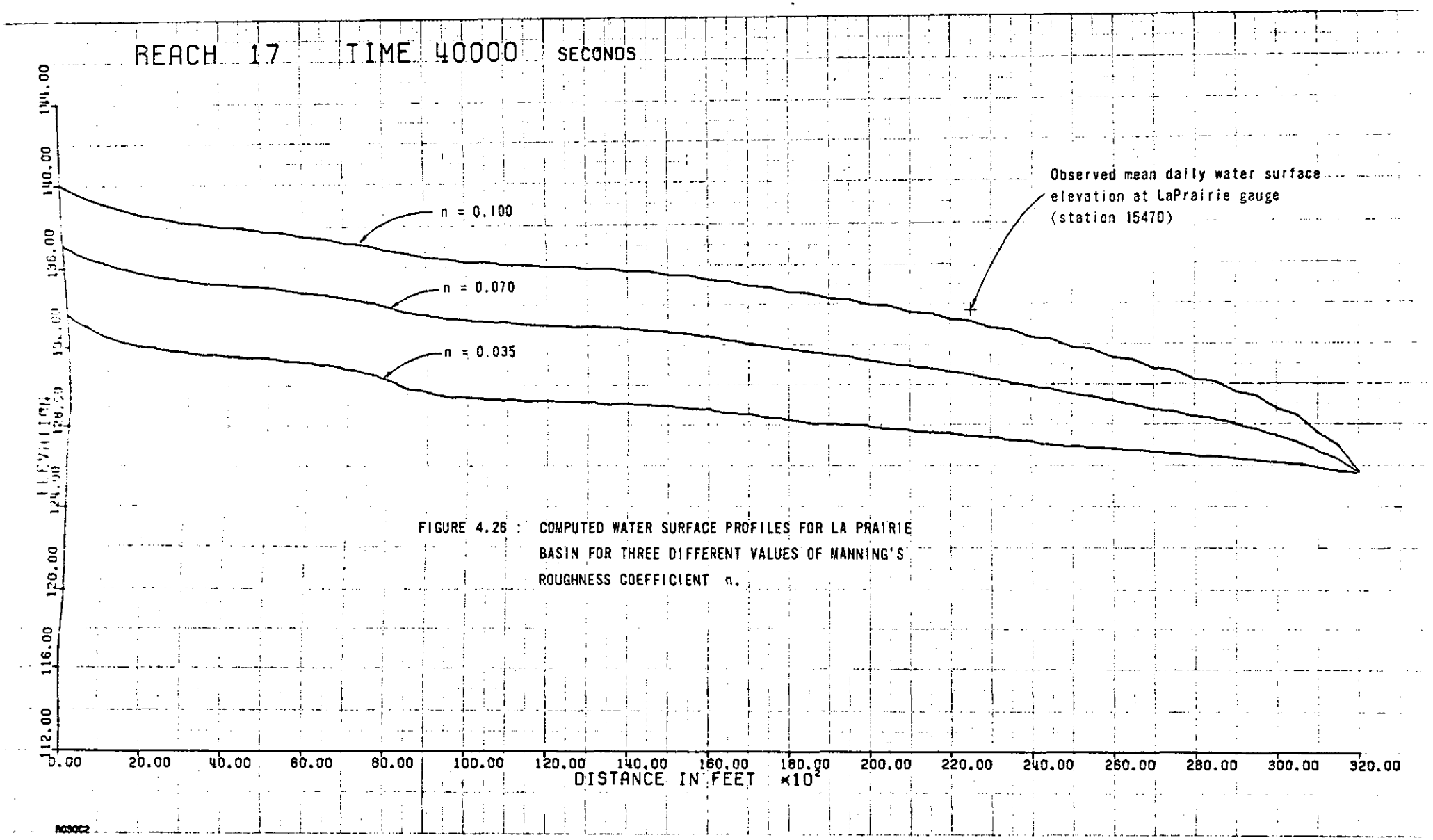


FIGURE 4.26 : COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR LA PRAIRIE BASIN FOR THREE DIFFERENT VALUES OF MANNING'S ROUGHNESS COEFFICIENT n.

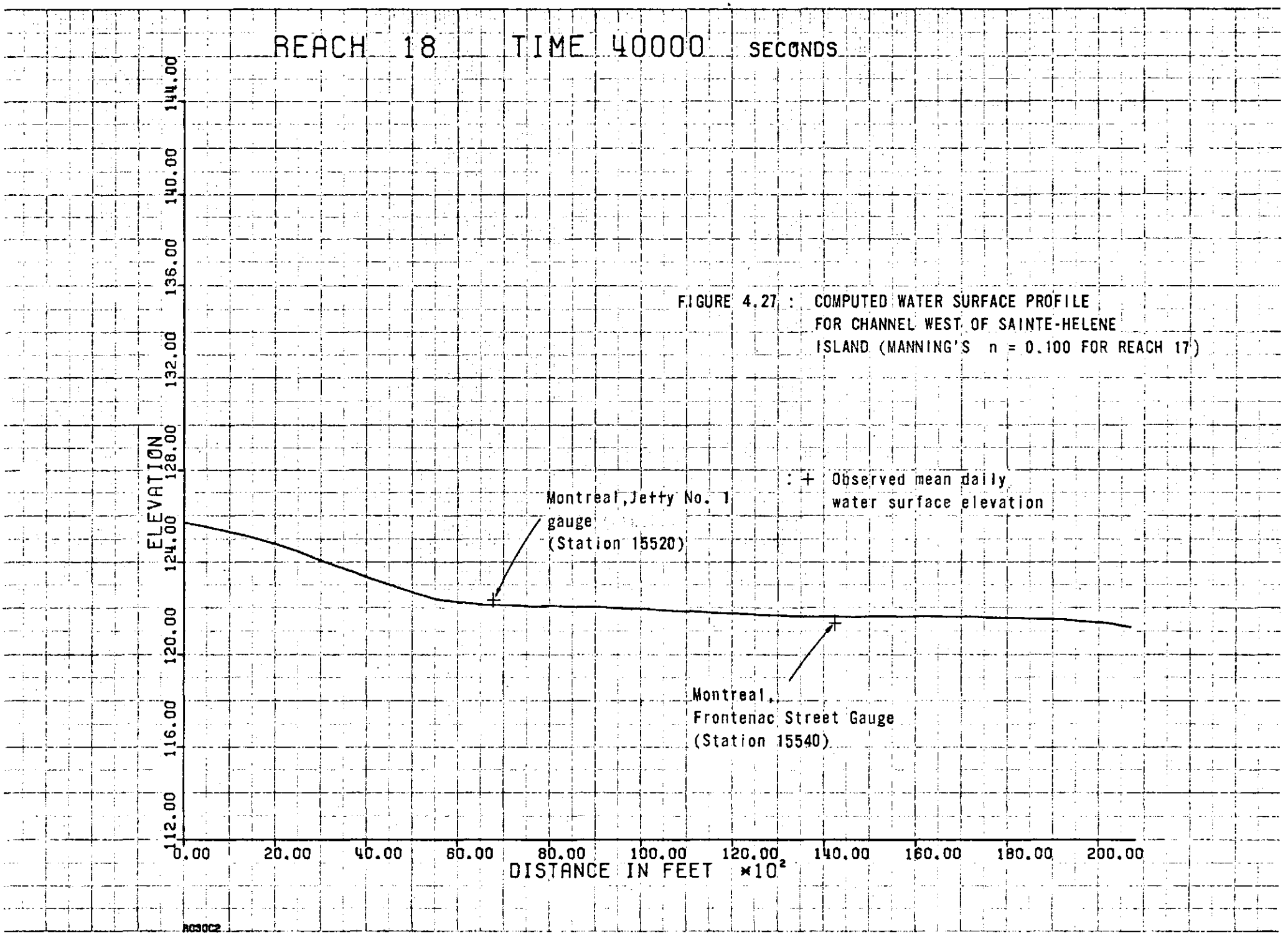


FIGURE 4.27 : COMPUTED WATER SURFACE PROFILE FOR CHANNEL WEST OF SAINTE-HELENE ISLAND (MANNING'S n = 0.100 FOR REACH 17)

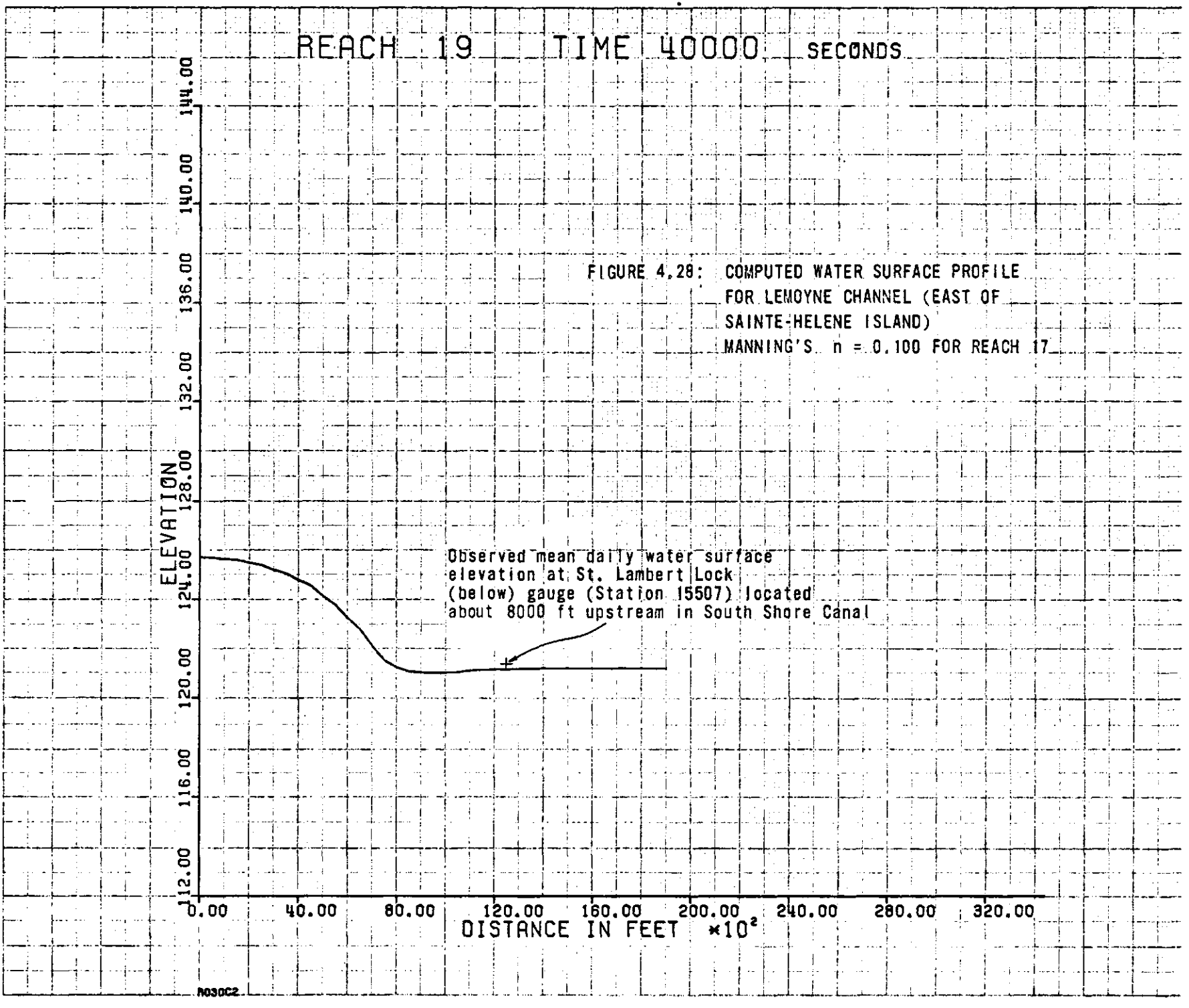


FIGURE 4.28: COMPUTED WATER SURFACE PROFILE FOR LEMOYNE CHANNEL (EAST OF SAINTE-HELENE ISLAND) MANNING'S n = 0.100 FOR REACH 17

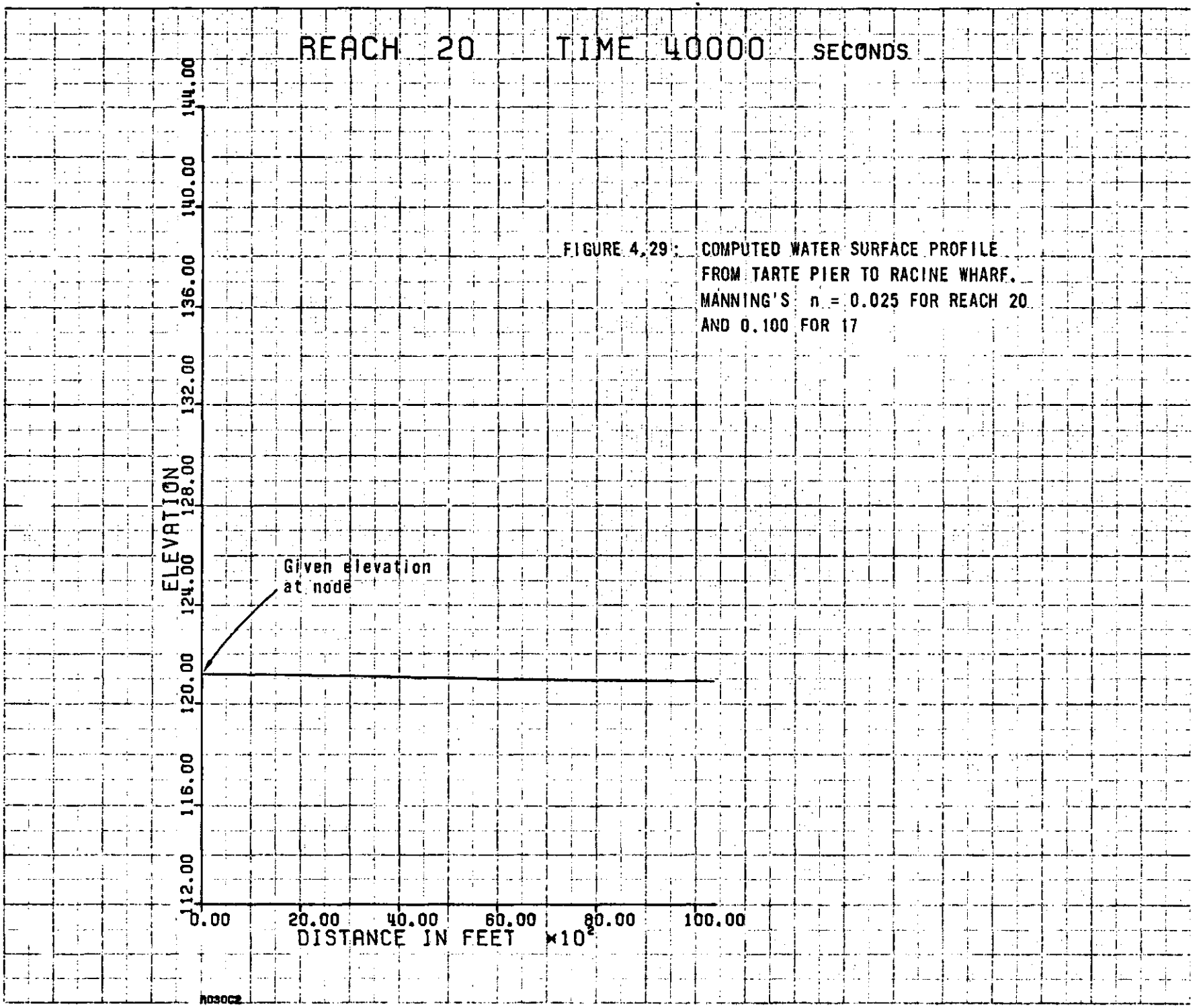


FIGURE 4.29: COMPUTED WATER SURFACE PROFILE FROM TARTE PIER TO RACINE WHARF. MANNING'S n = 0.025 FOR REACH 20 AND 0.100 FOR 17

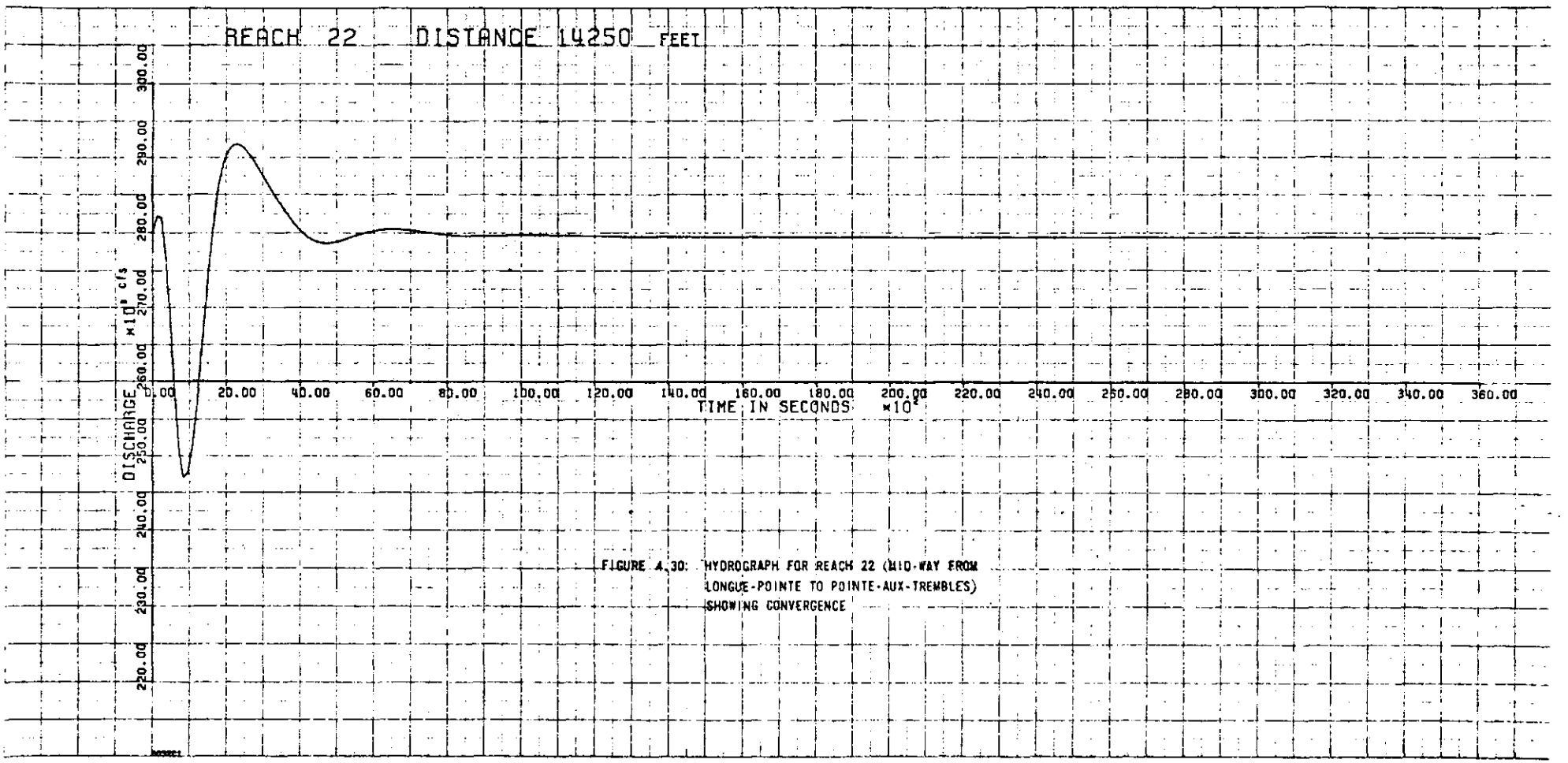


FIGURE 4.30: HYDROGRAPH FOR REACH 22 (MID-WAY FROM LONGUE-POINTE TO POINTE-AUX-TREMBLES) SHOWING CONVERGENCE

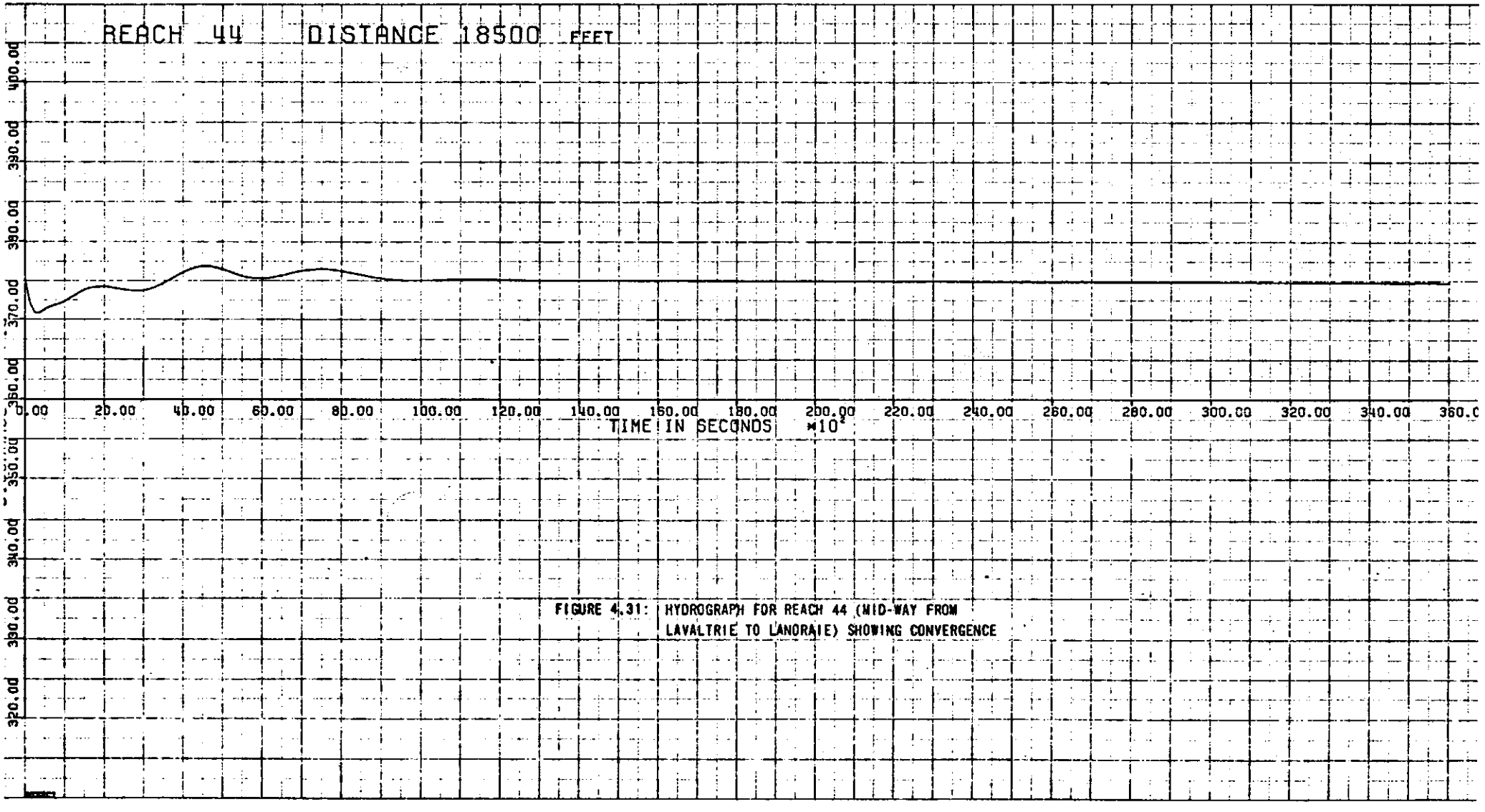


FIGURE 4.31: HYDROGRAPH FOR REACH 44 (MID-WAY FROM LAVALTRIE TO LANORAIE) SHOWING CONVERGENCE

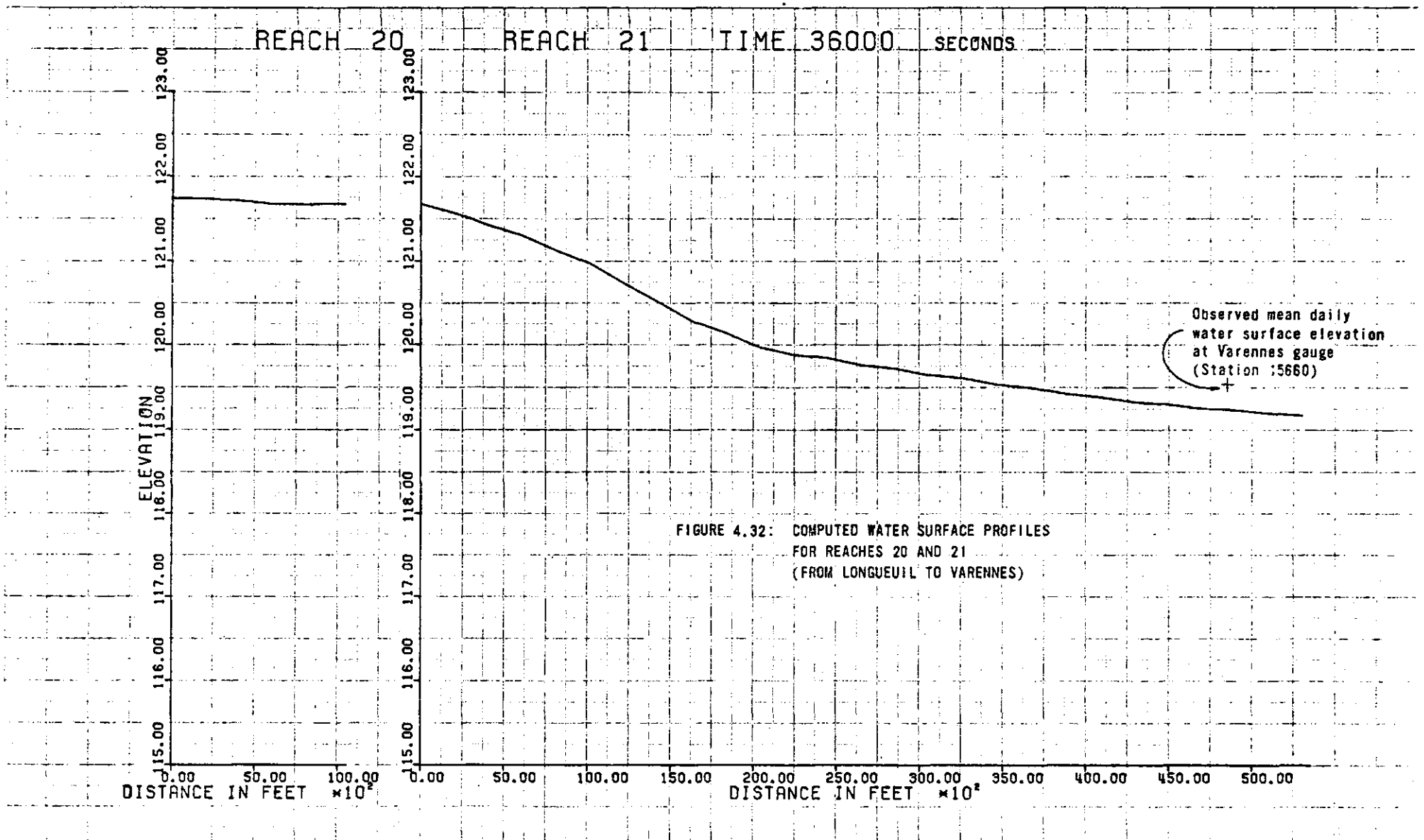


FIGURE 4.32: COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 20 AND 21 (FROM LONGUEUIL TO VARENNES)

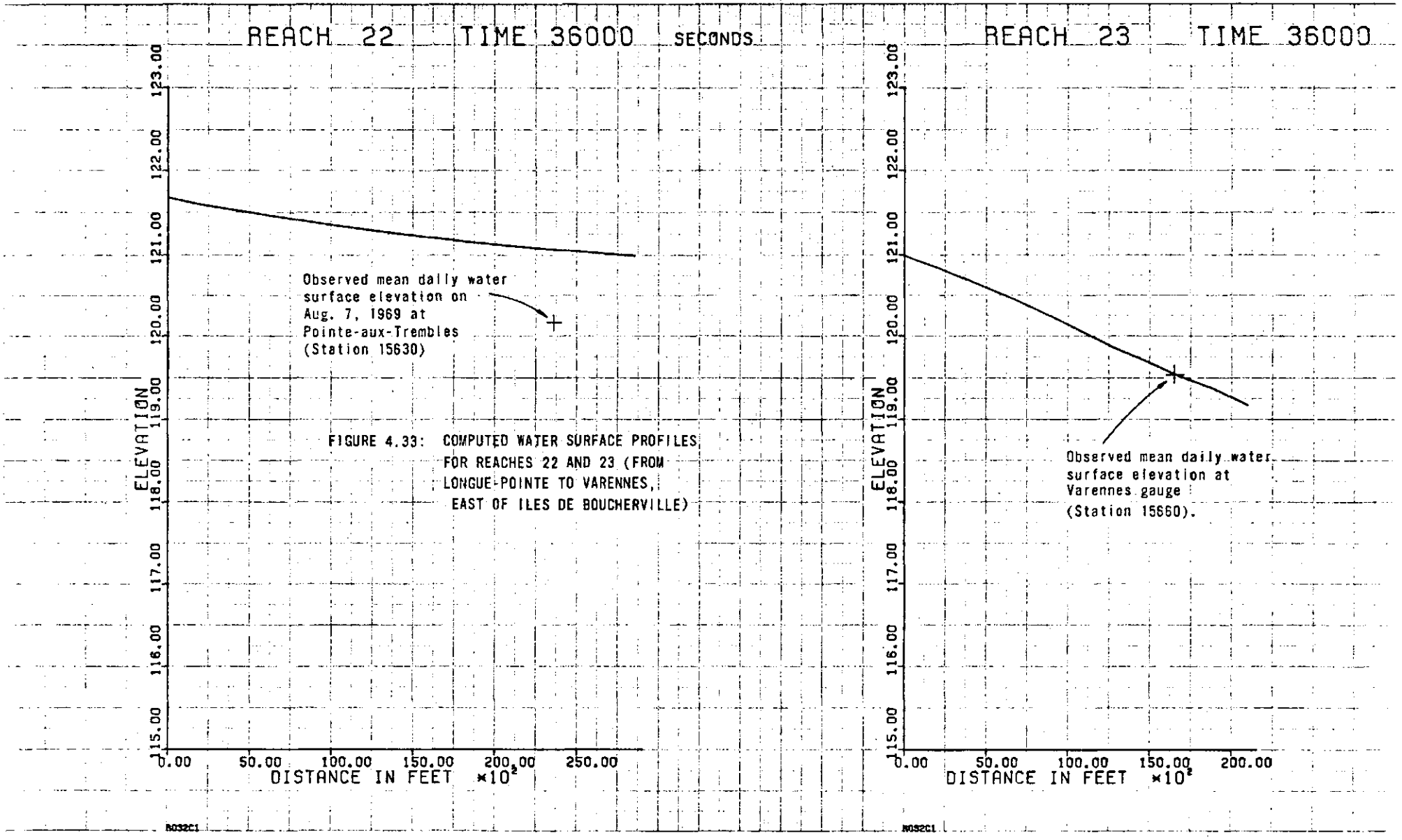


FIGURE 4.33: COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 22 AND 23 (FROM LONGUE-POINTE TO VARENNES, EAST OF ILES DE BOUCHERVILLE)

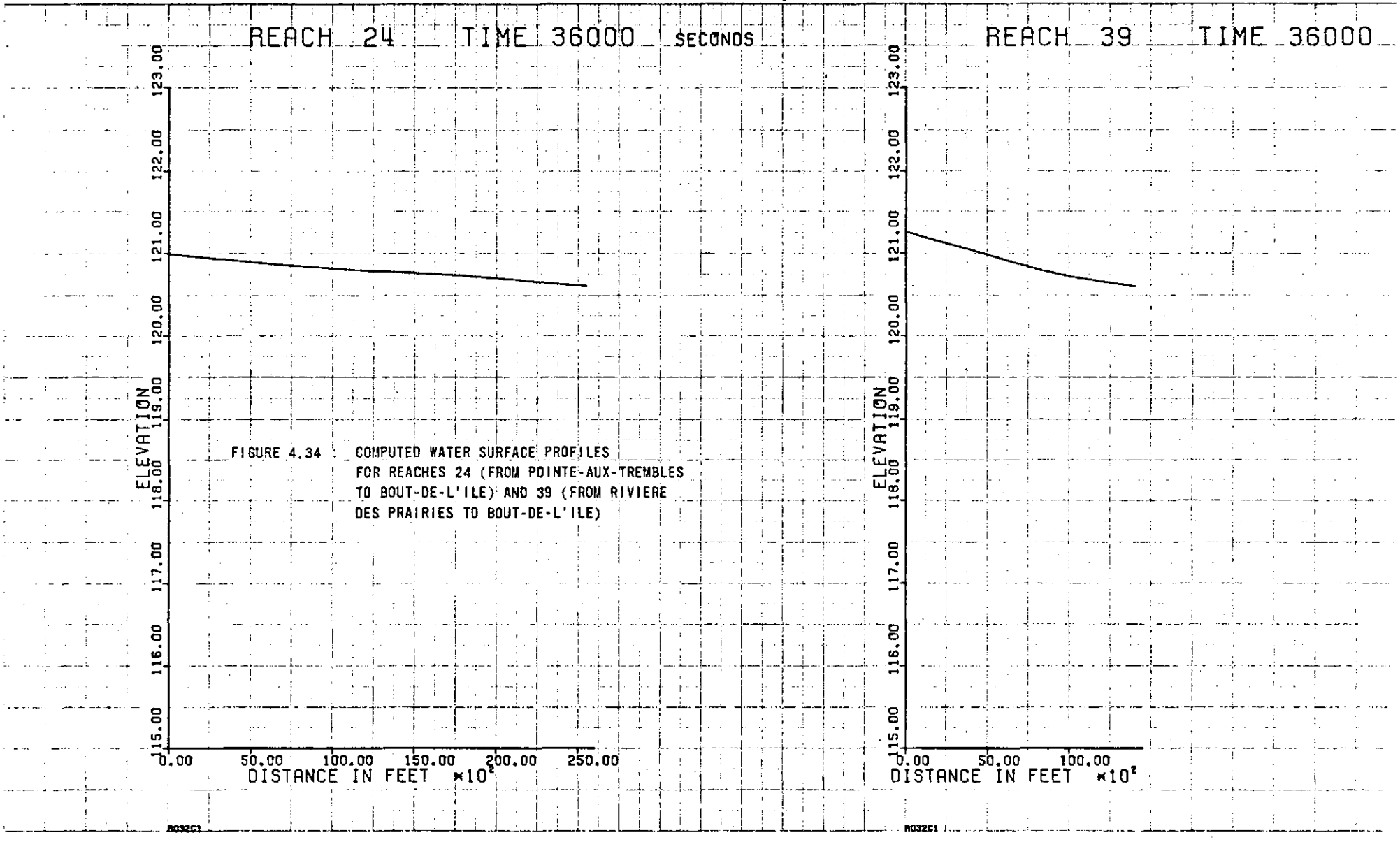


FIGURE 4.34 : COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 24 (FROM POINTE-AUX-TREMBLES TO BOUT-DE-L'ILE) AND 39 (FROM RIVIERE DES PRAIRIES TO BOUT-DE-L'ILE)

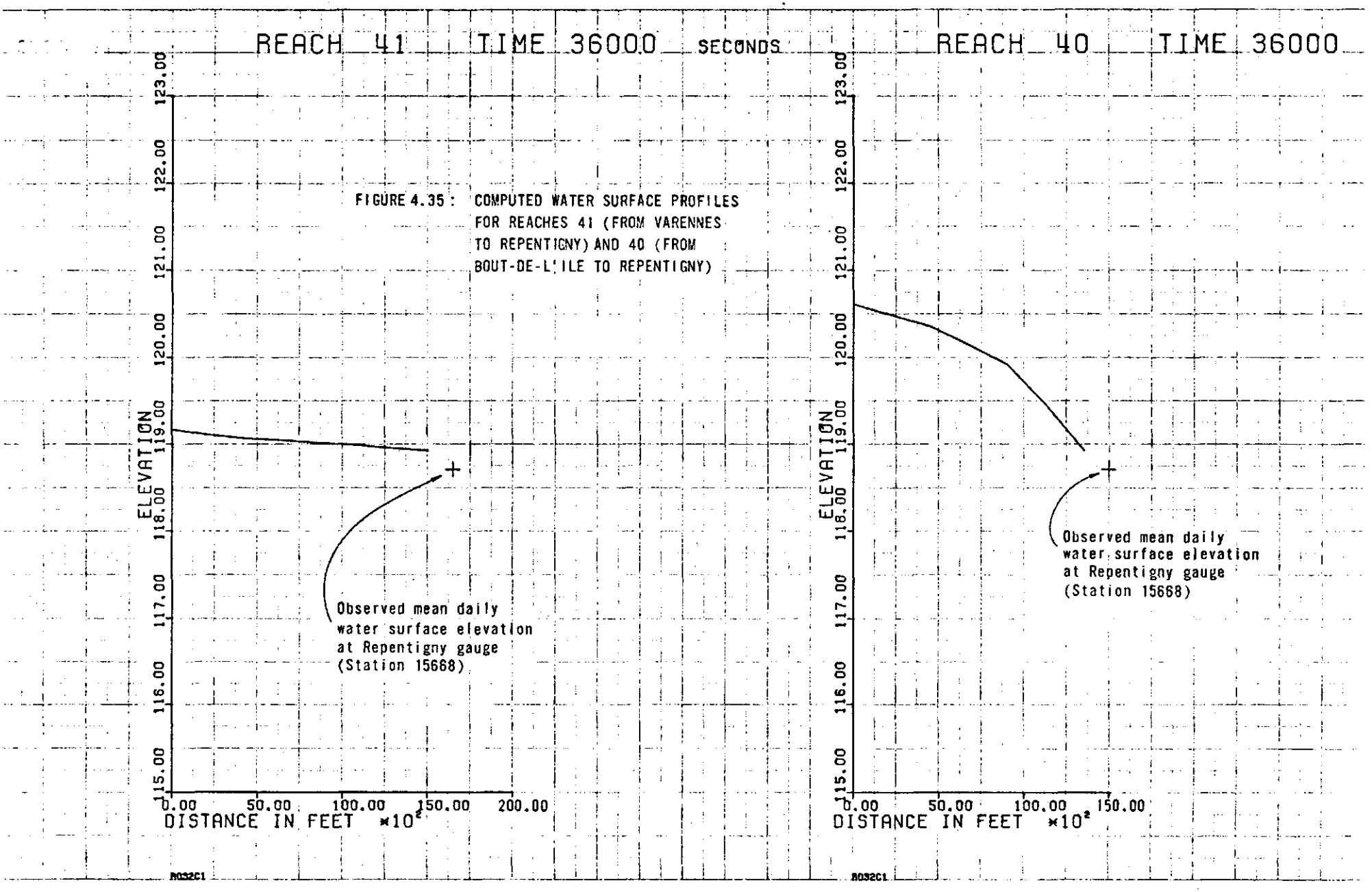


FIGURE 4.35 : COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 41 (FROM VARENNES TO REPENTIGNY) AND 40 (FROM BOUT-DE-L'ILE TO REPENTIGNY)

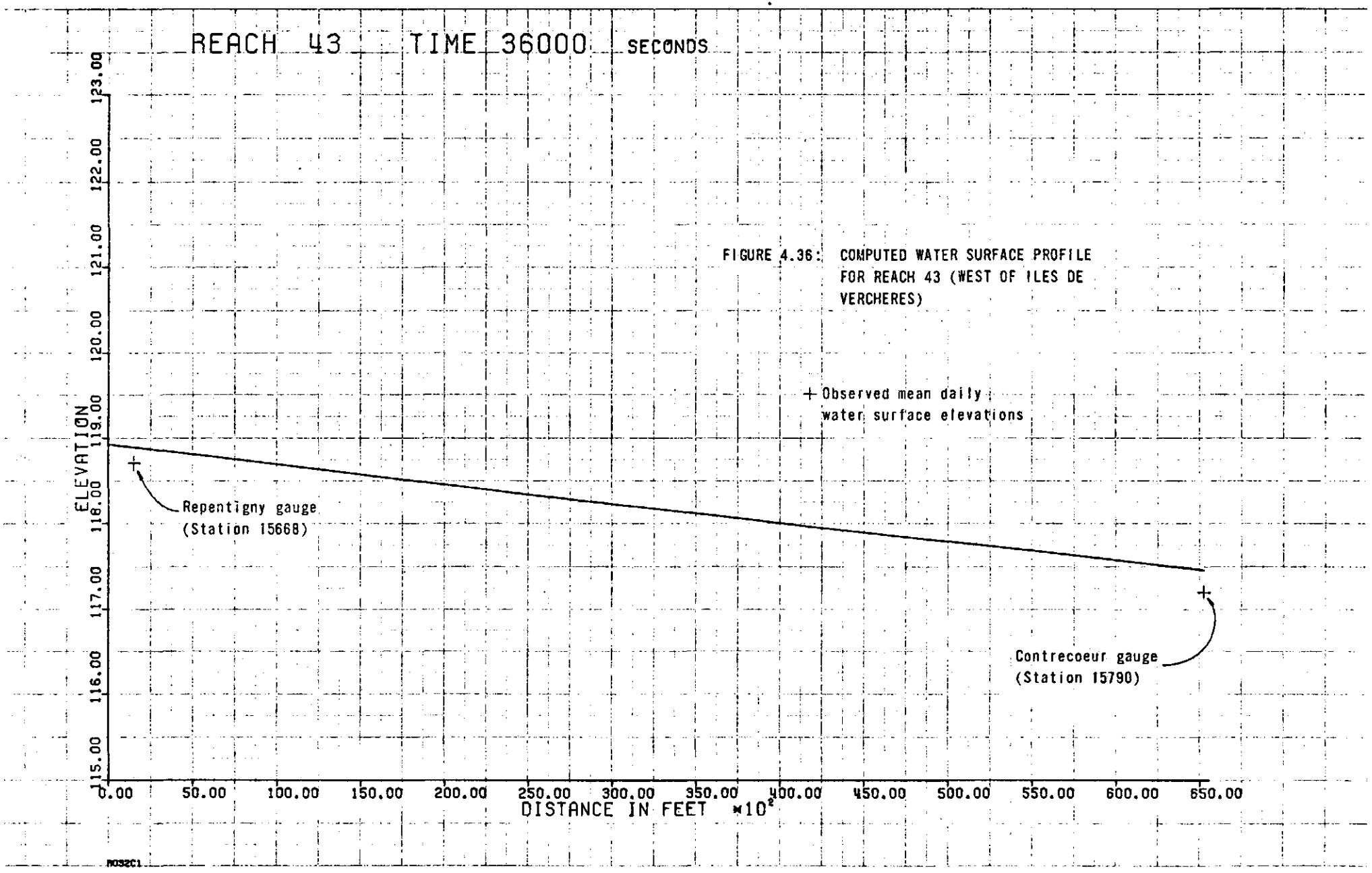


FIGURE 4.36: COMPUTED WATER SURFACE PROFILE FOR REACH 43 (WEST OF ILES DE VERCHERES)

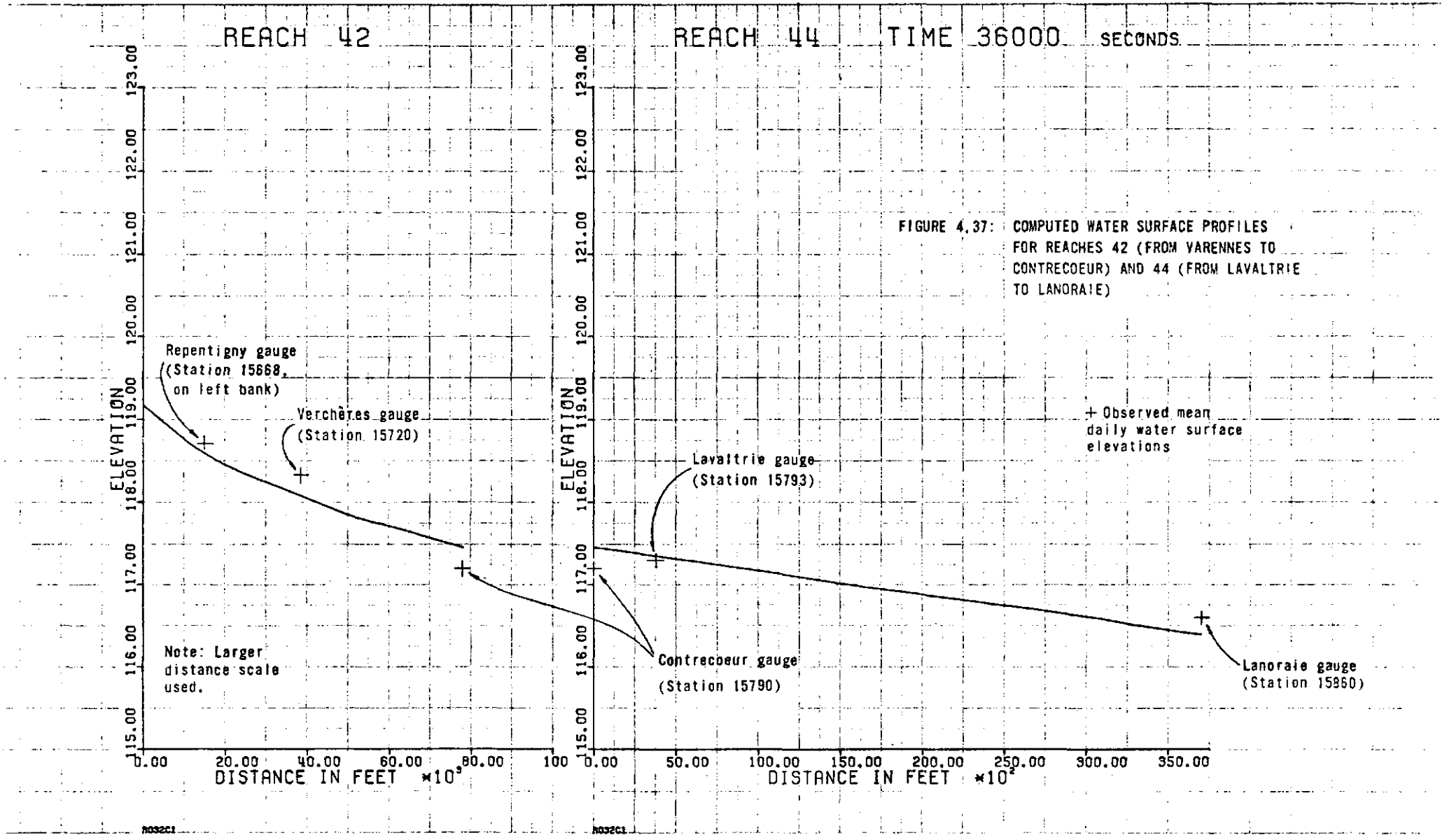


FIGURE 4.37: COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 42 (FROM VARENNES TO CONTRECOEUR) AND 44 (FROM LAVALTRIE TO LANORAIE)

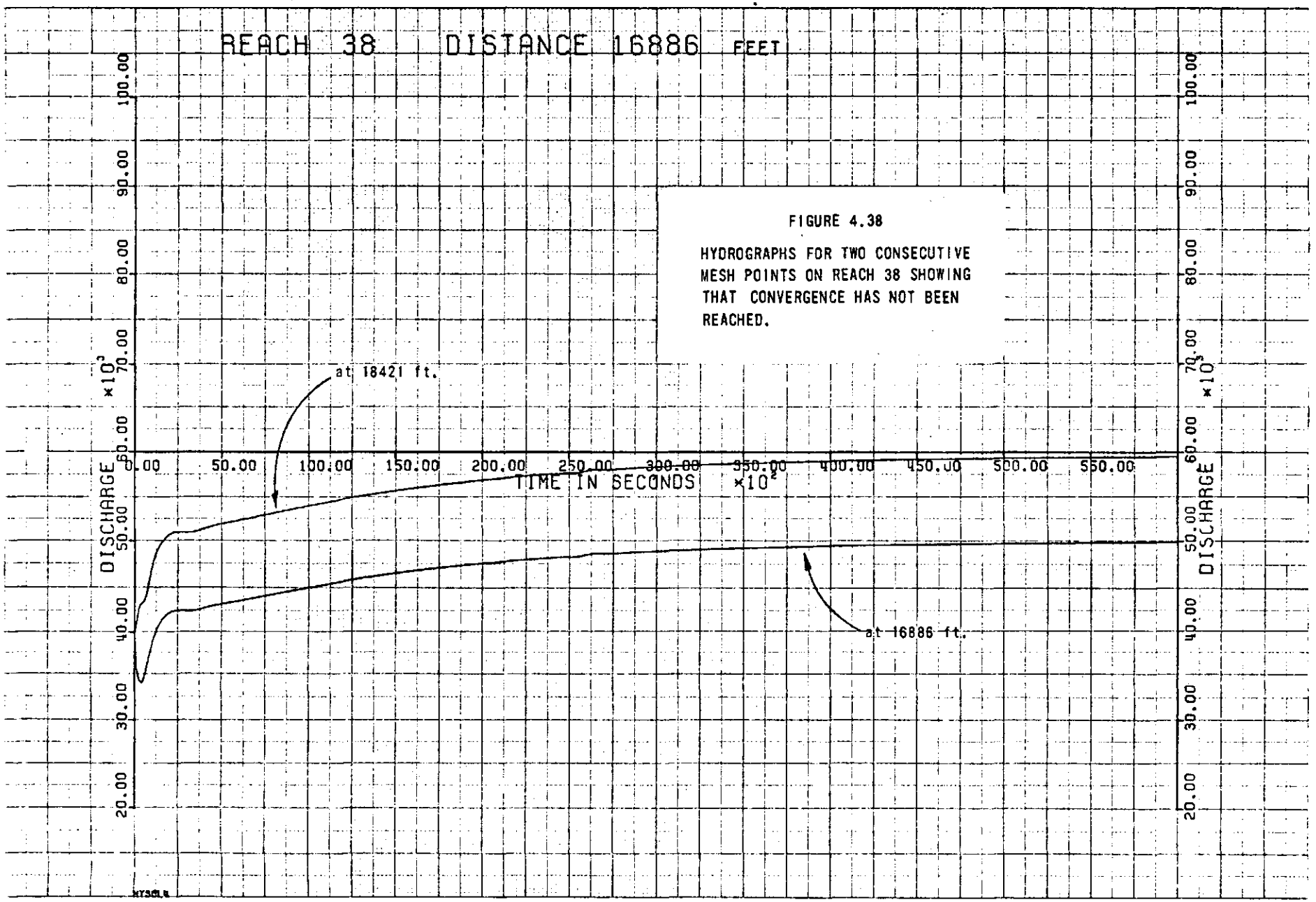


FIGURE 4.38

HYDROGRAPHS FOR TWO CONSECUTIVE MESH POINTS ON REACH 38 SHOWING THAT CONVERGENCE HAS NOT BEEN REACHED.

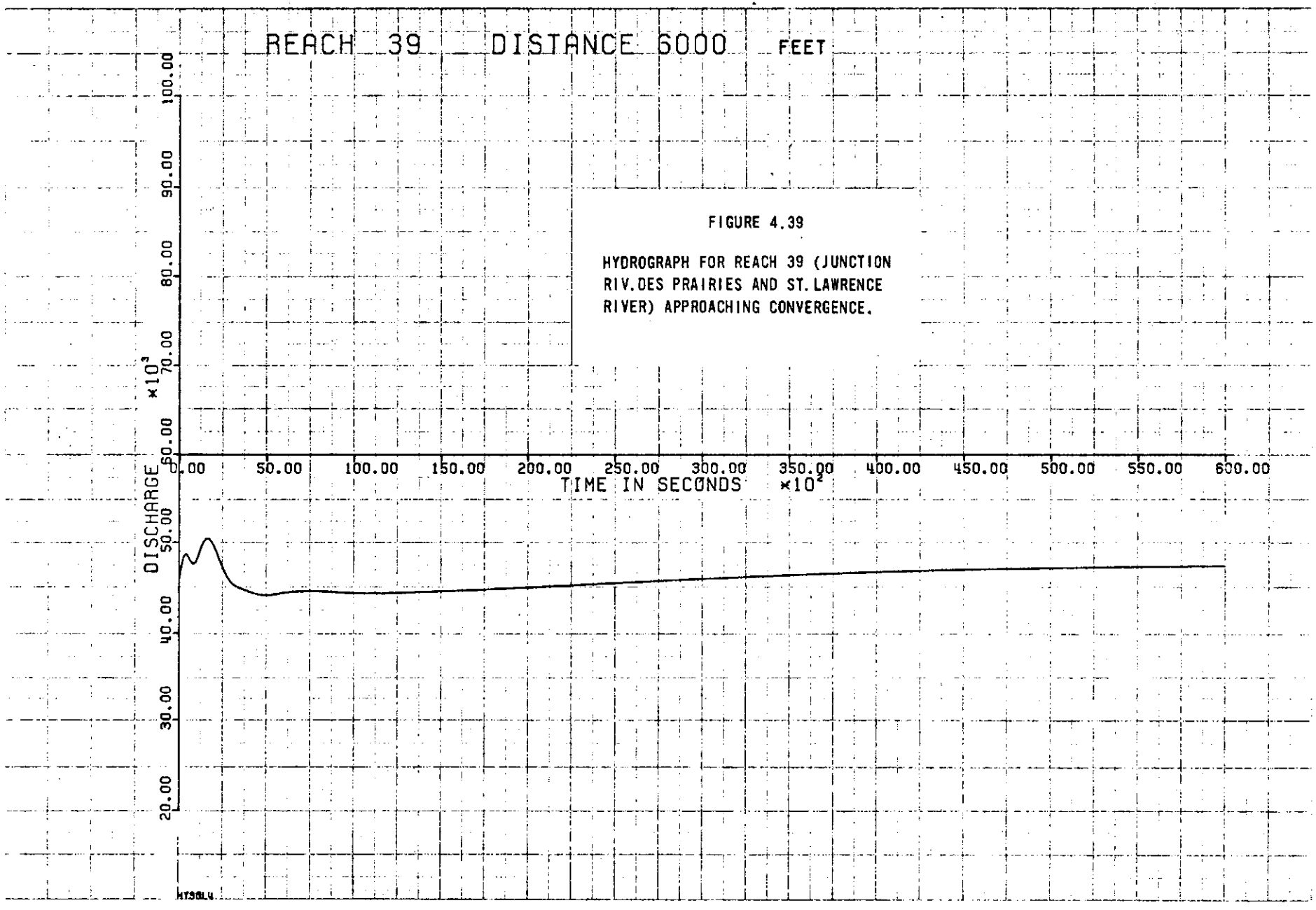


FIGURE 4.39

HYDROGRAPH FOR REACH 39 (JUNCTION RIV. DES PRAIRIES AND ST. LAWRENCE RIVER) APPROACHING CONVERGENCE.

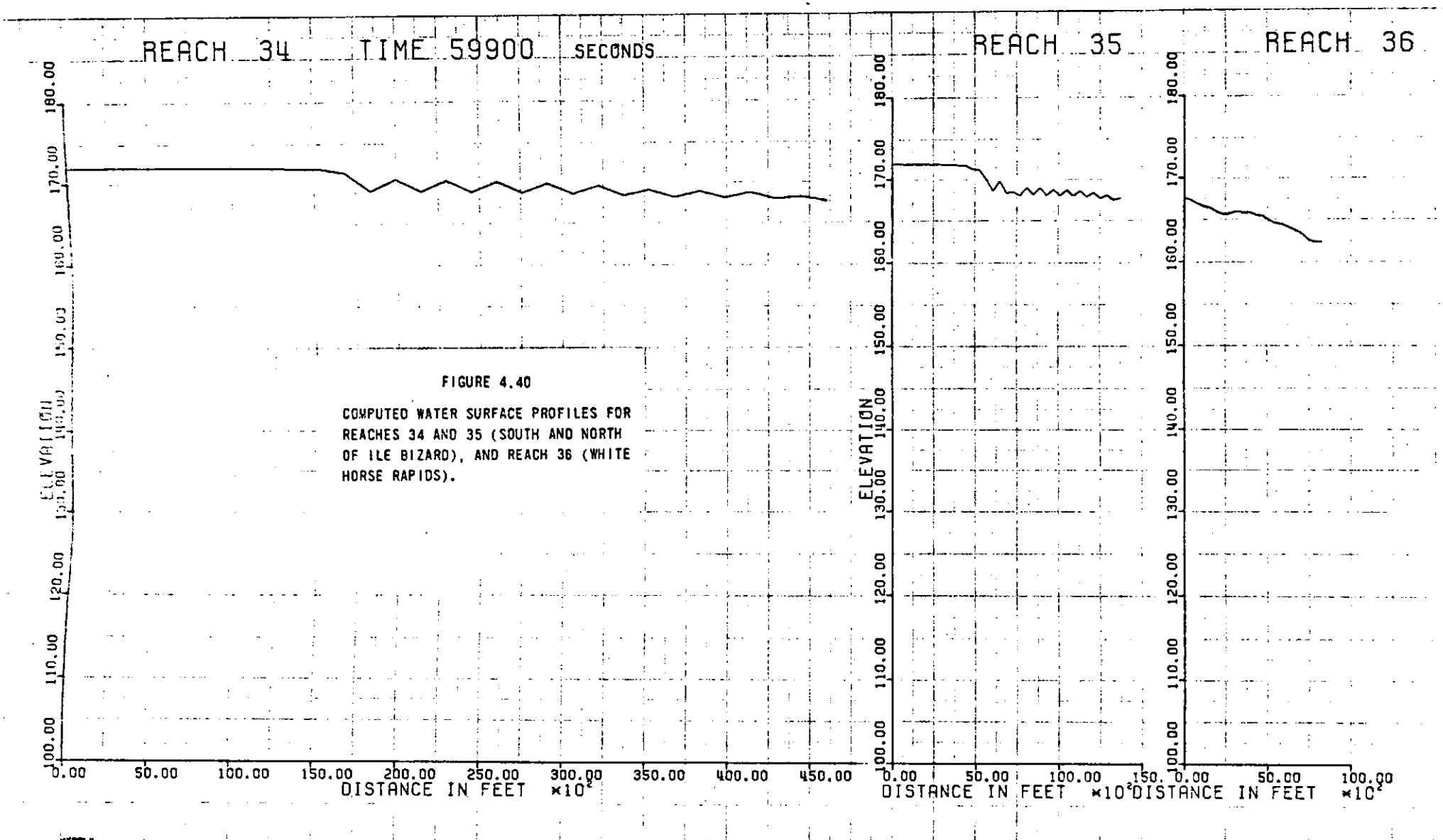


FIGURE 4.40

COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 34 AND 35 (SOUTH AND NORTH OF ILE BIZARD), AND REACH 36 (WHITE HORSE RAPIDS).

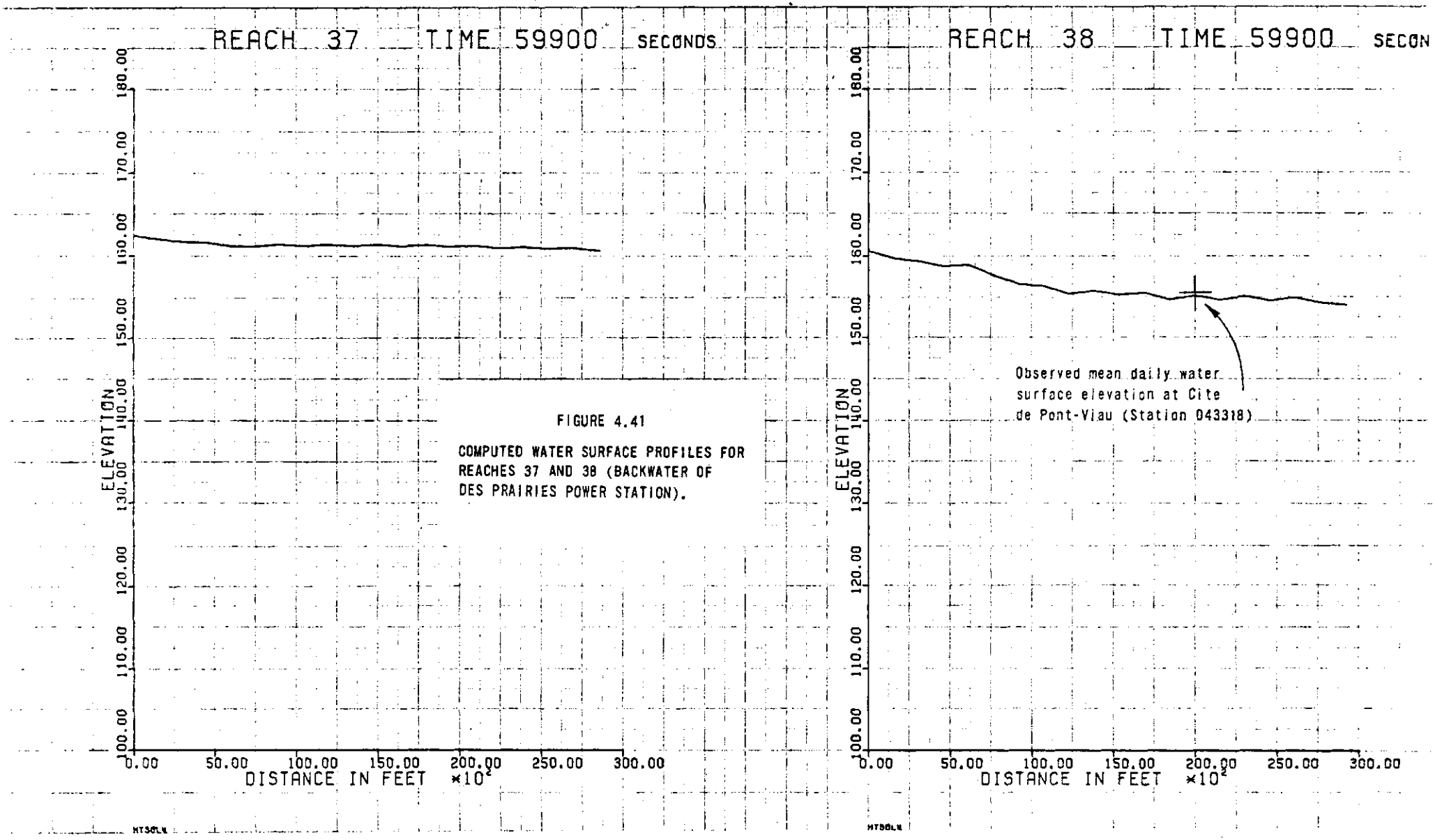


FIGURE 4.41

COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 37 AND 38 (BACKWATER OF DES PRAIRIES POWER STATION).

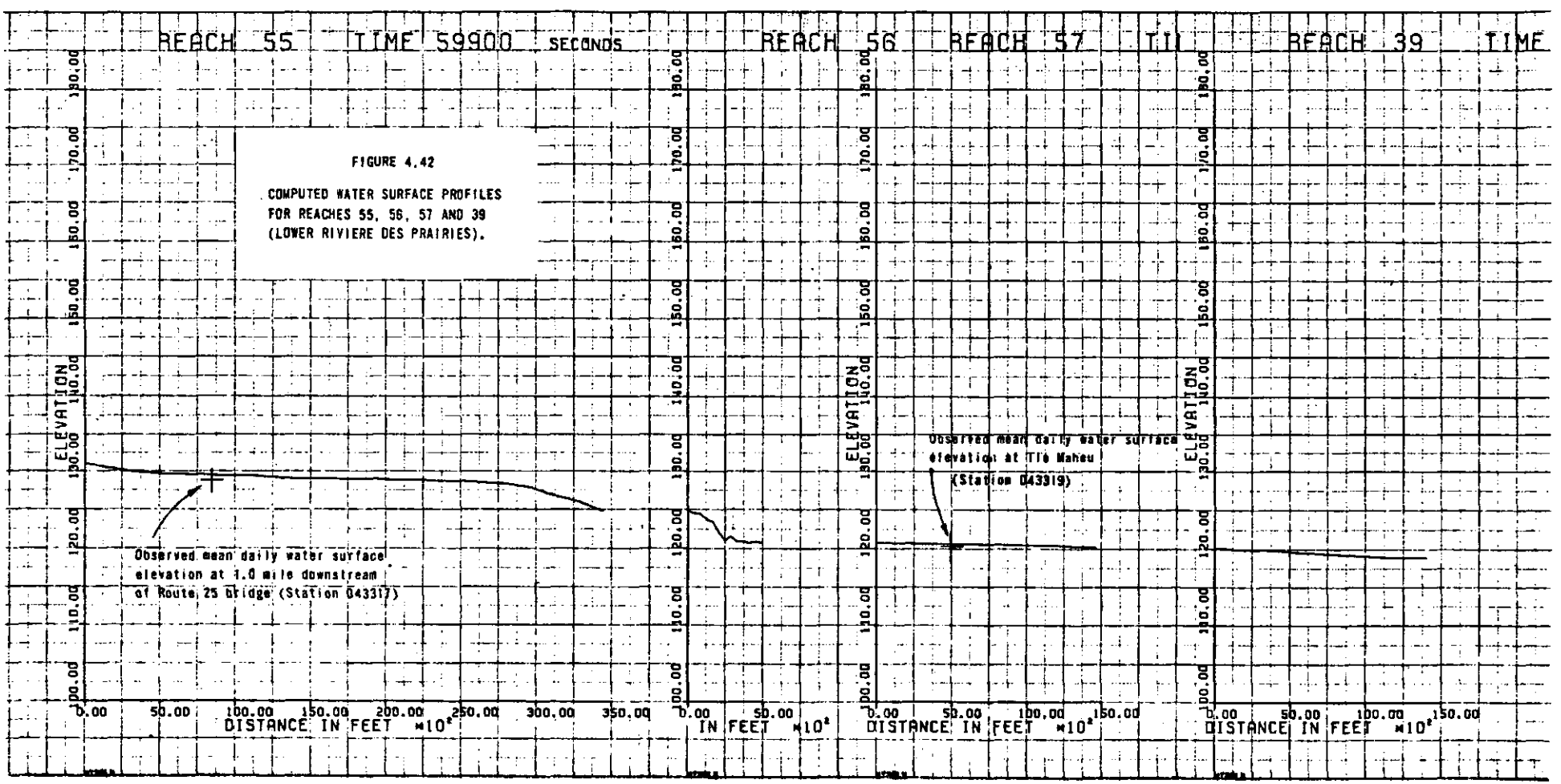
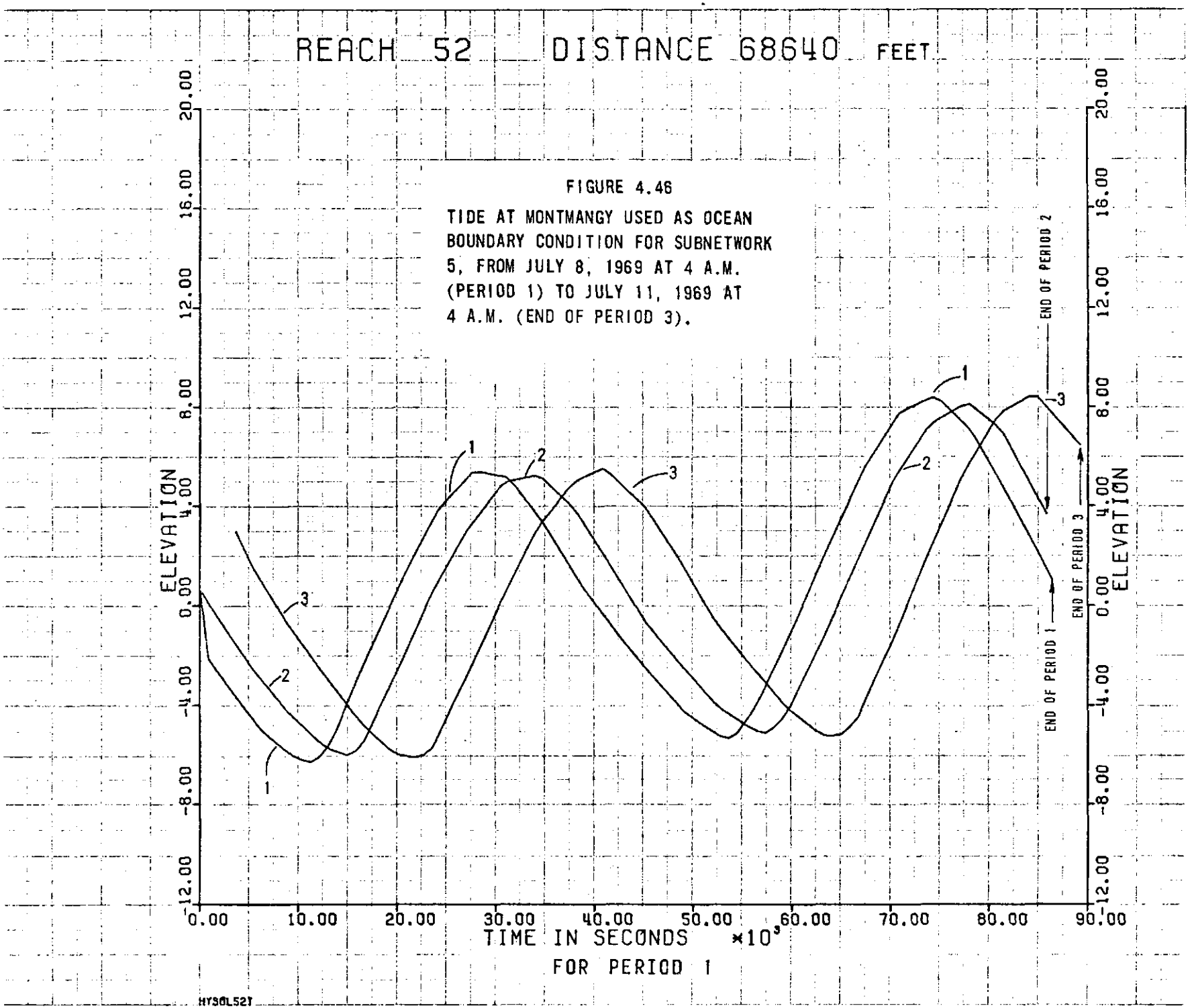


FIGURE 4.42

COMPUTED WATER SURFACE PROFILES FOR REACHES 55, 56, 57 AND 39 (LOWER RIVIERE DES PRAIRIES).


REACH 52 DISTANCE 68640 FEET
FIGURE 4.46
TIDE AT MONTMANGY USED AS OCEAN BOUNDARY CONDITION FOR SUBNETWORK 5, FROM JULY 8, 1969 AT 4 A.M. (PERIOD 1) TO JULY 11, 1969 AT 4 A.M. (END OF PERIOD 3).
ELEVATION
20.00
16.00
12.00
8.00
4.00
0.00
-4.00
-8.00
-12.00
0.00
10.00
20.00
30.00
40.00
50.00
60.00
70.00
80.00
90.00
TIME IN SECONDS ×10³
FOR PERIOD 1
END OF PERIOD 1
END OF PERIOD 2
END OF PERIOD 3
1
2
3
HYSOL527

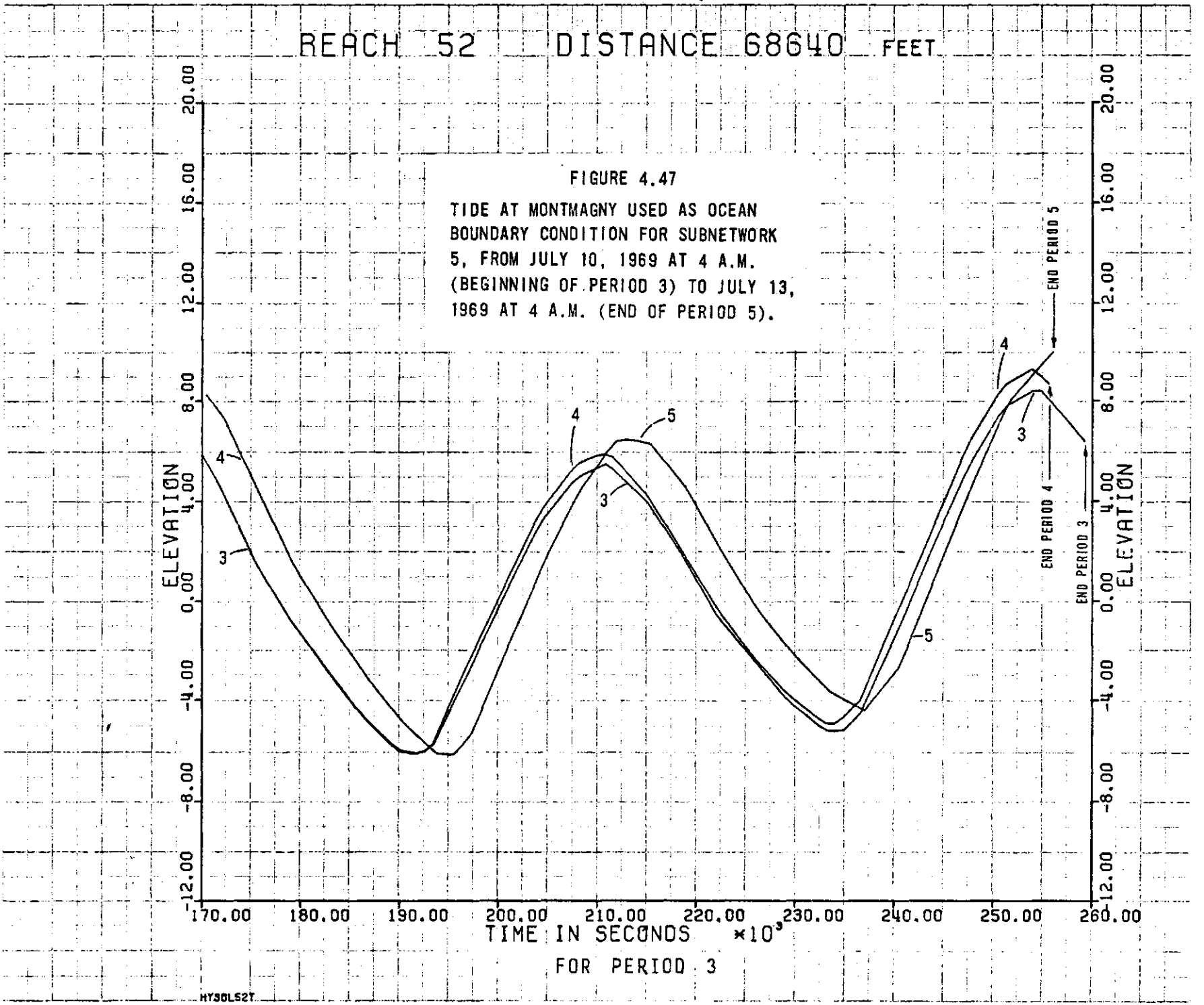


FIGURE 4.47

TIDE AT MONTMAGNY USED AS OCEAN BOUNDARY CONDITION FOR SUBNETWORK 5, FROM JULY 10, 1969 AT 4 A.M. (BEGINNING OF PERIOD 3) TO JULY 13, 1969 AT 4 A.M. (END OF PERIOD 5).

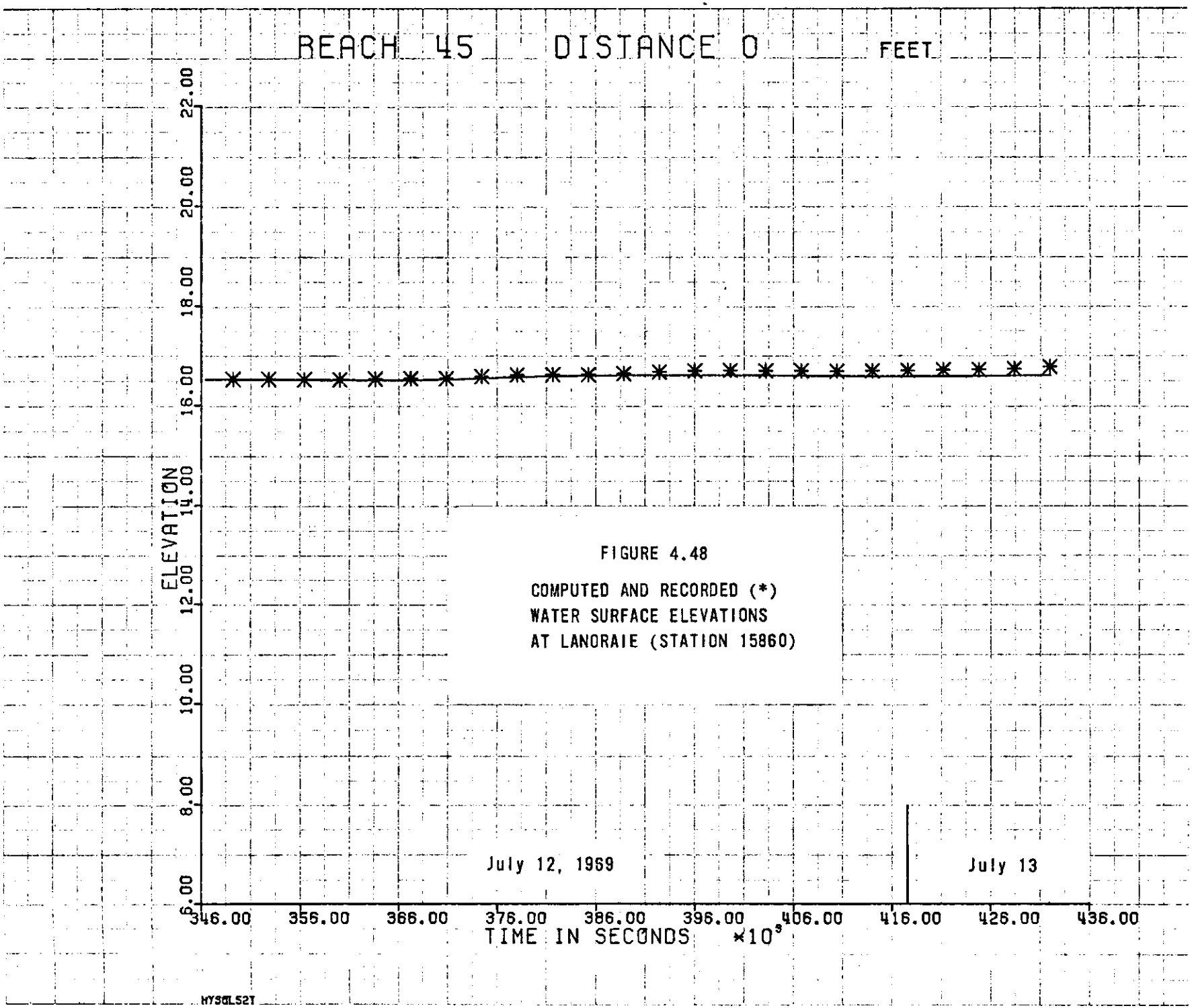


FIGURE 4.48

COMPUTED AND RECORDED (*)
WATER SURFACE ELEVATIONS
AT LANORAIE (STATION 15860)

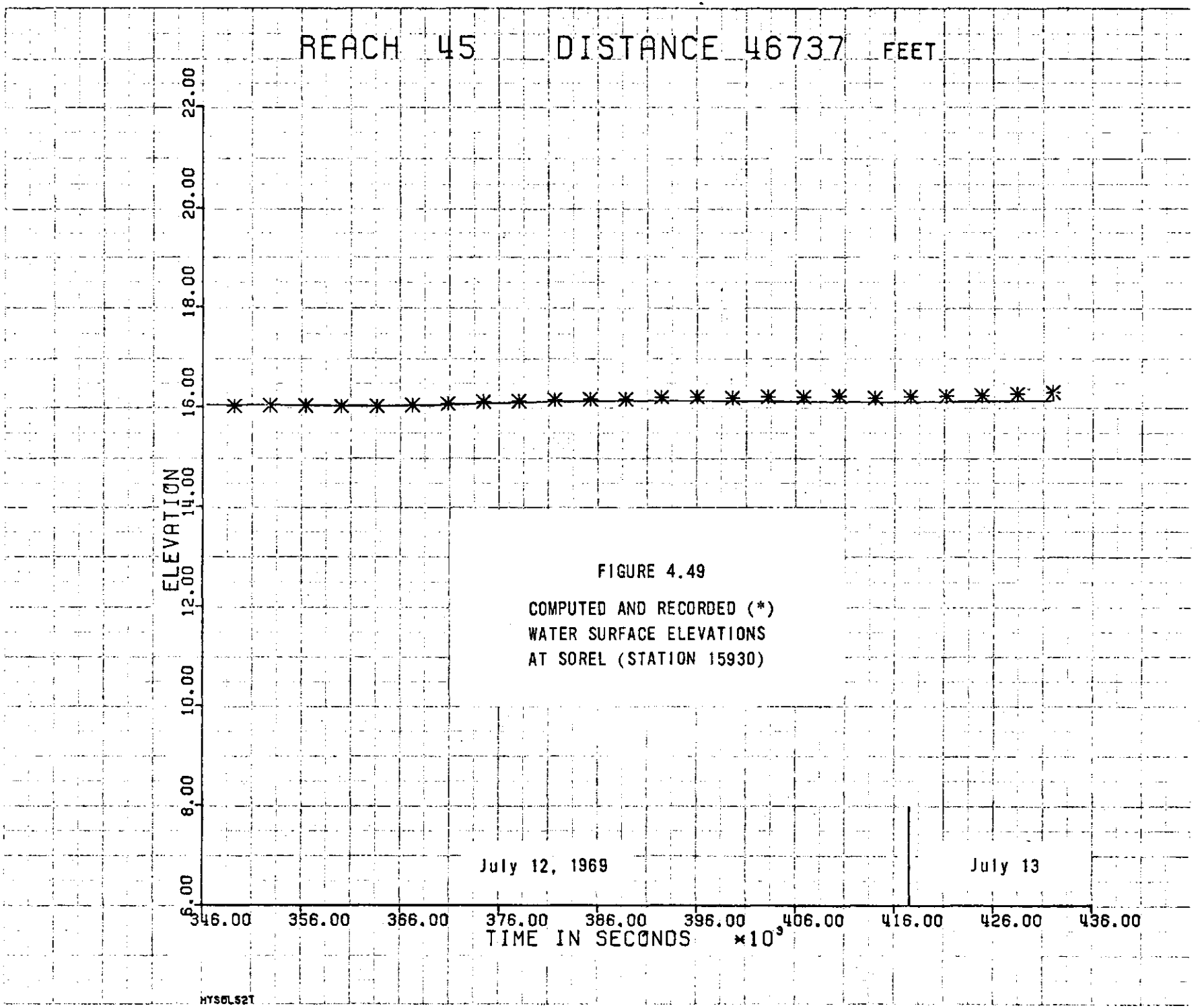


FIGURE 4.49

COMPUTED AND RECORDED (*)
WATER SURFACE ELEVATIONS
AT SOREL (STATION 15930)

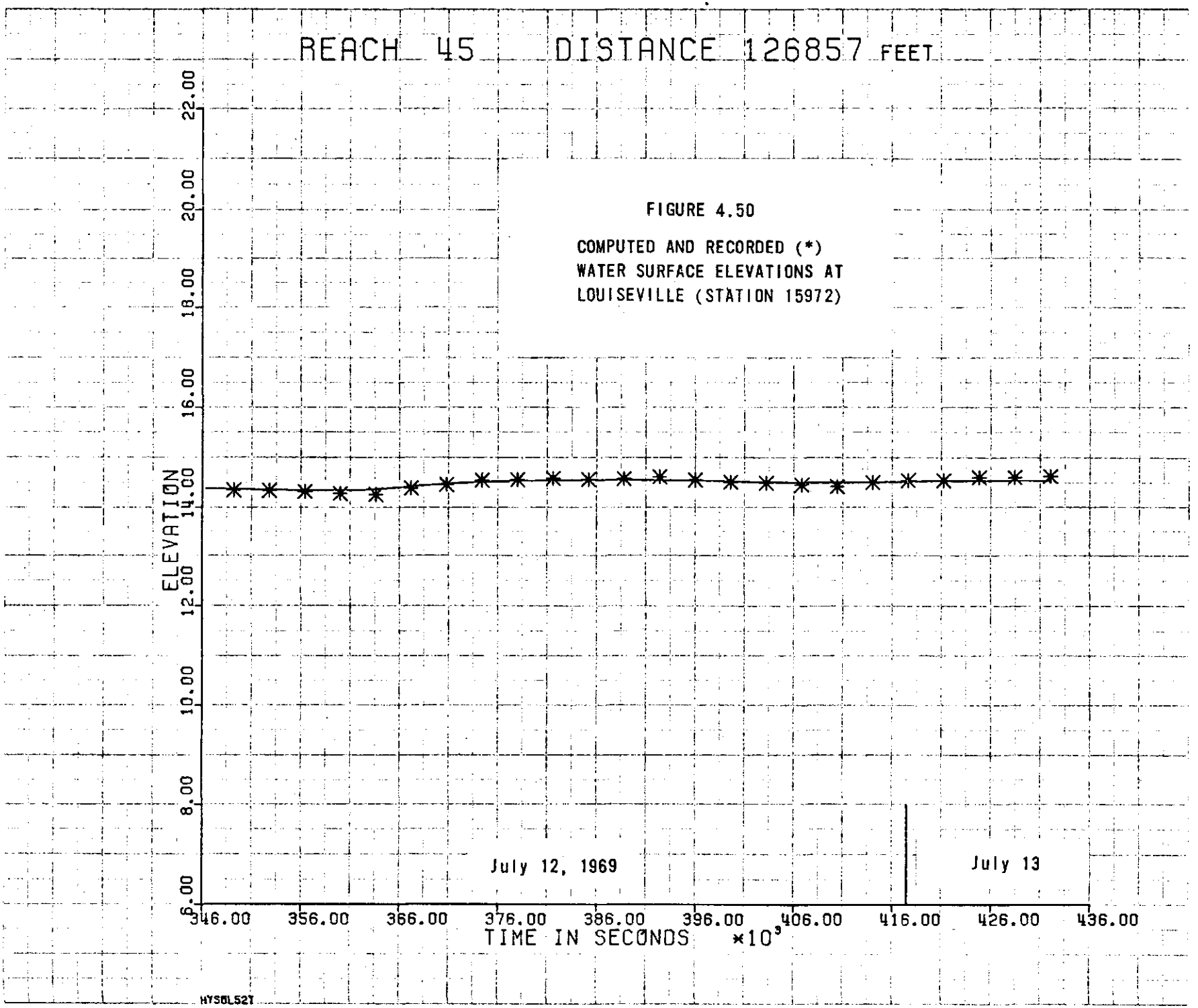


FIGURE 4.50

COMPUTED AND RECORDED (*)
WATER SURFACE ELEVATIONS AT
LOUISEVILLE (STATION 15972)

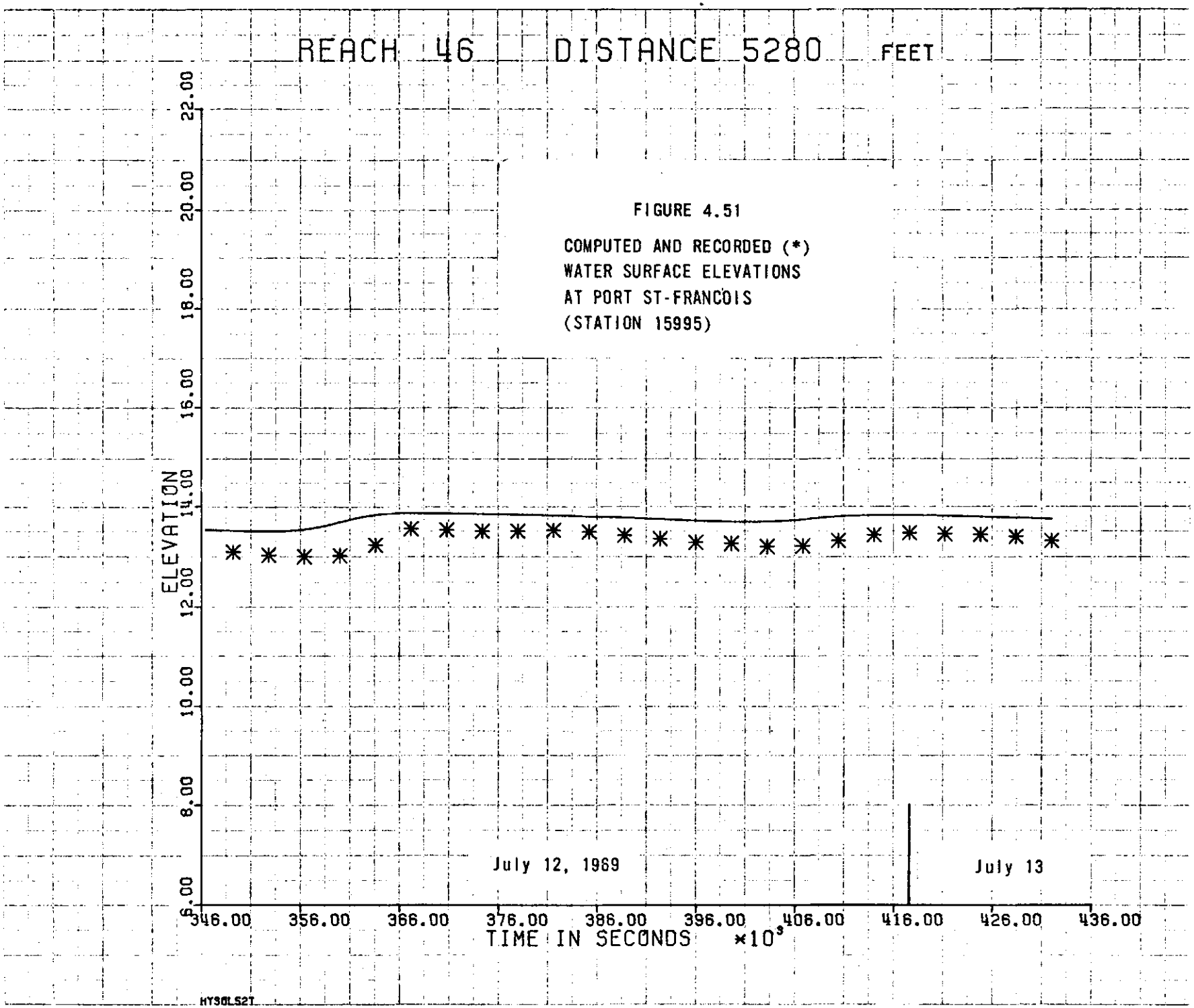


FIGURE 4.51

COMPUTED AND RECORDED (*)
WATER SURFACE ELEVATIONS
AT PORT ST-FRANCOIS
(STATION 15995)

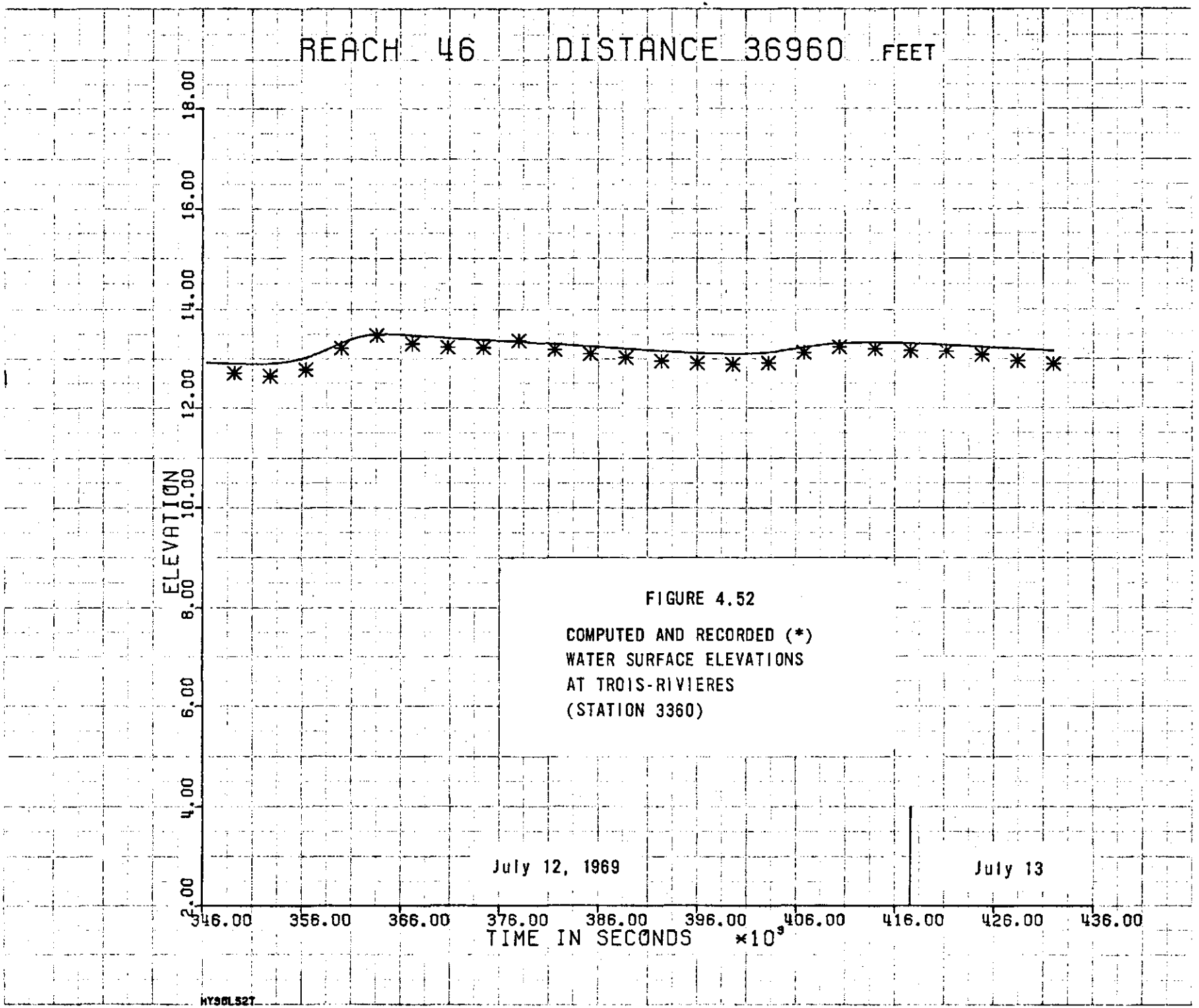
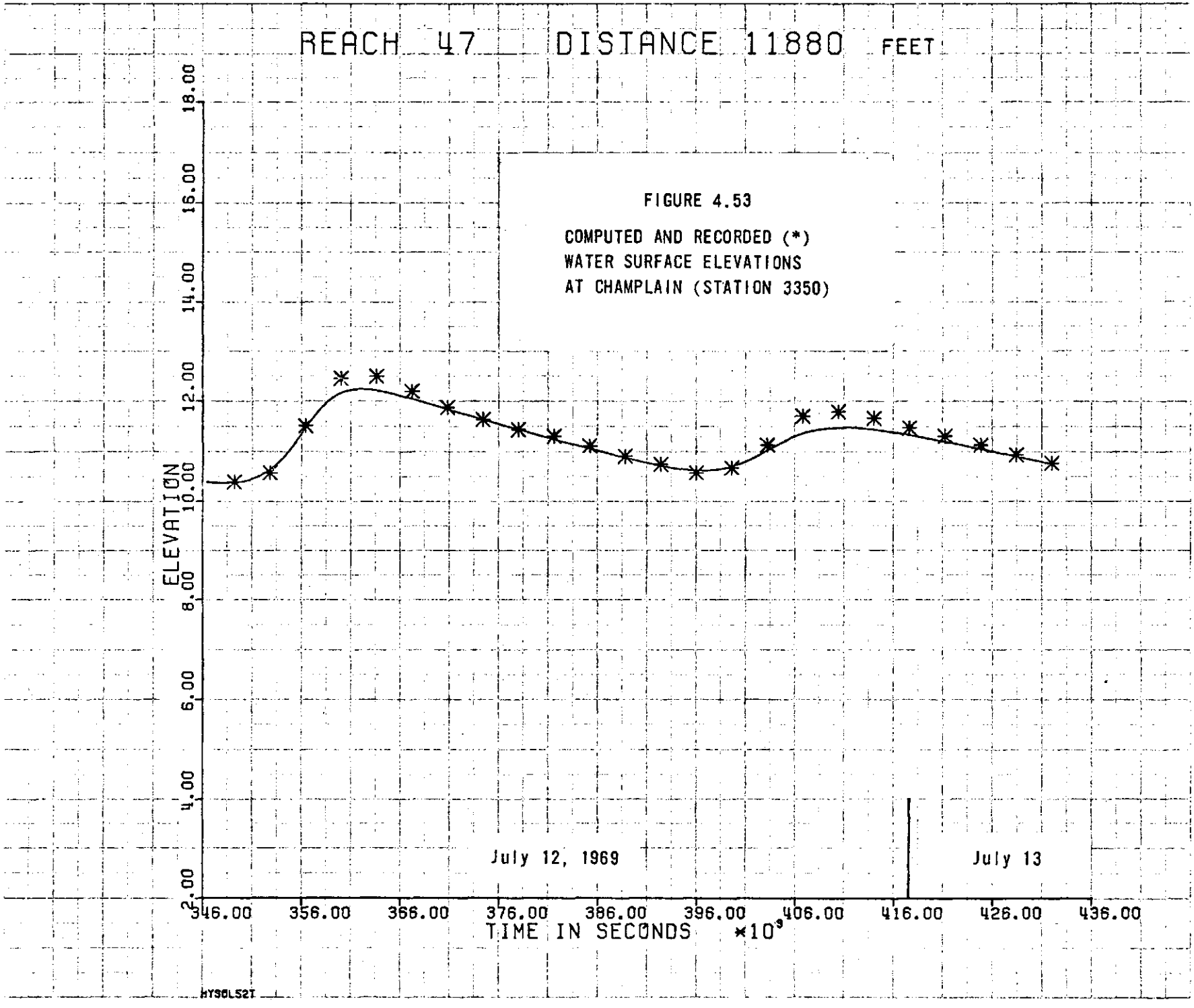
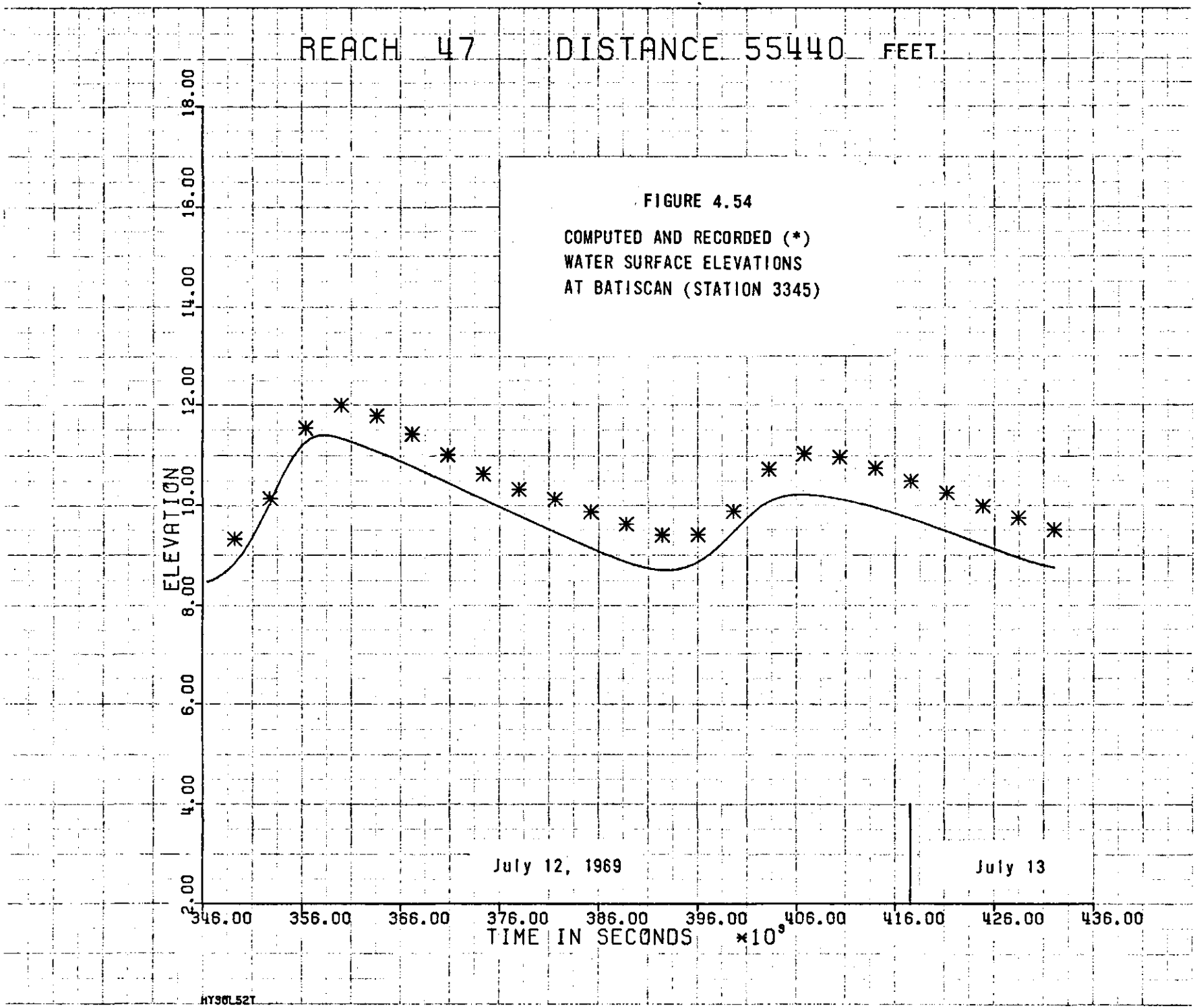
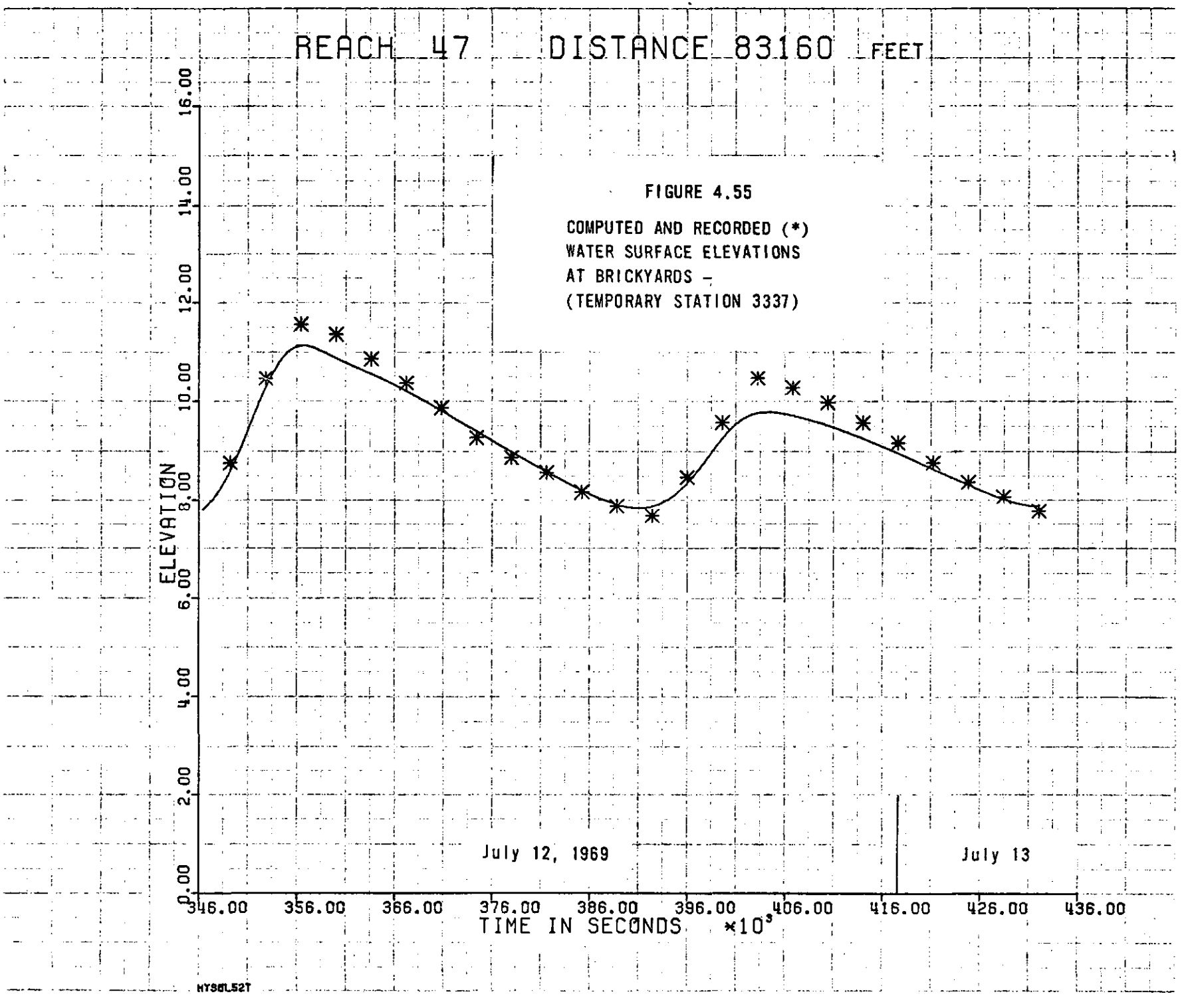


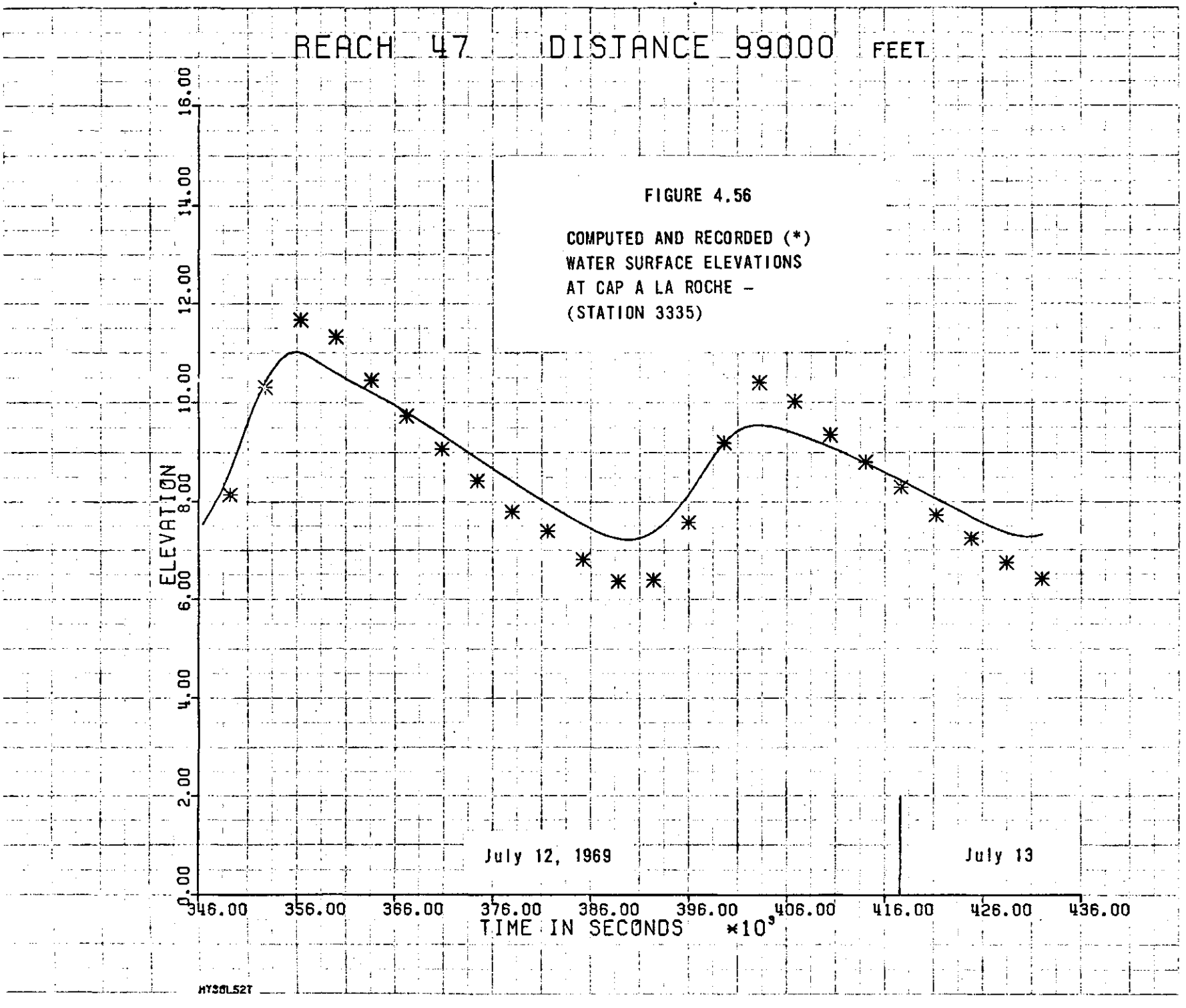
FIGURE 4.52

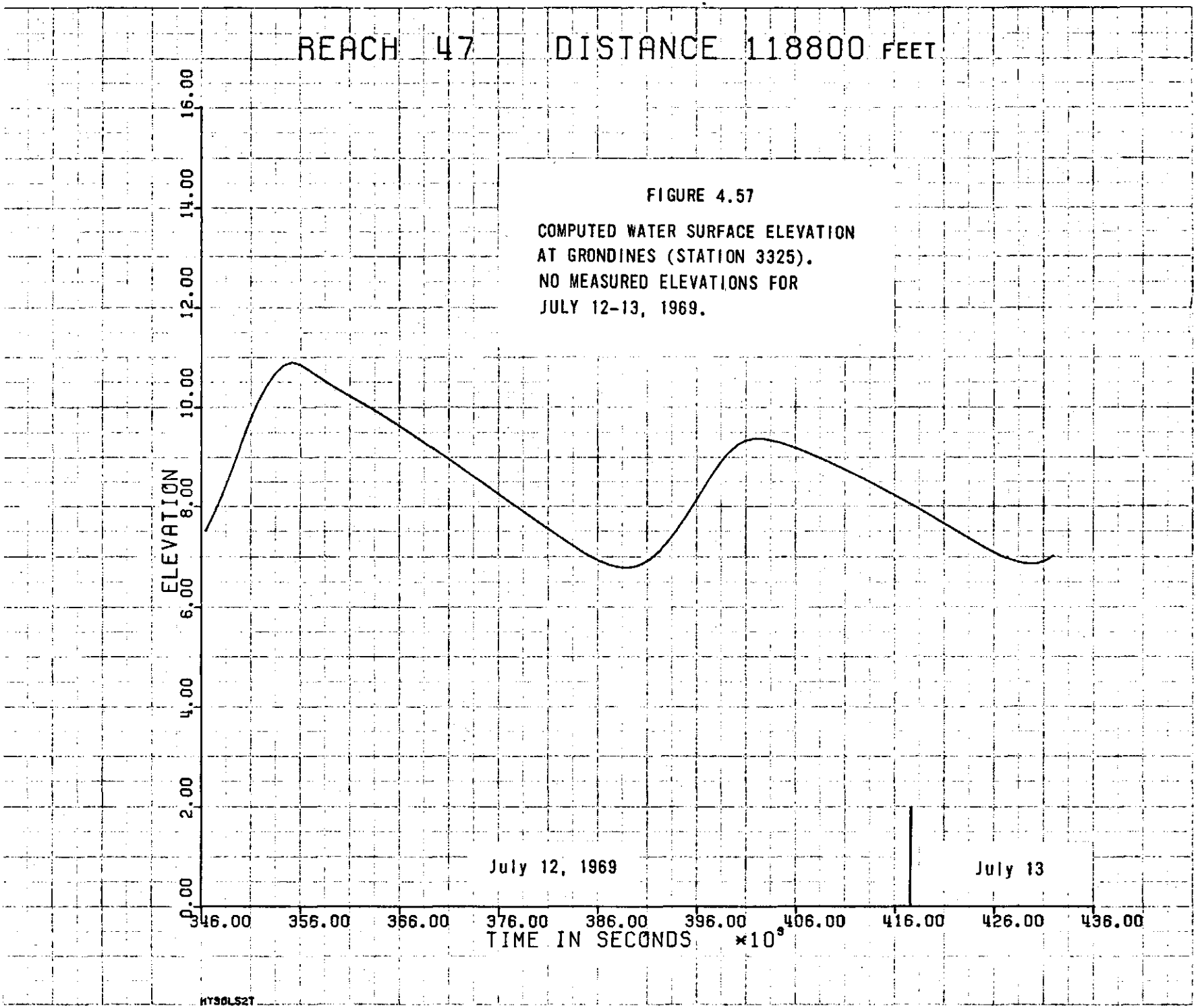
COMPUTED AND RECORDED (*)
WATER SURFACE ELEVATIONS
AT TROIS-RIVIERES
(STATION 3360)


REACH 47 DISTANCE 11880 FEET
FIGURE 4.53
COMPUTED AND RECORDED (*)
WATER SURFACE ELEVATIONS
AT CHAMPLAIN (STATION 3350)
ELEVATION
18.00
16.00
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
July 12, 1969
July 13
346.00
356.00
366.00
376.00
386.00
396.00
406.00
416.00
426.00
436.00
TIME IN SECONDS *10³
HYSELS2I


REACH 47 DISTANCE 55440 FEET
FIGURE 4.54
COMPUTED AND RECORDED (*)
WATER SURFACE ELEVATIONS
AT BATISCAN (STATION 3345)
ELEVATION
18.00
16.00
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
346.00
356.00
366.00
376.00
386.00
396.00
406.00
416.00
426.00
436.00
TIME IN SECONDS *10^9
July 12, 1969
July 13
HY30L52T


REACH 47 DISTANCE 83160 FEET
FIGURE 4.55
COMPUTED AND RECORDED (*)
WATER SURFACE ELEVATIONS
AT BRICKYARDS -
(TEMPORARY STATION 3337)
ELEVATION
16.00
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
July 12, 1969
July 13
346.00
356.00
366.00
376.00
386.00
396.00
406.00
416.00
426.00
436.00
TIME IN SECONDS ×10³
HYSGL52T


REACH 47 DISTANCE 99000 FEET
FIGURE 4.56
COMPUTED AND RECORDED (*)
WATER SURFACE ELEVATIONS
AT CAP A LA ROCHE –
(STATION 3335)
ELEVATION
16.00
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
346.00
356.00
366.00
376.00
386.00
396.00
406.00
416.00
426.00
436.00
TIME IN SECONDS ×10³
July 12, 1969
July 13
HYSOLS2T


REACH 47 DISTANCE 118800 FEET
FIGURE 4.57
COMPUTED WATER SURFACE ELEVATION
AT GRONDINES (STATION 3325).
NO MEASURED ELEVATIONS FOR
JULY 12-13, 1969.
ELEVATION
16.00
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
July 12, 1969
July 13
346.00
356.00
366.00
376.00
386.00
396.00
406.00
416.00
426.00
436.00
TIME IN SECONDS *10³
HY30LS2T

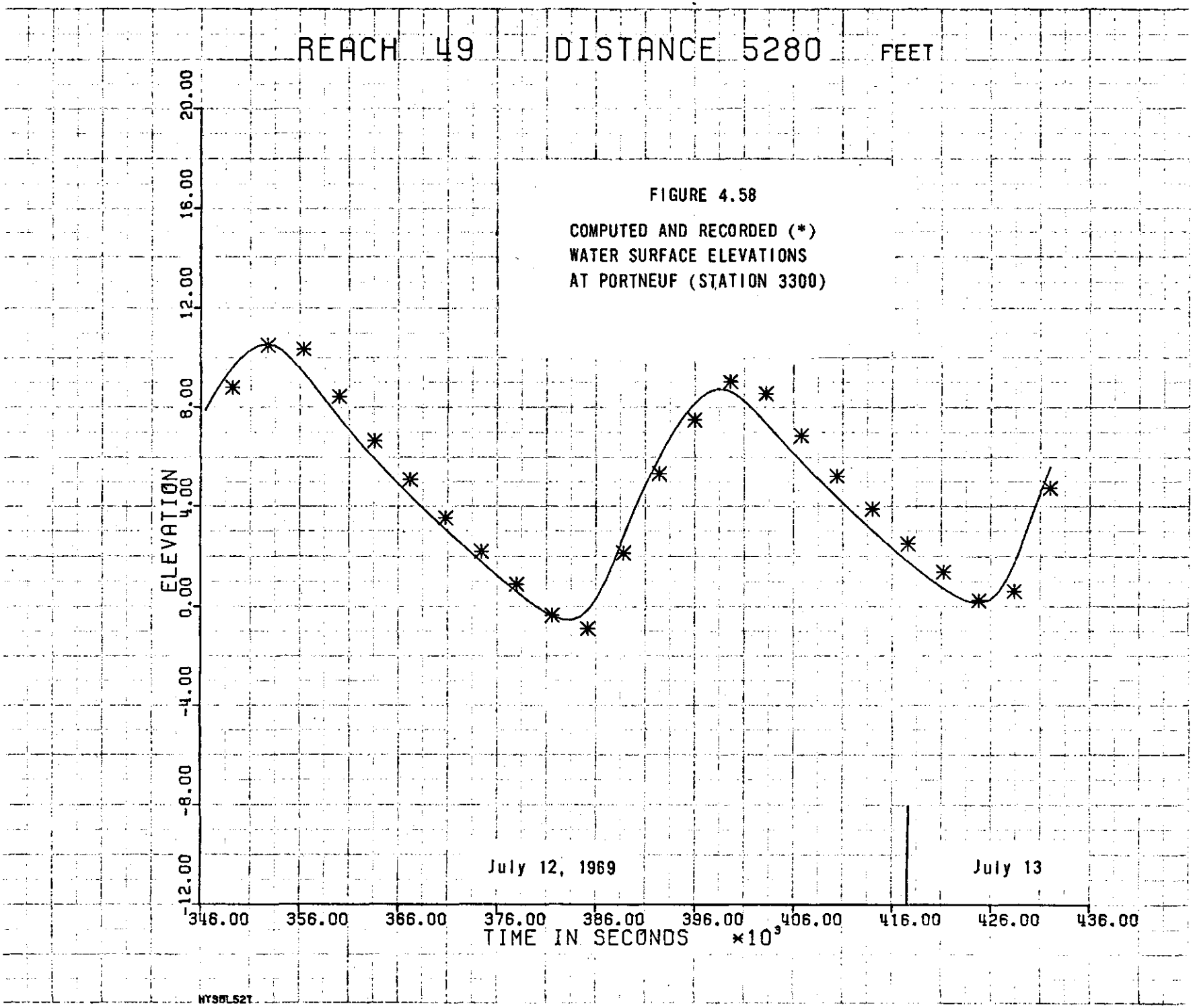


FIGURE 4.58

COMPUTED AND RECORDED (*)
WATER SURFACE ELEVATIONS
AT PORTNEUF (STATION 3300)

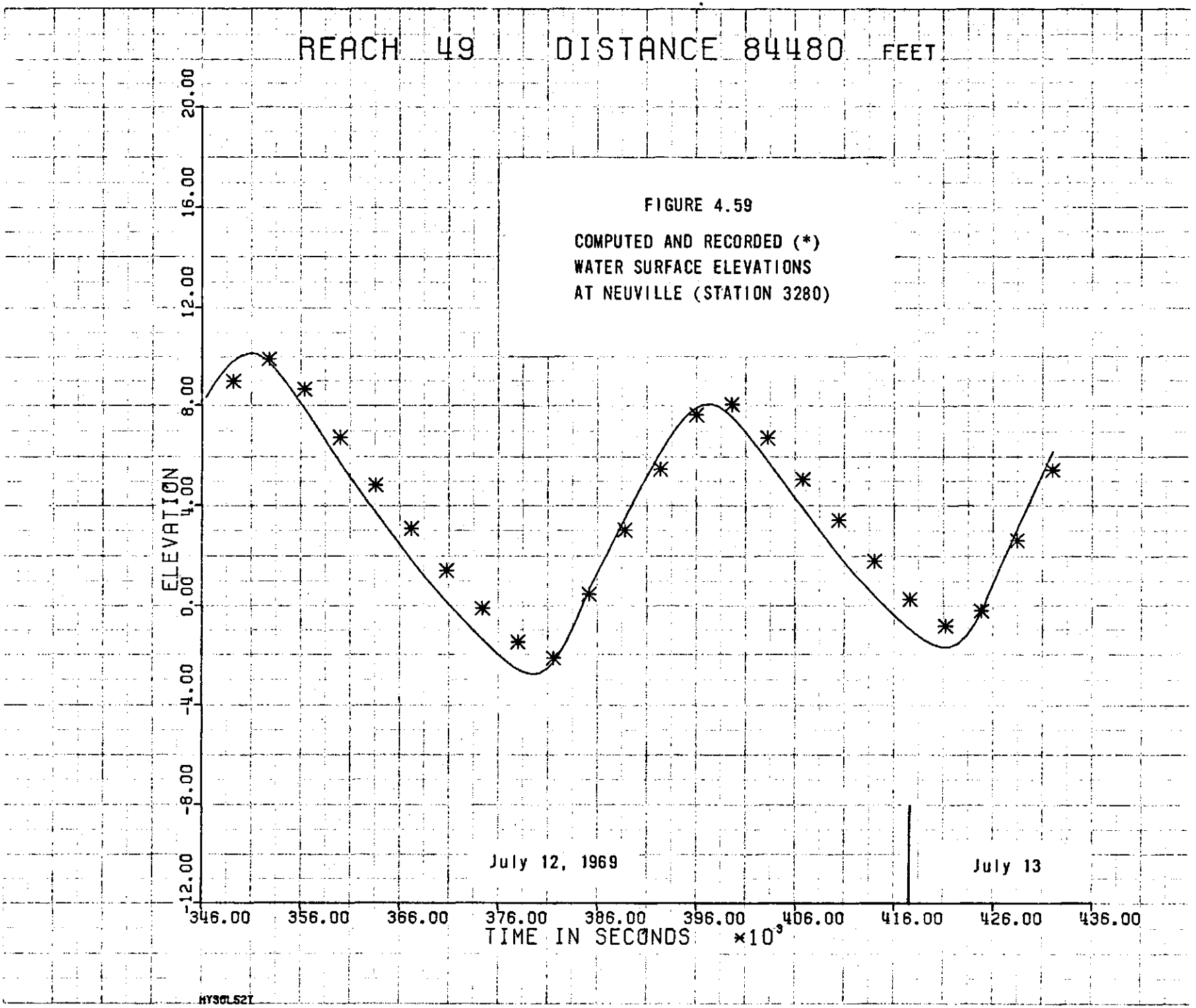


FIGURE 4.59

COMPUTED AND RECORDED (*)
WATER SURFACE ELEVATIONS
AT NEUVILLE (STATION 3280)

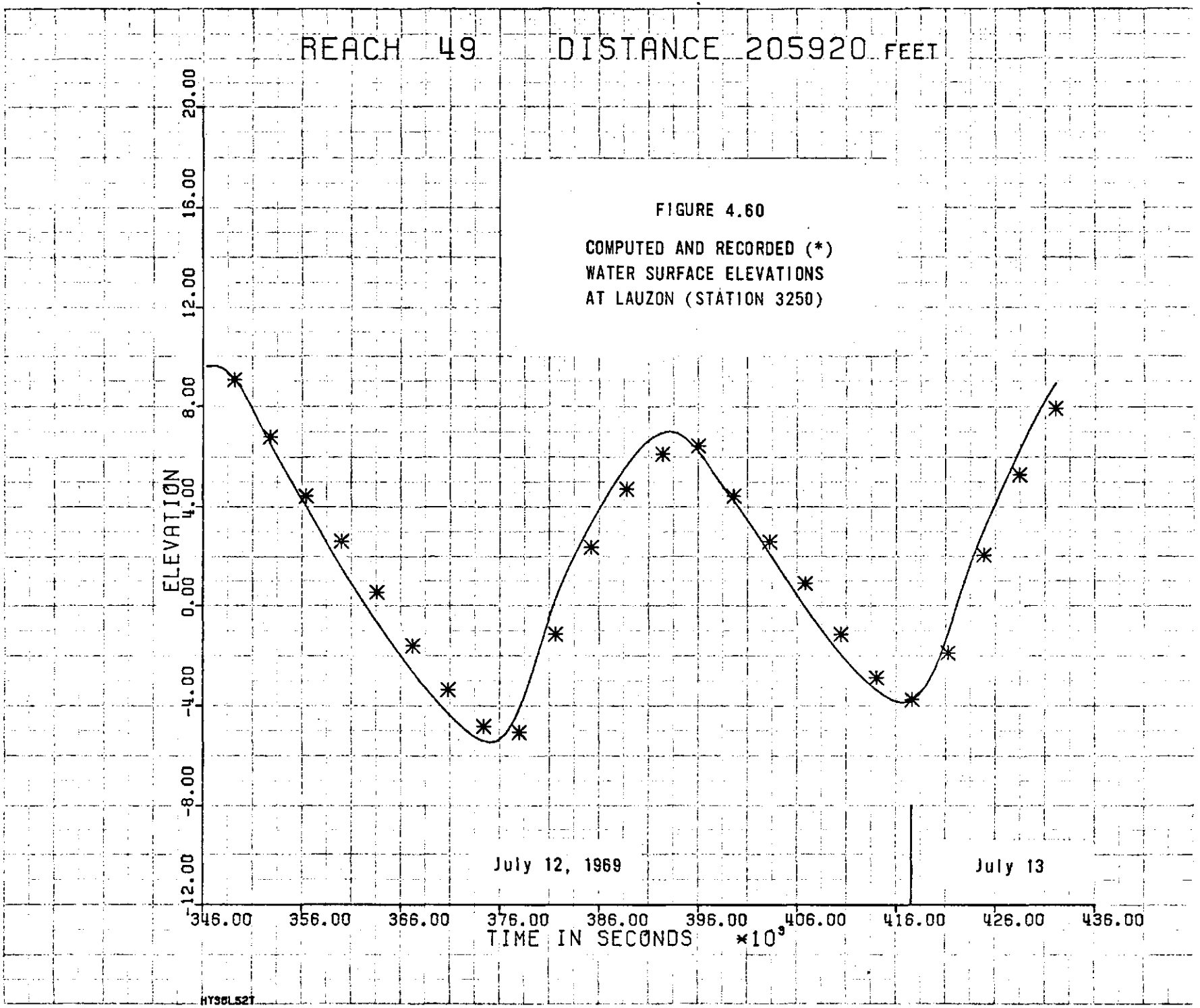
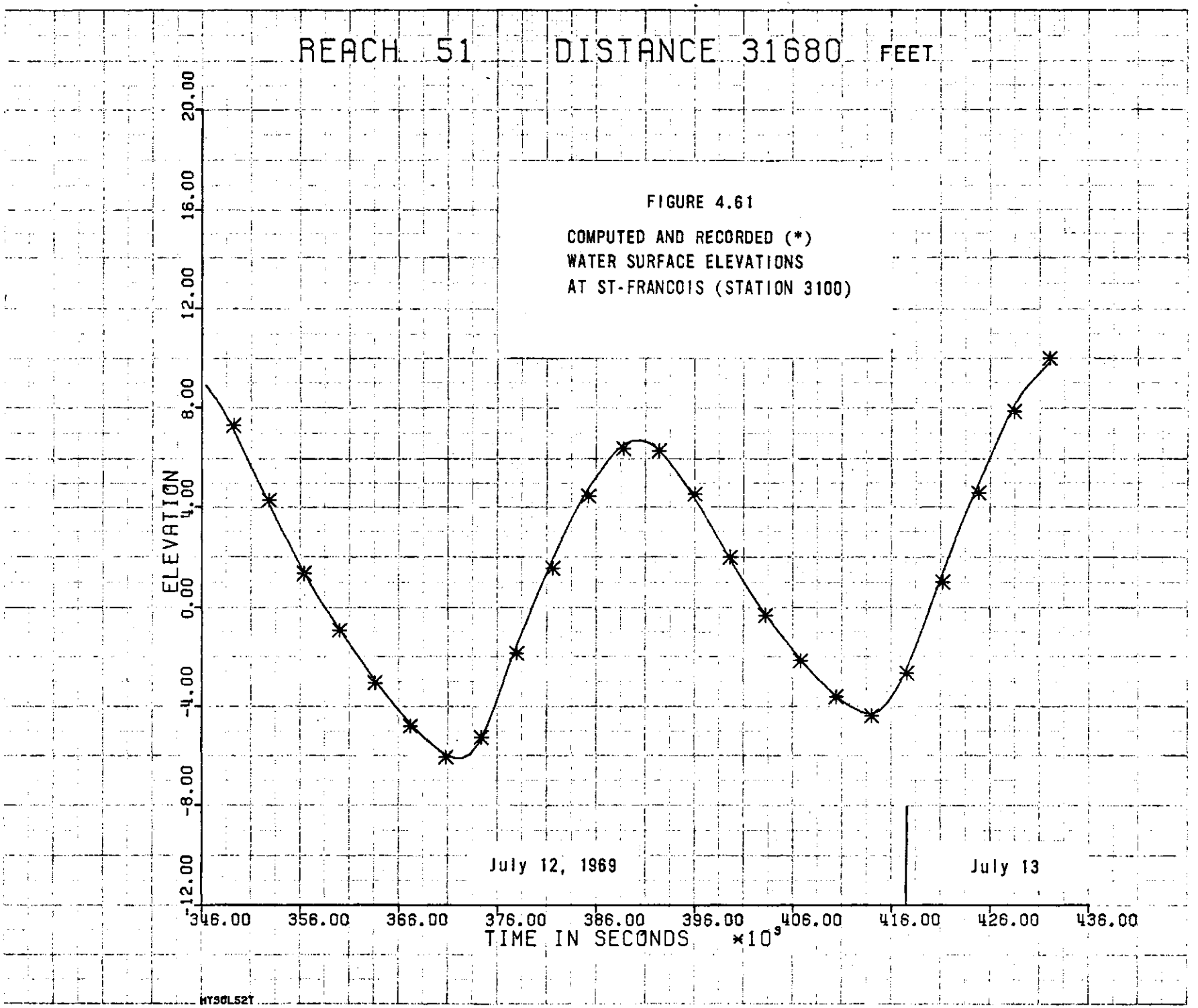


FIGURE 4.60

COMPUTED AND RECORDED (*)
WATER SURFACE ELEVATIONS
AT LAUZON (STATION 3250)


REACH 51 DISTANCE 31680 FEET
FIGURE 4.61
COMPUTED AND RECORDED (*)
WATER SURFACE ELEVATIONS
AT ST-FRANCOIS (STATION 3100)
ELEVATION
20.00
16.00
12.00
8.00
4.00
0.00
-4.00
-8.00
-12.00
346.00
356.00
366.00
376.00
386.00
396.00
406.00
416.00
426.00
436.00
TIME IN SECONDS *10³
July 12, 1969
July 13
HY3GLS2T

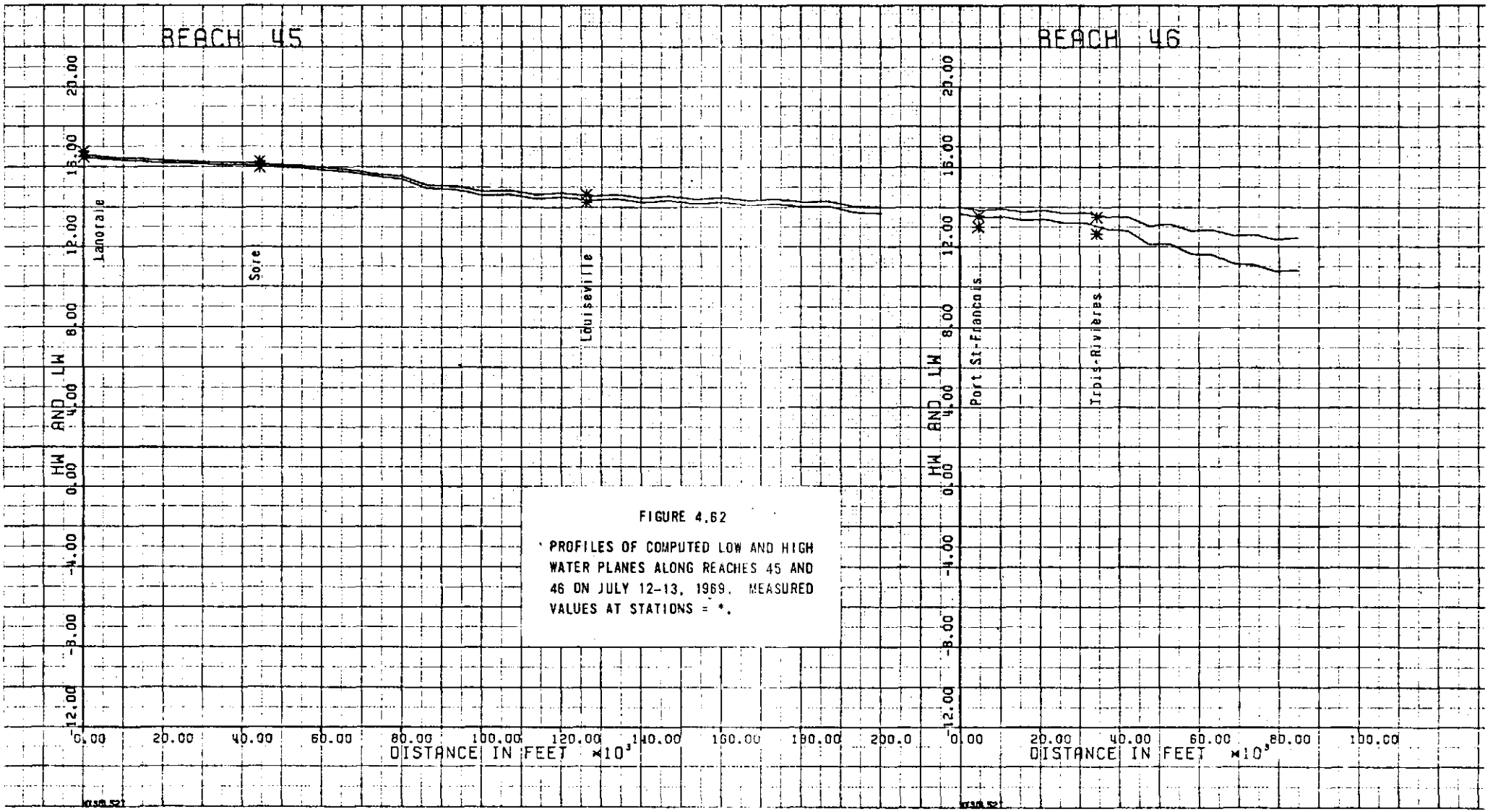
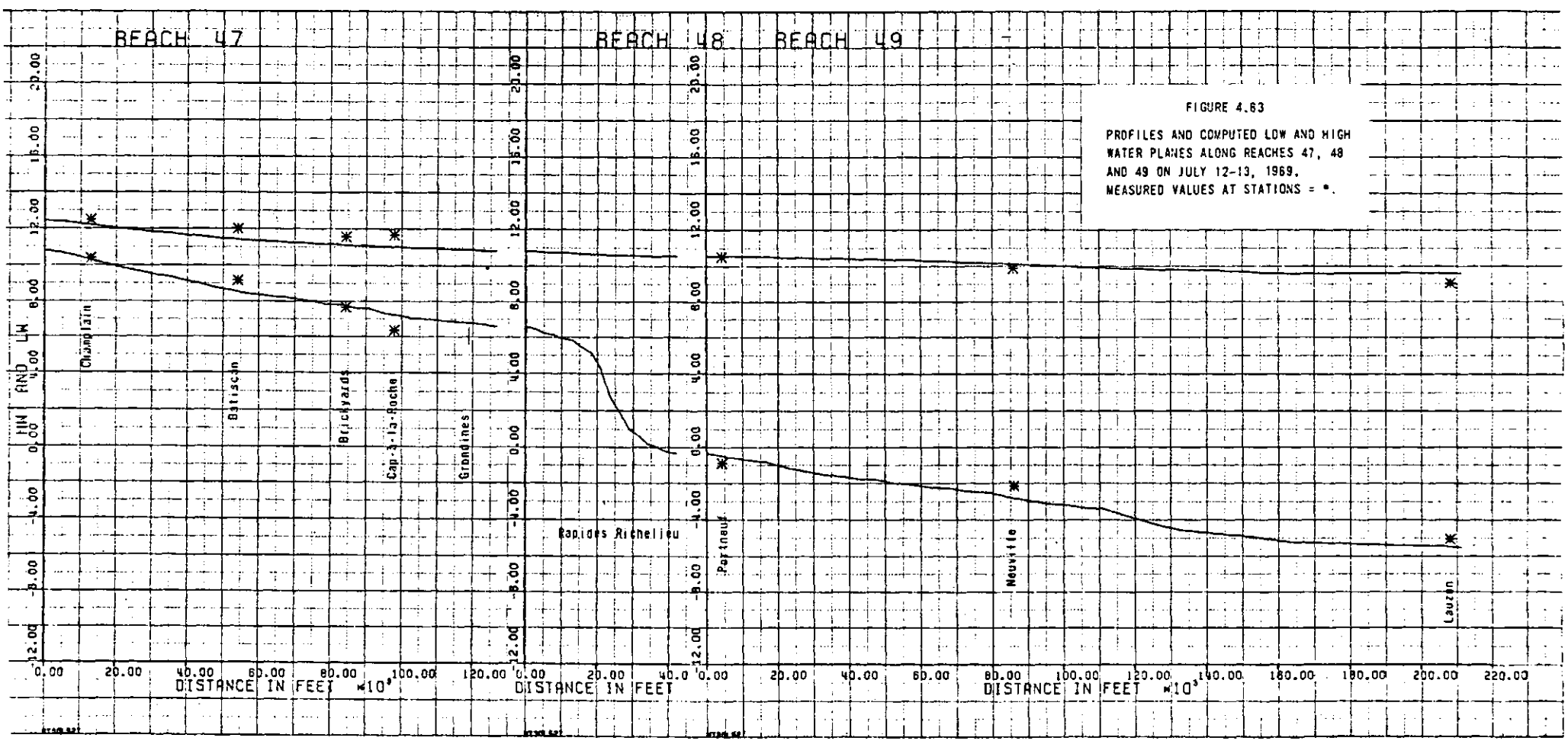


FIGURE 4.62

PROFILES OF COMPUTED LOW AND HIGH WATER PLANES ALONG REACHES 45 AND 46 ON JULY 12-13, 1969. MEASURED VALUES AT STATIONS = *.


REACH 47
REACH 48
REACH 49
FIGURE 4.63
PROFILES AND COMPUTED LOW AND HIGH WATER PLANES ALONG REACHES 47, 48 AND 49 ON JULY 12-13, 1969.
MEASURED VALUES AT STATIONS = *.
FEET ABOVE MSL
DISTANCE IN FEET *10³
Champlain
Beauharnois
Brickyards
Cap-à-la-Roche
Grondines
Rapides Richelieu
Portneuf
Neuville
Lauzon

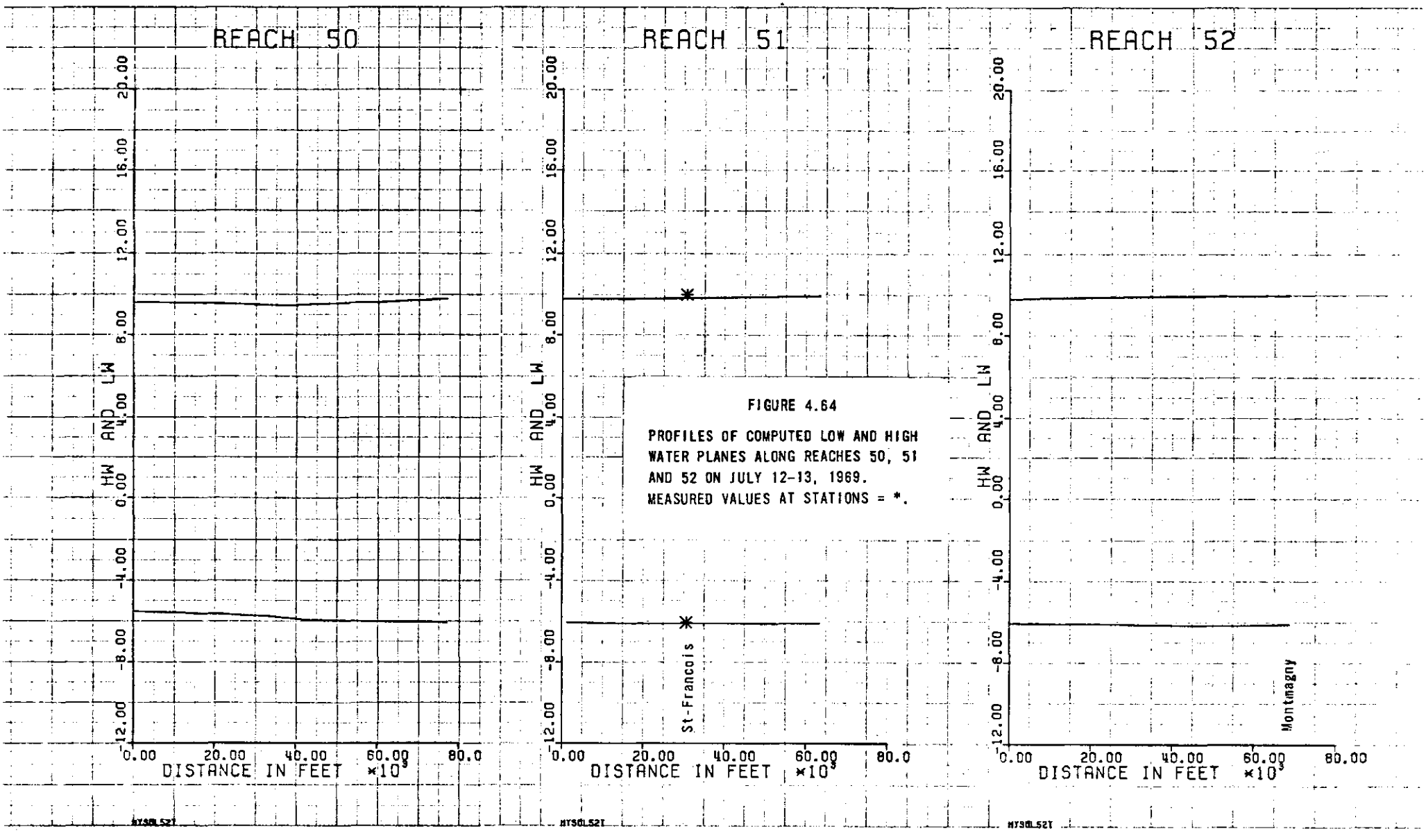


FIGURE 4.64

PROFILES OF COMPUTED LOW AND HIGH WATER PLANES ALONG REACHES 50, 51 AND 52 ON JULY 12-13, 1969. MEASURED VALUES AT STATIONS = *.

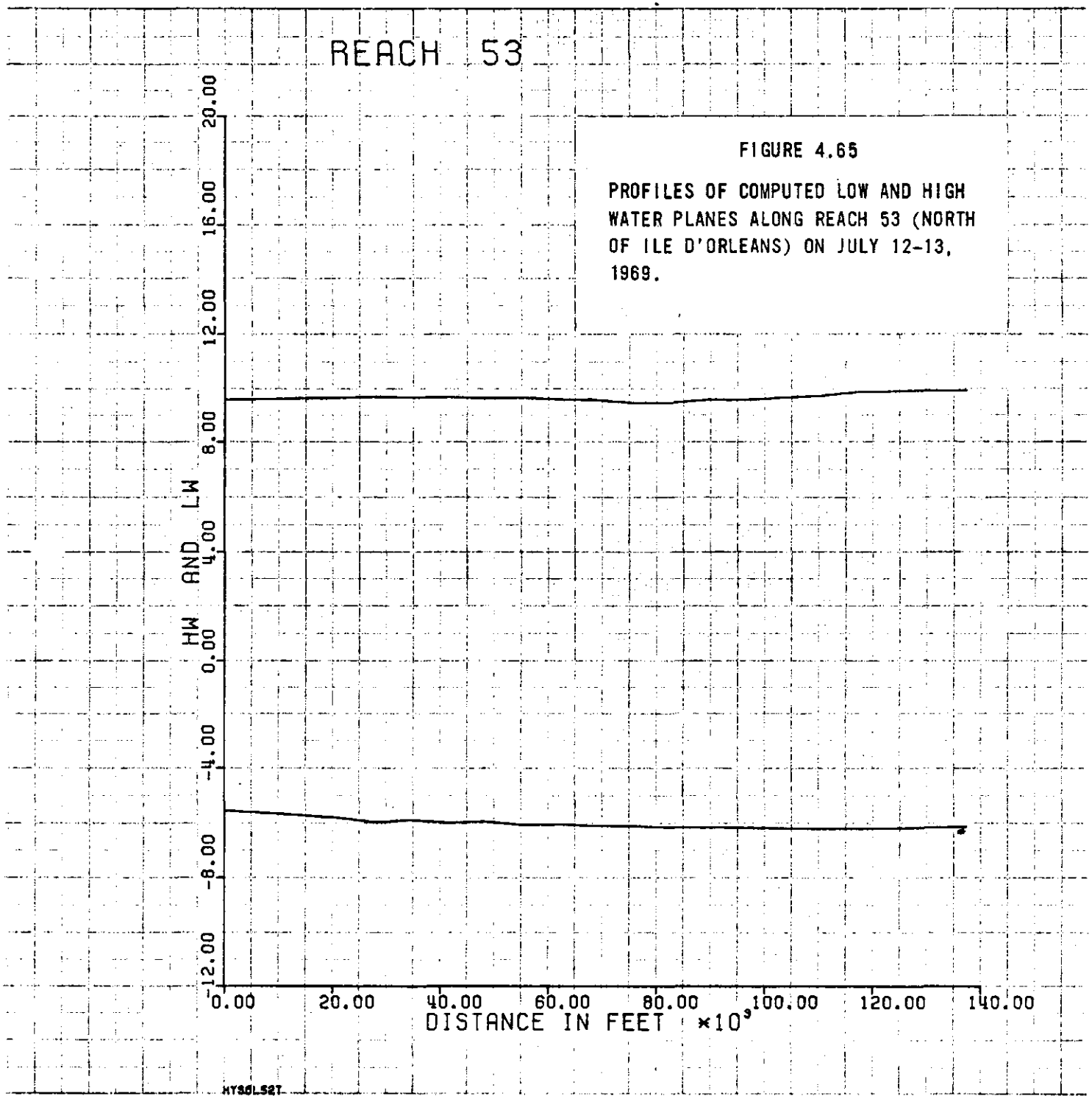


FIGURE 4.65

PROFILES OF COMPUTED LOW AND HIGH WATER PLANES ALONG REACH 53 (NORTH OF ILE D'ORLEANS) ON JULY 12-13, 1969.

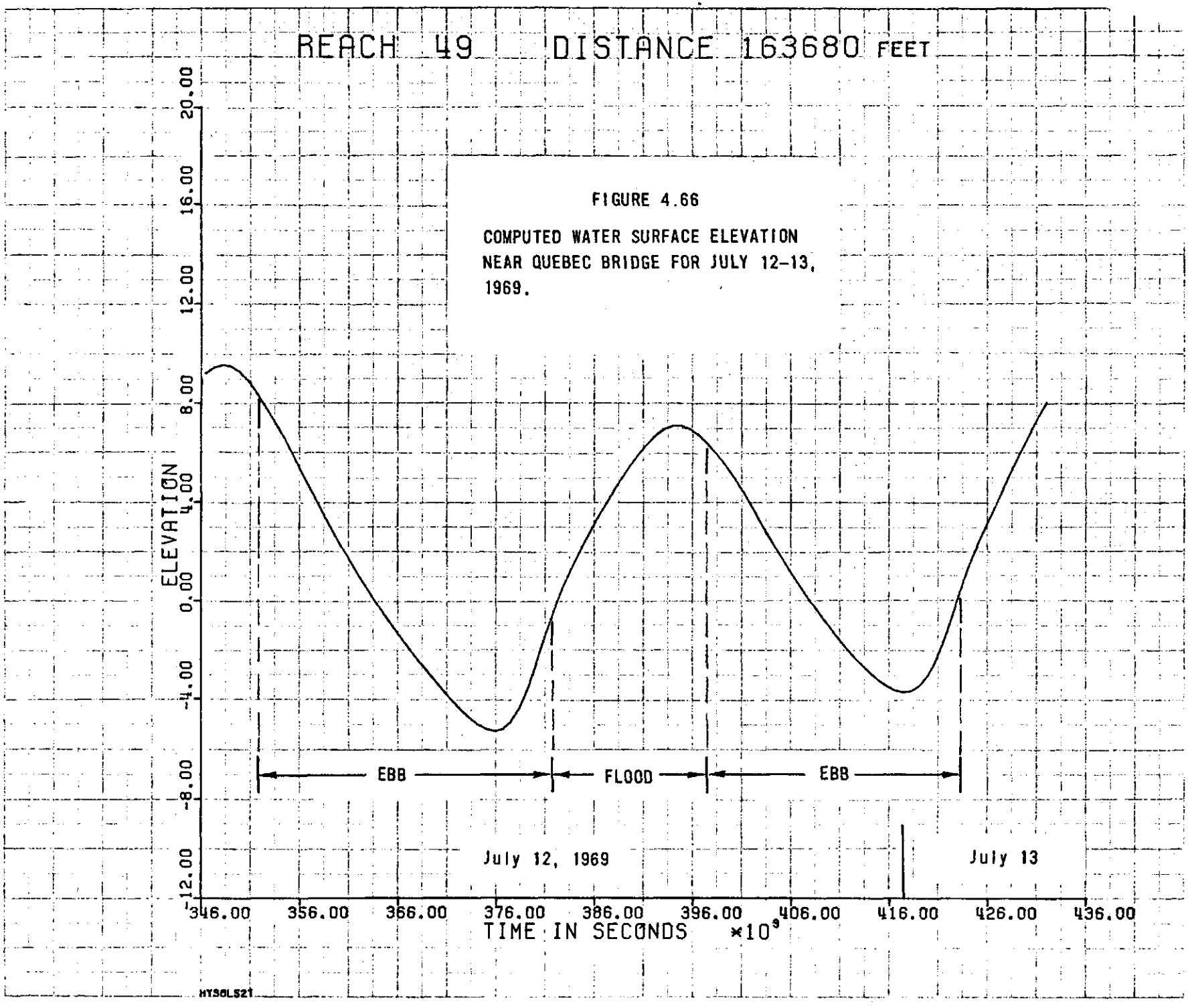


FIGURE 4.66

COMPUTED WATER SURFACE ELEVATION NEAR QUEBEC BRIDGE FOR JULY 12–13, 1969.

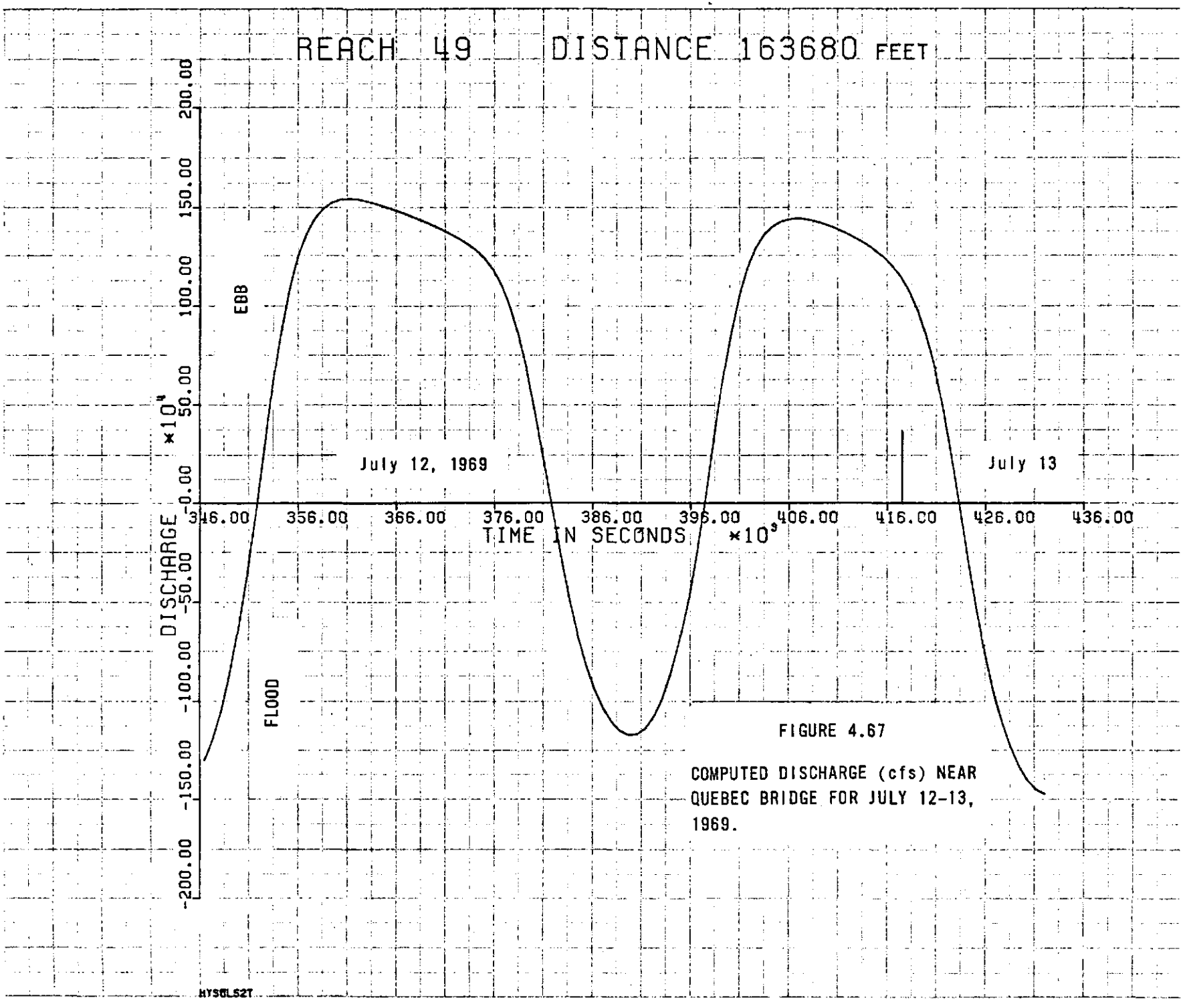


FIGURE 4.67

COMPUTED DISCHARGE (cfs) NEAR QUEBEC BRIDGE FOR JULY 12-13, 1969.

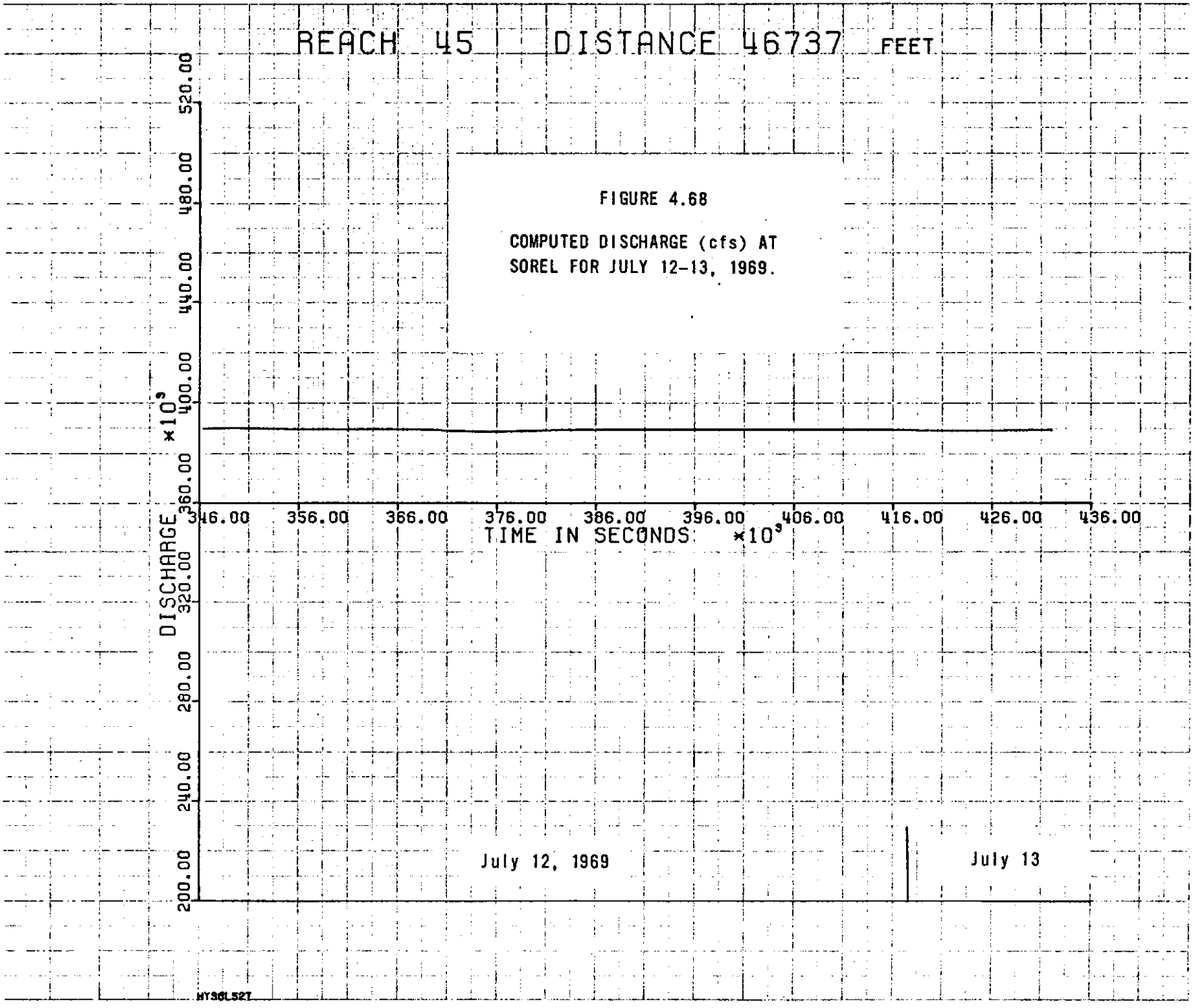


FIGURE 4.68

COMPUTED DISCHARGE (cfs) AT SOREL FOR JULY 12-13, 1969.

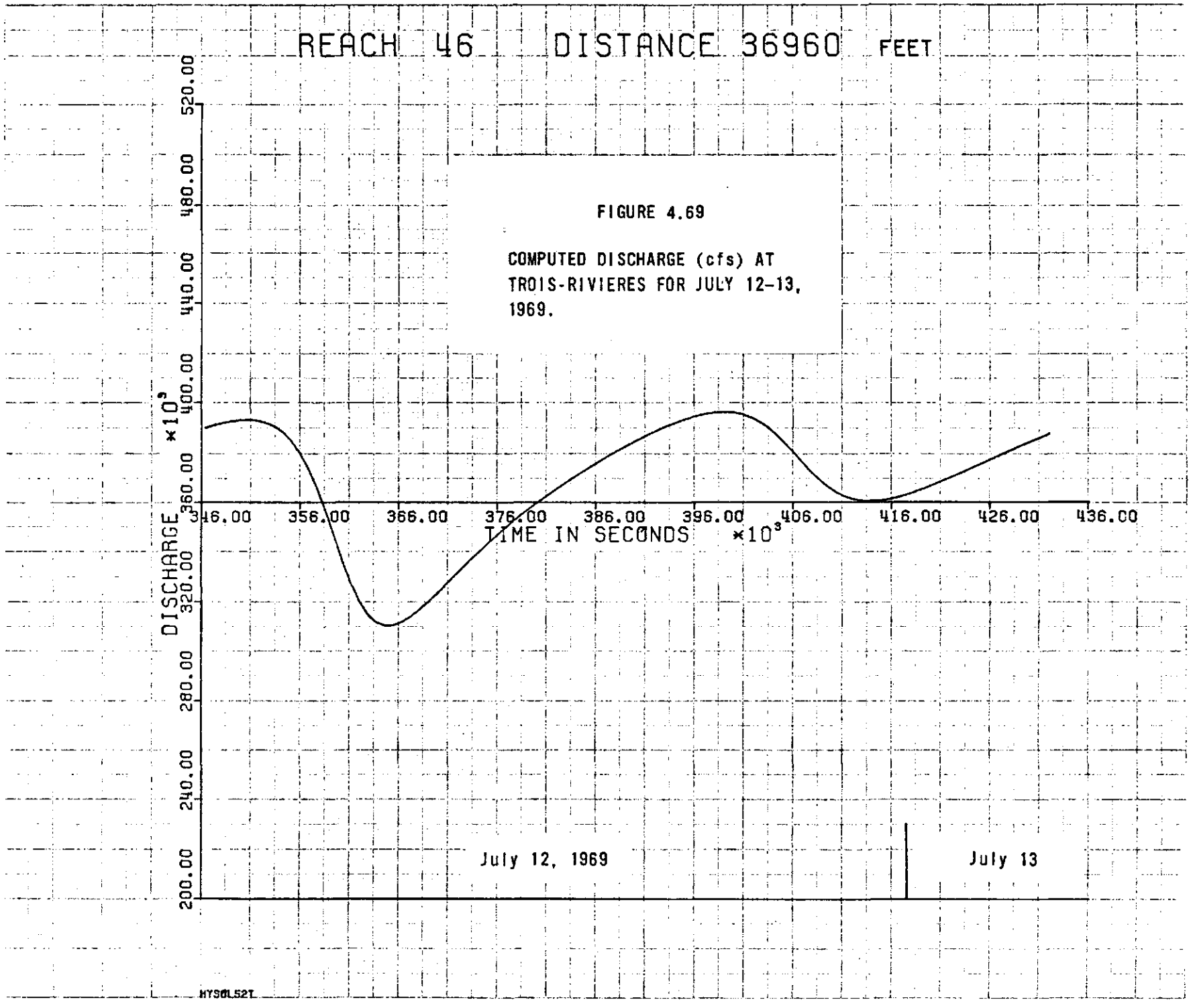


FIGURE 4.69

COMPUTED DISCHARGE (cfs) AT TROIS-RIVIERES FOR JULY 12-13, 1969.

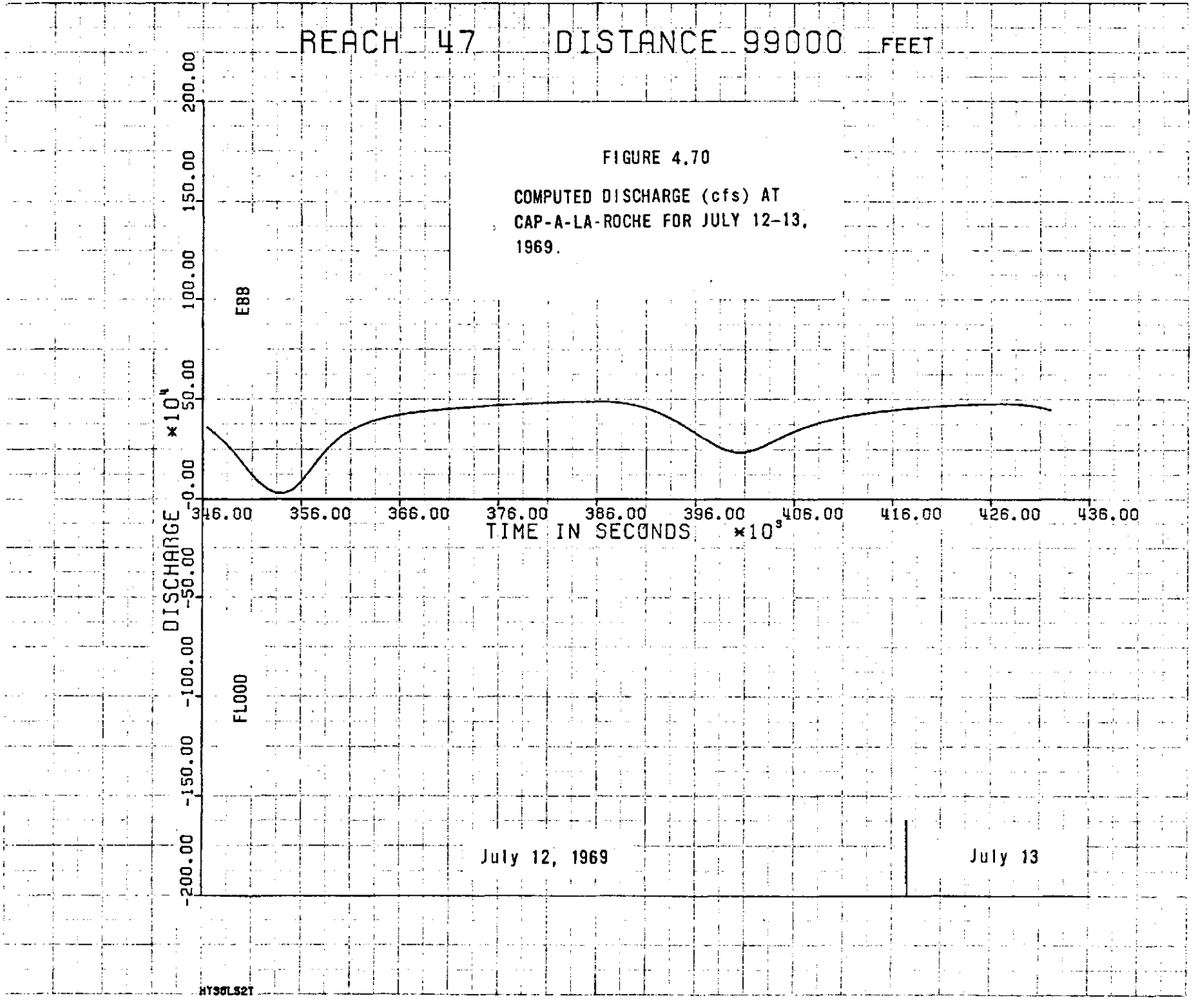
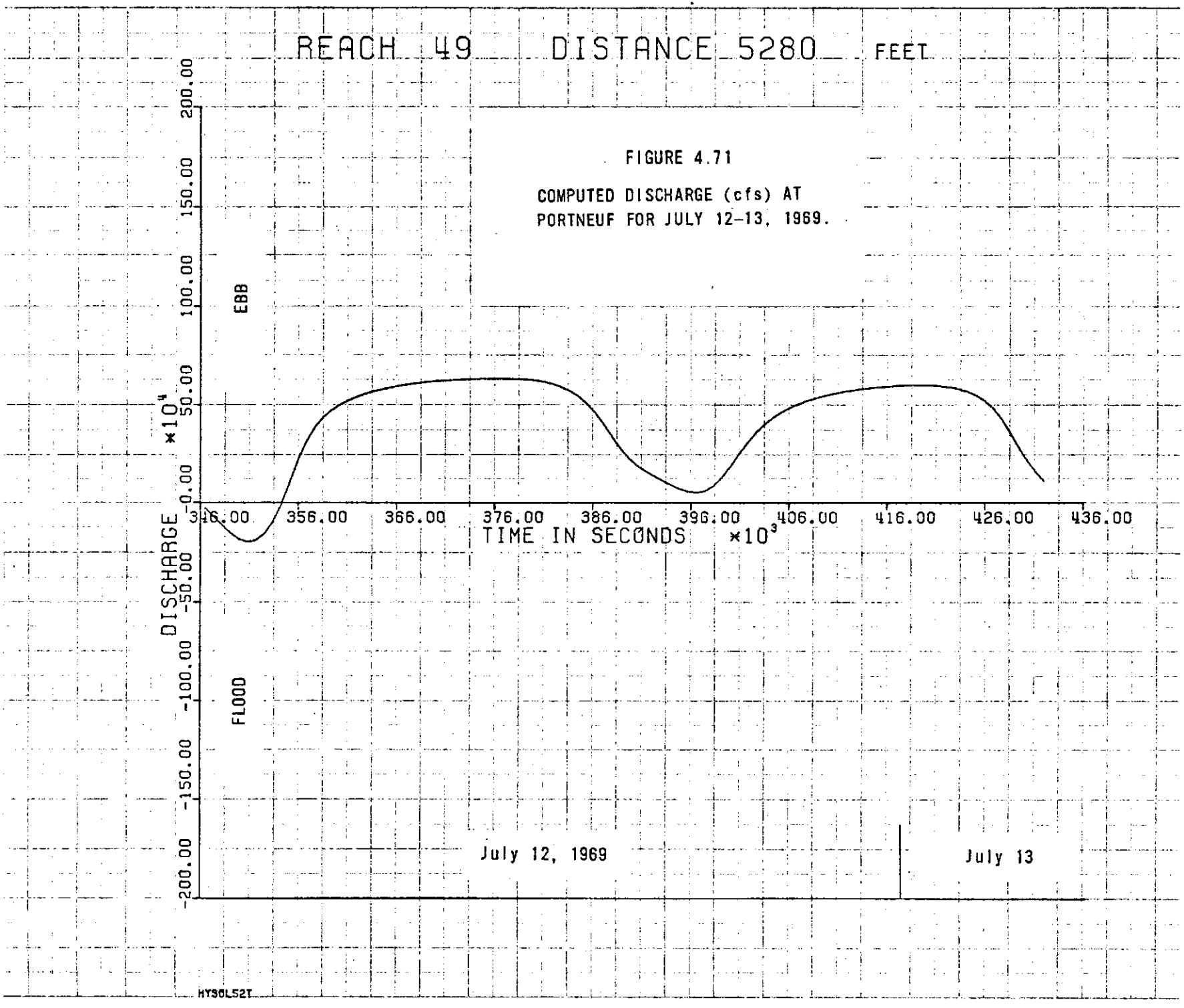
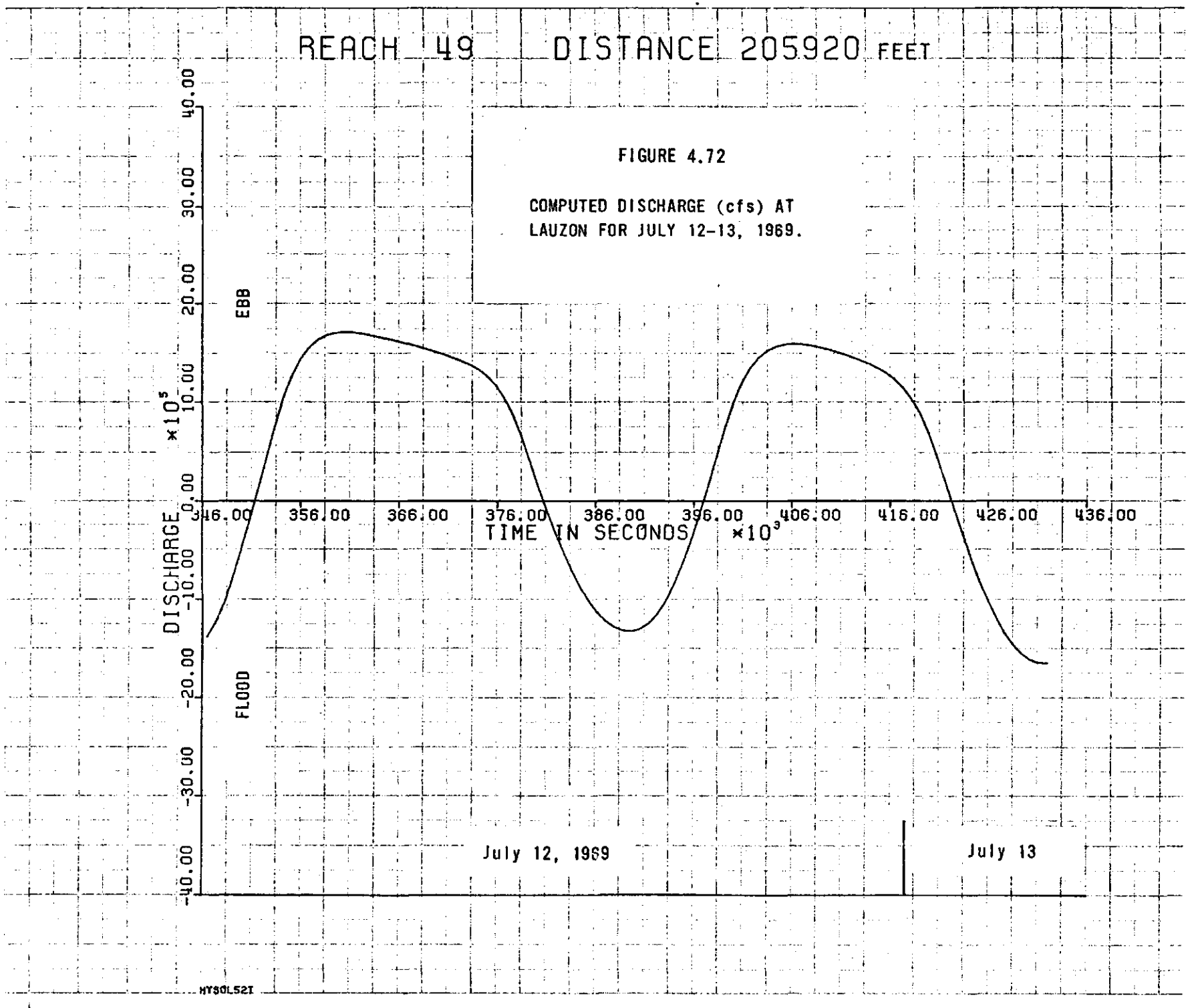


FIGURE 4.70

COMPUTED DISCHARGE (cfs) AT CAP-A-LA-ROCHE FOR JULY 12-13, 1969.


REACH 49 DISTANCE 5280 FEET
FIGURE 4.71
COMPUTED DISCHARGE (cfs) AT
PORTNEUF FOR JULY 12-13, 1969.
EBB
FLOOD
DISCHARGE ×10⁴
200.00
150.00
100.00
50.00
0.00
-50.00
-100.00
-150.00
-200.00
346.00
356.00
366.00
376.00
386.00
396.00
406.00
416.00
426.00
436.00
TIME IN SECONDS ×10³
July 12, 1969
July 13
HY30L52I


REACH 49 DISTANCE 205920 FEET
FIGURE 4.72
COMPUTED DISCHARGE (cfs) AT
LAUZON FOR JULY 12-13, 1969.
EBB
FLOOD
DISCHARGE ×10^5
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
-10.00
-20.00
-30.00
-40.00
346.00
356.00
366.00
376.00
386.00
396.00
406.00
416.00
426.00
436.00
TIME IN SECONDS ×10^3
July 12, 1969
July 13
HYSOL52I

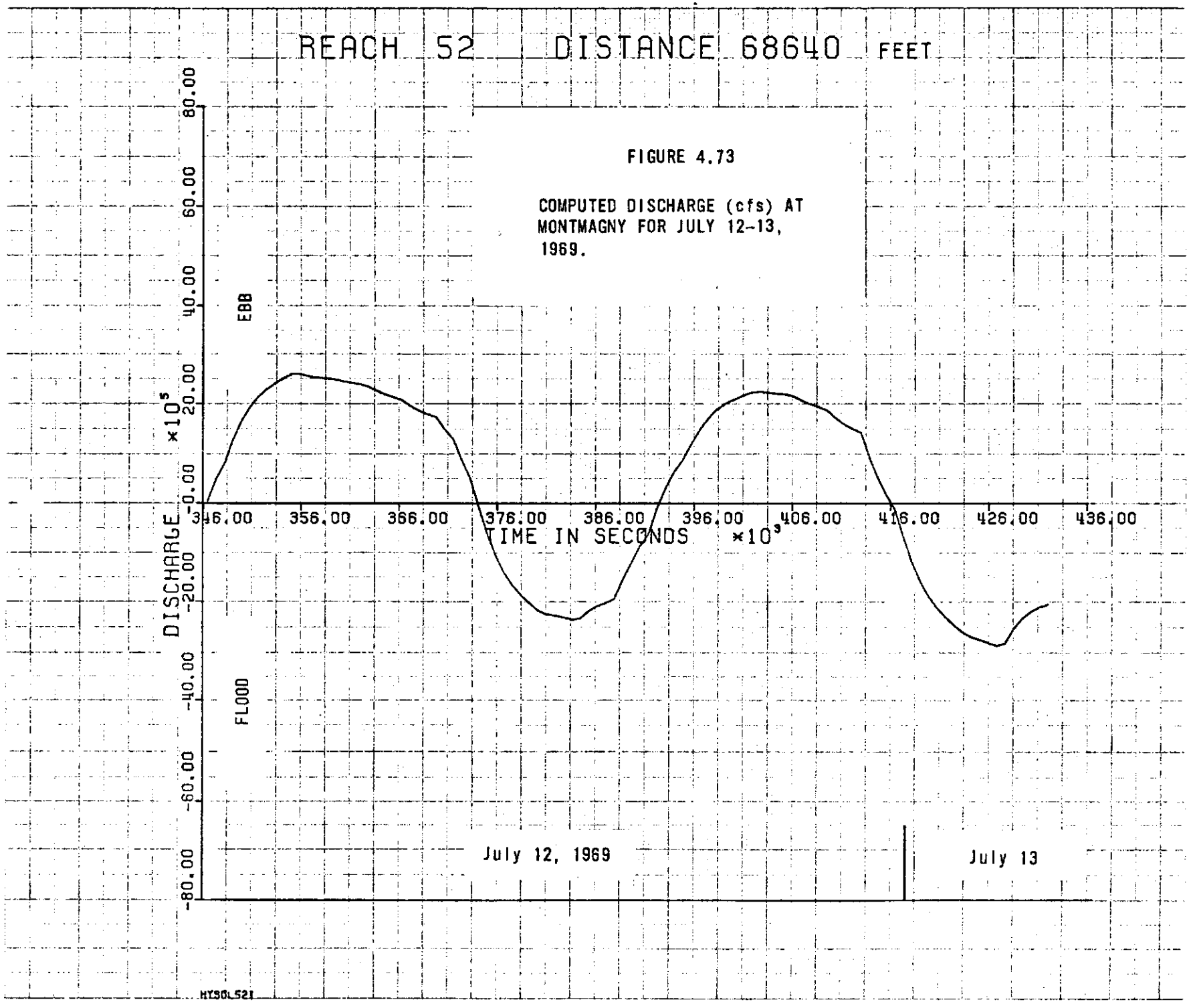


FIGURE 4.73

COMPUTED DISCHARGE (cfs) AT MONTMAGNY FOR JULY 12-13, 1969.

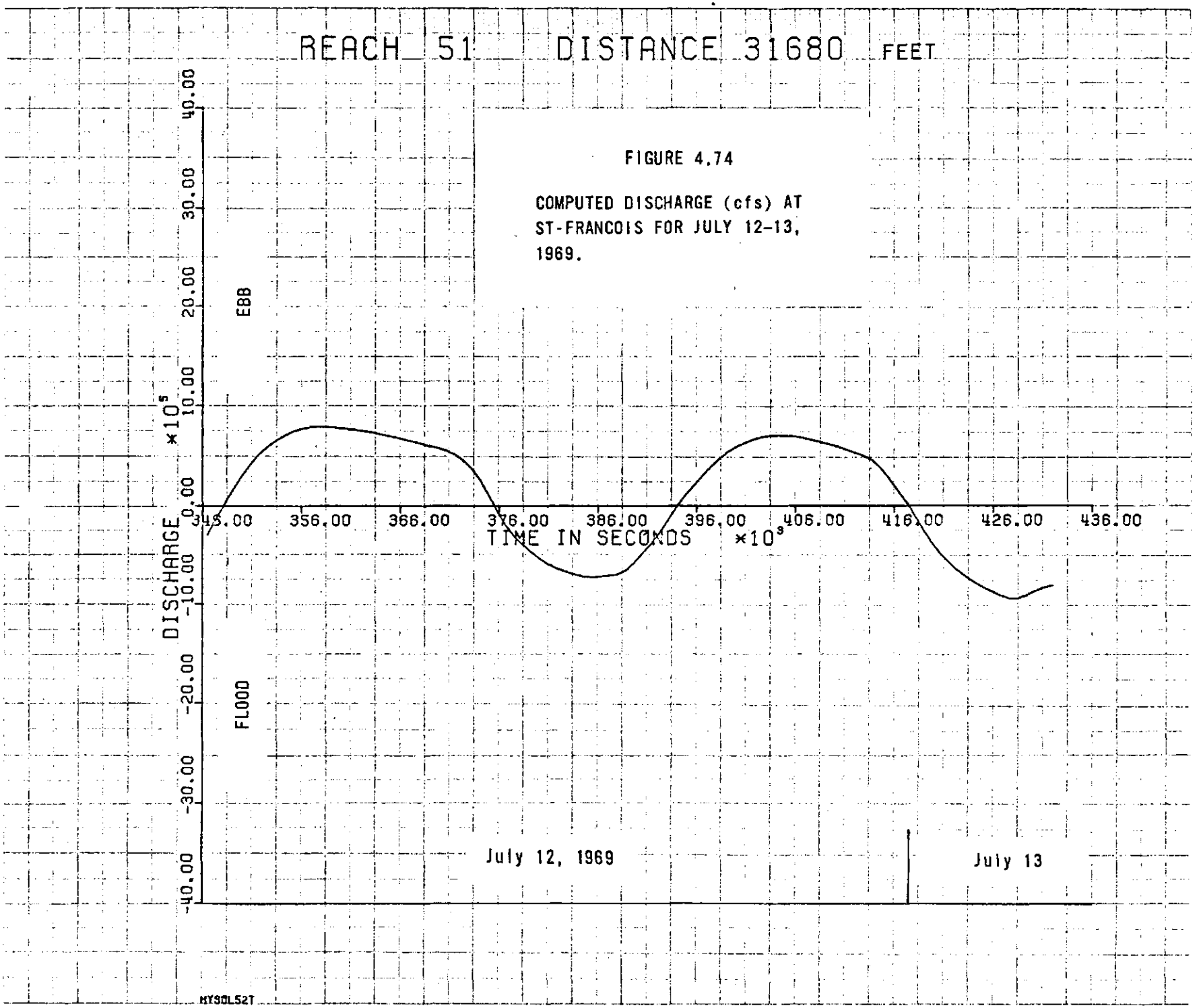
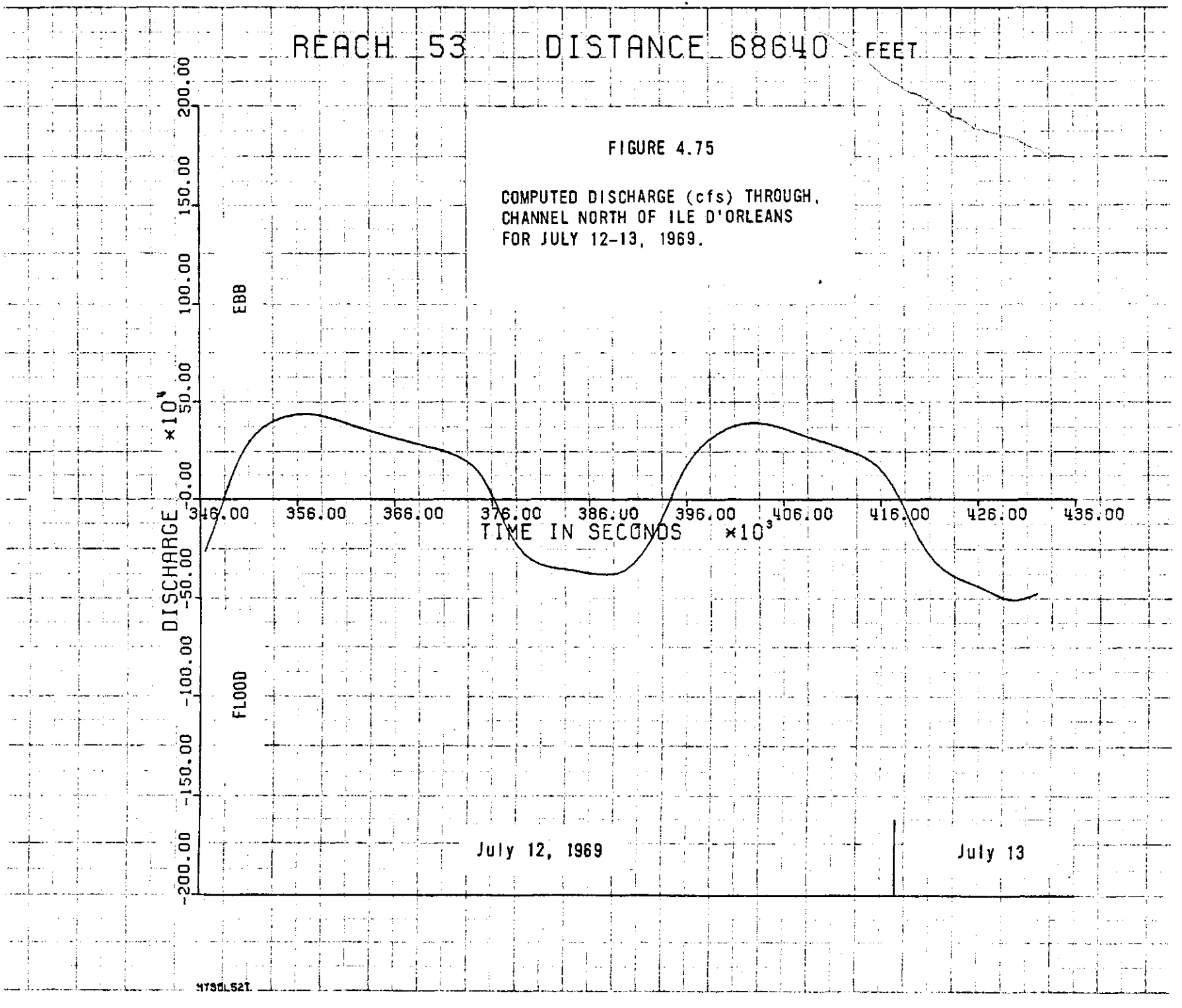


FIGURE 4.74

COMPUTED DISCHARGE (cfs) AT ST-FRANCOIS FOR JULY 12-13, 1969.


REACH 53 DISTANCE 68640 FEET
FIGURE 4.75
COMPUTED DISCHARGE (cfs) THROUGH, CHANNEL NORTH OF ILE D'ORLEANS FOR JULY 12-13, 1969.
EBB
FLOOD
DISCHARGE ×10⁴
200.00
150.00
100.00
50.00
0.00
-50.00
-100.00
-150.00
-200.00
346.00
356.00
366.00
376.00
386.00
396.00
406.00
416.00
426.00
436.00
TIME IN SECONDS ×10³
July 12, 1969
July 13