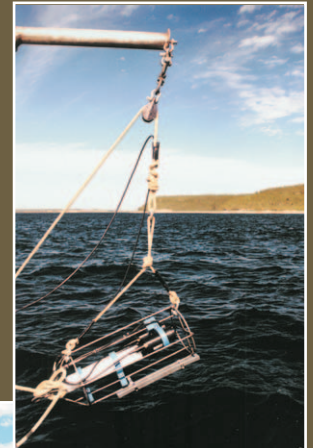


Complexe de la *Romaine*

Études sédimentologiques et
océanographiques de la rivière Romaine
et de la zone de l'embouchure

Océanographie physique

Mars 2006



*Complexe de la Romaine
Études sédimentologiques et océanographiques
de la rivière Romaine et de la zone de
l'embouchure — Océanographie physique
Rapport final*

Présenté à *Direction principale – Expertise
Unité environnement
Hydro-Québec*

Par *Environnement Illimité inc.*

Mars 2006

Rapport d'étude : Sommaire

Titre (pour fins de citation) :

Lorrain, S., J. Gingras, et C. Morin. 2006. *Complexe de la Romaine — Études sédimentologiques et Océanographiques de la rivière Romaine et de la zone de l'embouchure— Océanographie physique.* Rapport produit par Environnement Illimité inc. pour Hydro-Québec. 157 pages, 2 annexes et 17 cartes.

Résumé :

Cette étude intègre les résultats d'une première campagne océanographique réalisée à l'été 2001, complétée par deux campagnes effectuées en 2004 et 2005 visant à décrire les caractéristiques physiques des masses d'eau et à identifier les principaux processus régissant dans la zone de l'embouchure et le chenal de Mingan. Les mesures reposent principalement sur des profils CTD pris au printemps, en été et en hiver et sur quelques séries temporelles de mesures du courant. Une approche statistique de traitement des données a été appliquée pour définir les grandes tendances spatio-temporelles des phénomènes contrôlant les caractéristiques des masses d'eau à partir de données provenant de différentes années, à différentes périodes et à différents moments du stade de la marée. Cette approche a été complétée par une analyse descriptive afin d'expliquer les processus hydrologiques et océanographiques régissant les phénomènes observés.

La rivière Romaine ne possède pas d'estuaire à proprement parler à cause de la présence de trois seuils rocheux (chute de l'Auberge, Fausse chute, seuil de la rivière Aisley) qui empêche la propagation de la marée. Après les chutes, la rivière se déverse vers le chenal de Mingan à travers une grande baie peu profonde d'environ 14 km² qui reçoit aussi les apports fluviaux de la rivière Lechasseur. Cette baie, parsemée de battures exondées à marée basse et entrecoupées de chenaux, est un lieu où l'on observe une importante variation saisonnière de la salinité, de la température et de la structure de la colonne d'eau. Durant la crue printanière, et automnale, dans une moindre mesure, le milieu est dominé par les apports fluviaux. En hiver, le milieu est stratifié mais la présence de la glace a des répercussions sur les échanges d'eau salée entre la zone de l'embouchure et le chenal de Mingan. La zone de l'embouchure peut être divisée en deux parties où le secteur à l'est et à l'aval de l'embouchure de la rivière Aisley est assujéti à des conditions marines, du moins près du fond. Le secteur ouest est un milieu euryhalin où s'oppose le forçage des apports fluviaux et de l'intrusion marine. Ces conditions ont fait en sorte qu'un important herbier de zostère a pu se développer dans le secteur est alors que dans le secteur ouest, l'habitat est transitoire pour une communauté marine qui tente de s'y établir mais qui est grandement perturbée par le passage de la crue printanière d'eau douce. Par ailleurs, le secteur ouest est aussi plus dynamique et correspond au chenal principal d'évacuation des apports fluviaux des rivières Romaine et Lechasseur. Dans ce secteur, les courants fluviaux, les courants de marée et la houle du large modèlent le substrat. L'influence des apports fluviaux sur les caractéristiques physiques de la colonne d'eau va dominer durant la période de la crue, généralement de mai à juillet.

En période de crue, la zone de l'embouchure représente un milieu homogène d'eau douce à légèrement saumâtre en périphérie du secteur ouest. La zone de l'embouchure évoluera vers un milieu stratifié où le fond est soumis à des conditions marines croissantes, d'abord en alternance en période de débits intermédiaires (de 200 à 500 m³/s) et finalement constants en période d'étiage (< 200 m³/s). Cette évolution sera plus rapide du côté est de la zone de l'embouchure. L'analyse des niveaux d'eau a permis d'établir un seuil d'environ 500 à 600 m³/s au-delà de laquelle l'influence de la rivière est probablement le forçage le plus important. Entre 200 et 500 m³/s, l'intrusion saline se fait sentir périodiquement jusqu'au fond des fosses situées aux pieds des chutes, mais l'eau douce prédominera sur toute la colonne d'eau sur une distance d'environ 500 m des chutes. Sur une base annuelle, les chenaux constituent un milieu marin alors que les hauts-fonds et battures sont assujéttis à des conditions saumâtres plus ou moins importantes en fonction de leur distance de la zone de l'embouchure et du stade de la marée.

En hiver, la présence des glaces affecte le patron de circulation, et cela entraîne des modifications importantes des caractéristiques physiques de la colonne d'eau. Les glaces contraignent l'écoulement fluvial dans les chenaux, ce qui provoque un épaissement de la couche d'eau douce de surface, de manière similaire à ce qui est observé lorsque le débit fluvial est plus fort. L'effet est tel que des conditions homogènes seront observées périodiquement durant la marée semi-diurne. Il semble que l'épaisseur de la couche de surface limite la propagation de l'intrusion saline jusqu'aux fosses qu'aux périodes de vives-eaux. Cela signifie que les fosses, où des conditions marines persistent à partir de quelques mètres sous la surface, sont renouvelées aux deux semaines et peuvent ainsi devenir des refuges potentiels pour les espèces marines. En hiver, les faibles débits passant par la Fausse Chute et la rivière Aisley sont coupés ou fortement atténués, ce qui réduit les apports fluviaux dans le secteur est où se trouve la zostéaie. Cela se traduit par un milieu aux caractéristiques dominées par l'intrusion marine et, dans une moindre mesure, les apports fluviaux venant du chenal central déviés par la glace en contact avec les battures.

Le panache de la rivière Romaine s'étend jusqu'aux îles de l'archipel de Mingan et probablement au-delà au moment le plus fort de la crue. Par contre, le panache n'affecte jamais la totalité du chenal de Mingan et balaie la région selon un cycle modulé par la marée semi-diurne, parfois perturbé par les vents. L'épaisseur du panache diminue rapidement à partir de la zone de l'embouchure et est généralement inférieure à 0,5 m. Au printemps, le passage de la crue printanière amène la formation d'une couche d'eau mélangée intermédiaire jusqu'à une profondeur d'environ 11 m. Cette couche d'eau intermédiaire n'est pas présente sur l'ensemble du chenal de Mingan et fluctue vraisemblablement en fonction du cycle de la marée semi-diurne comme le fait le panache en surface. Les conditions de température dans le panache de surface et la couche intermédiaire sont plus chaudes que l'eau sous-jacente qui origine du golfe du Saint-Laurent.

Dans l'ensemble, la zone de l'embouchure n'est pas considérée comme un estuaire à proprement parler, tant d'un point de vue physique (pas de propagation de la marée vers l'amont au-delà des chutes) qu'écologique. Les fortes variations des caractéristiques physiques de la colonne d'eau avec le passage de la crue printanière, qui transforme un milieu euryhalin à marin en un milieu d'eau douce temporaire, affectent la composition spécifique de la faune aquatique, tant pour le benthos que pour la faune ichtyenne, à l'exception du secteur est où se trouve la zostéaie. Dans ce contexte, l'information disponible ne permet pas d'identifier la zone de l'embouchure comme étant un milieu de transition où l'échelle spatio-temporelle est suffisante pour permettre l'établissement d'écosystèmes caractéristiques des milieux estuariens.

Mots-clés :

Rivière Romaine, profils CTD, salinité, température, CDOM, couleur, courantométrie, circulation, glaces, chenaux, battures, fosses, zostéaie, chenal de Mingan, panache

Liste de distribution :

Hydro-Québec Équipement, direction – Développement de projets et Environnement

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Hydro-Québec

Chargé de projet, Environnement : Michel Bérubé

Conseillère Environnement : Danielle Messier

Environnement Illimité inc.

Direction interne

Directeur général : Michel Couillard, *directeur*

Directeur de projet : Stéphane Lorrain, *océanographe*

Analyse et rédaction

Spécialiste – aspects physiques : Stéphane Lorrain

Spécialiste – biostatistique : Jérôme Gingras

Traitement des données : Catherine Morin

Relevés de terrain et laboratoire : Amélie Boudreau, biologiste (Havre-Saint-Pierre)
Roger Misson, technicien (Havre-Saint-Pierre)
Mylène Landry, technicienne (Havre-Saint-Pierre)
Jocelyn Cyr, technicien support (Havre-Saint-Pierre)
Denis Petitpas technicien support (Havre-Saint-Pierre)
Pierre Desjardins, technicien support (Havre-Saint-Pierre)
Valérie Guay, technicienne
Sylvie Angel, biologiste (Havre-Saint-Pierre)

Carto-Média et En Toutes Lettres

Traitement de texte et éditique :

Lise Blais, éditique
Julie Korell, réviseure
Sophie Chisogne, réviseure

Infographie / géo-cartographie :

Daniel Cloutier, géo-cartographe
Huguette Léonard, technicienne en cartographie et en infographie
Anne-Marie Marquis, technicien SIRS
Sébastien Fortin, infographiste
Simon Roy, spécialiste SIRS

TABLE DES MATIÈRES

ÉQUIPE DE TRAVAIL	I
1 INTRODUCTION	1
1.1 Contexte de l'étude	1
1.2 Objectifs.....	1
2 MÉTHODOLOGIE	3
2.1 Études antérieures	3
2.2 Niveaux d'eau et débit de la rivière Romaine.....	3
2.3 Courantologie et caractéristiques des masses d'eau	4
2.3.1 Mouillages.....	4
2.3.2 Profils CTD 2001-2004-2005	4
2.3.2.1 Campagne de 2001.....	4
2.3.2.2 Campagne de 2004.....	5
2.3.2.3 Campagne de 2005.....	5
2.3.2.4 Validation des profils.....	5
2.3.2.5 Classification des profils.....	7
2.3.3 Préparation pour l'analyse en composantes principales (ACP).....	8
2.3.3.1 Emplacement de la pycnocline	9
2.3.3.2 Catégories de stratification	9
2.3.3.3 Limite des couches.....	10
2.3.4 Préparation pour l'analyse descriptive.....	10
2.3.4.1 Profils moyens	10
2.3.4.2 Caractéristiques moyennes des couches	10
2.4 Analyse objective des profils CTD.....	11
2.4.1 Approche générale	11
2.4.1.1 Analyse en composantes principales	12
2.4.1.2 Structure spatiale des composantes principales	12
2.4.1.3 Relation entre les composantes principales corrigées et les variables explicatives	13
2.4.2 Zone de l'embouchure de la rivière Romaine.....	13
2.4.2.1 Liste des descripteurs des profils CTD dans la zone de l'embouchure.....	13
2.4.3 Zone du chenal de Mingan.....	14
2.4.3.1 Liste des descripteurs des profils CTD	14
2.5 Analyse combinée de la zone de l'embouchure de la Romaine et du chenal de Mingan.....	15

3	DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE	29
3.1	Zone de l'embouchure	29
3.1.1	Contexte géographique et océanographique général.....	29
3.1.2	Hydrologie	30
3.1.3	Bathymétrie.....	30
3.1.3.1	Zone de l'embouchure	30
3.1.3.2	Chenal de Mingan.....	31
3.1.4	Climatologie régionale.....	31
4	RÉSULTATS.....	45
4.1	Analyse objective des profils CTD.....	45
4.1.1	Zone de l'embouchure de la Romaine	45
4.1.1.1	Analyse en composantes principales	45
4.1.1.2	Structure spatiale des composantes principales	45
4.1.1.3	Modèles de régression multiple pour la zone de l'embouchure de la Romaine.....	47
4.1.1.4	Stratification du profil (CP _{rés} 1)	49
4.1.1.5	Épaisseur de la couche de surface (CP _{rés} 2)	50
4.1.1.6	Salinité de la couche de surface (CP _{rés} 3)	50
4.1.1.7	Température de la couche de surface (CP _{rés} 4)	51
4.1.1.8	Densité de la couche de surface (CP _{rés} 5)	52
4.1.2	Analyse objective des profils CTD dans le chenal de Mingan	53
4.1.2.1	Analyse en composantes principales	53
4.1.2.2	Structure spatiale des composantes principales	54
4.1.2.3	Modèles de régression multiple pour la zone du chenal de Mingan.....	55
4.1.2.4	Salinité de la couche de surface (CP _{rés} 1)	55
4.1.2.5	Profondeur de la pycnocline (CP 2).....	57
4.1.2.6	Température de la couche de surface (CP _{rés} 3)	57
4.1.3	Analyse combinée de la zone de l'embouchure de la Romaine et du chenal de Mingan.....	58
4.1.3.1	Corrélation de la salinité et de la distance	58
4.1.3.2	Analyse de covariance - type et stade de marée	59
4.1.3.3	Analyse de covariance - classe de débit.....	60
4.1.4	Bilan de l'analyse objective	60
4.1.4.1	Contexte.....	60
4.1.4.2	Zone de l'embouchure	60
4.1.4.3	Zone du chenal de Mingan.....	62
4.1.4.4	Analyse combinée de la zone de l'embouchure et du chenal de Mingan	63
4.2	Analyse descriptive des masses d'eau	77
4.2.1	Zone de l'embouchure	77
4.2.1.1	Caractéristiques des masses d'eau en conditions d'eau libre.....	77

4.2.1.2	Caractéristiques des masses d'eau en conditions hivernales	80
4.2.2	Chenal de Mingan	82
4.2.2.1	Généralités	82
4.2.2.2	Structures de la colonne d'eau	82
4.2.2.3	Caractéristiques physiques générales.....	83
4.2.2.4	Traçage du panache	83
4.3	Circulation	113
4.3.1	Zone de l'embouchure	113
4.3.1.1	Conditions d'eau libre.....	113
4.3.1.2	Conditions sous couvert de glace.....	114
4.3.2	Chenal de Mingan.....	115
4.3.2.1	Circulation	115
4.3.2.2	Régime de la houle et des vagues	116
4.4	Marégraphie dans la zone de l'embouchure	139
5	SOMMAIRE ET CONCLUSIONS.....	145
5.1	Contexte méthodologique	145
5.2	Contexte environnemental et océanographique	146
5.2.1	Zone de l'embouchure	146
5.2.2	Chenal de Mingan	149
6	RÉFÉRENCES	153

Liste des tableaux

TABLEAU 2.5.1	Descripteurs des profils CTD de la zone de l'embouchure de la Romaine utilisés pour l'ACP.....	14
TABLEAU 2.5.2	Descripteurs des profils CTD de la zone du chenal de Mingan utilisés pour l'ACP	15
TABLEAU 4.1.1	Coordonnées des descripteurs dans le système des cinq axes formés par les composantes principales retenues	46
TABLEAU 4.1.2	Modèles de régression multiple et de régression simple entre les composantes principales et les variables explicatives pour la zone de l'embouchure de la rivière Romaine.....	48
TABLEAU 4.1.3	Coordonnées des descripteurs dans le système des trois axes formés par les composantes principales retenues pour la zone du chenal de Mingan.....	54
TABLEAU 4.1.4	Relation entre les composantes principales des variables descriptives et les variables explicatives, zone du chenal de Mingan	56
TABLEAU 4.2.1	Sommaire des caractéristiques physiques de la colonne d'eau par station et pour différentes conditions de débit dans la zone de l'embouchure	78
TABLEAU 4.2.2	Caractéristiques descriptives des propriétés physiques de la couche de surface dans le chenal de Mingan pour différentes conditions	83
TABLEAU 4.3.1	Calculs du débit moyen sur un cycle semi-diurne de marée de vives-eaux à différentes sections dans le chenal de Mingan.....	117
TABLEAU 4.4.1	Caractéristiques de la marée à Havre-Saint-Pierre.....	139

Liste des figures

FIGURE 2.4.1	Groupes de profils dans le chenal de Mingan mettant en évidence le problème d'intercalibration	17
FIGURE 2.4.2	Répartition du nombre de profils CTD réalisés aux différentes stations de la zone de l'embouchure	18
FIGURE 2.4.3	Classification d'un profil CTD type	19
FIGURE 2.5.1	Plan de l'analyse objective visant à relier les profils CTD en fonction des variables explicatives pour l'embouchure de la rivière Romaine et le chenal de Mingan	21
FIGURE 3.1.1	Hydrogramme moyen mensuel (1956-2004) de la rivière Romaine à l'embouchure (source : données fournies par Hydro-Québec).....	32
FIGURE 3.1.2	Débit moyen annuel (1981-1991) pour les principales rivières de la Côte Nord (source : MDDEP).....	33
FIGURE 3.1.3	Coupe bathymétrique longitudinale des chenaux principaux dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine	35
FIGURE 4.1.1	Plan formé par les deux premiers axes principaux pour la zone de l'embouchure de la Romaine.....	64
FIGURE 4.1.2	Plan formé par les premier et troisième axes principaux pour la zone de l'embouchure de la Romaine.....	64
FIGURE 4.1.3	Plan formé par les quatrième et cinquième axes principaux pour la zone de l'embouchure de la Romaine.....	65
FIGURE 4.1.4	Polynôme spatial de la première composante principale ($R^2 = 0,13$; $p < 0,001$)	65
FIGURE 4.1.5	Polynôme spatial de la deuxième composante principale ($R^2 = 0,34$; $p < 0,001$).....	66
FIGURE 4.1.6	Polynôme spatial de la troisième composante principale ($R^2 = 0,04$; $p < 0,01$)	66
FIGURE 4.1.7	Polynôme spatial de la quatrième composante principale ($R^2 = 0,12$; $p < 0,001$)	67
FIGURE 4.1.8	Polynôme spatial de la cinquième composante principale ($R^2 = 0,10$; $p < 0,001$).....	67
FIGURE 4.1.9	Illustration du modèle de régression multiple de la stratification en fonction de la date, du débit quotidien, du type et du stade de marée pour la zone de l'embouchure de la rivière Romaine	68
FIGURE 4.1.10	Illustration du modèle de régression multiple de l'épaisseur de la couche de surface en fonction de la date et du stade de marée pour la zone de l'embouchure de la rivière Romaine	68
FIGURE 4.1.11	Illustration du modèle de régression multiple de la salinité de la couche de surface en fonction de la date, du débit quotidien et du stade de marée pour la zone de l'embouchure de la rivière Romaine	69
FIGURE 4.1.12	Illustration du modèle de régression multiple de la température de la couche de surface en fonction de la date, du débit quotidien et du type de marée pour la zone de l'embouchure de la rivière Romaine	69

FIGURE 4.1.13	Illustration du modèle de régression multiple de la densité de la couche de surface en fonction de la date, du débit quotidien et du type de marée pour la zone de l'embouchure de la rivière Romaine	70
FIGURE 4.1.14	Plan formé par les deux premiers axes principaux pour la zone du chenal de Mingan	70
FIGURE 4.1.15	Plan formé par les premier et troisième axes principaux pour la zone du chenal de Mingan.....	71
FIGURE 4.1.16	Polynôme spatial de la première composante principale ($R^2 = 0,17$; $P < 0,001$)	72
FIGURE 4.1.17	Polynôme spatial de la troisième composante principale ($R^2 = 0,04$; $P < 0,05$).....	72
FIGURE 4.1.18	Illustration du modèle de régression multiple de l'épaisseur de la couche de surface en fonction de la date et du débit quotidien pour la zone du chenal de Mingan	73
FIGURE 4.1.19	Illustration du modèle de régression multiple de la température de la couche de surface en fonction de la date, du débit quotidien et du stade de marée pour la zone du chenal de Mingan.....	73
FIGURE 4.1.20	Diagramme de dispersion de la salinité de la couche de surface et de la distance de l'embouchure de la rivière Romaine.....	74
FIGURE 4.1.21	Salinité de la couche de surface en fonction de la distance de l'embouchure de la rivière Romaine, selon le type et le stade de marée.....	74
FIGURE 4.1.22	Salinité de la couche de surface en fonction de la distance de l'embouchure de la rivière Romaine, selon trois classes de débit.....	75
FIGURE 4.2.1	Relation entre la salinité moyenne de la couche de surface et la couche de fond en fonction du débit dans la zone de l'embouchure	85
FIGURE 4.2.2	Distribution de la salinité moyenne dans la couche de fond en fonction des saisons dans la zone de l'embouchure.....	86
FIGURE 4.2.3	Distribution de l'épaisseur de la couche de surface en fonction des saisons dans la zone de l'embouchure.....	86
FIGURE 4.2.4	Distribution de la température moyenne de la couche de surface et de la couche de fond dans la zone de l'embouchure	87
FIGURE 4.2.5	Relation entre l'élévation de la pycnocline et l'épaisseur de la couche de surface en fonction du stade de marée en mortes eaux	88
FIGURE 4.2.6	Relation entre l'élévation de la pycnocline et l'épaisseur de la couche de surface en fonction du stade de marée en vives eaux	89
FIGURE 4.2.7	Profils de salinité à la station 8 (chenal central) en hiver et à différents stades de la marée pour des périodes de vives eaux et de mortes eaux.....	90
FIGURE 4.2.8	Profils de salinité, température et σ_t dans la fosse de l'Auberge en hiver à différents stades de marée pour des périodes de vives eaux et de mortes eaux.....	91
FIGURE 4.2.9	Profils de salinité, température et σ_t dans la fosse aux pieds de la Fausse Chute en hiver à différents stades de marée pour des périodes de vives eaux et de mortes eaux	92

FIGURE 4.2.10	Caractéristiques moyennes de salinité et température dans la couche de surface du chenal de Mingan en fonction de la distance à l’embouchure de la rivière Romaine durant la période de crue.....	93
FIGURE 4.2.11	Épaisseur de la couche de surface associée au panache de la rivière Romaine dans le chenal de Mingan en fonction de la distance à l’embouchure	94
FIGURE 4.2.12	Profils σ_t dans le chenal de Mingan en conditions d’écoulement libre et sous couvert de glace (2004-2005).....	95
FIGURE 4.2.13	Profils σ_t dans le chenal de Mingan choisis pour mettre en évidence la structure verticale de la colonne d’eau au printemps 2005	96
FIGURE 4.2.14	Profils synthèses des caractéristiques physiques (salinité, température) de la colonne d’eau dans le chenal de Mingan pour toutes les périodes de mesures	97
FIGURE 4.2.15	Relation entre la salinité et la couleur de l’eau (CDOM) dans la couche de surface (0,15 à 0,5 m) du chenal de Mingan en juin 2005 (débits de la Romaine : 425 à 570 m ³ /s)	98
FIGURE 4.3.1	Distribution de la direction du courant en fonction de la vitesse aux différentes stations en fonction des tranches de débits.....	118
FIGURE 4.3.2	Profils synthèses de salinité dans la zone de l’embouchure de la rivière Romaine (hiver 2004).....	123
FIGURE 4.3.3	Patrons des courants moyens à différents stades d’une marée de vives eaux (4 juin 2004) et emplacement des sections de calcul du débit.....	125
FIGURE 4.3.4	Séries temporelles de la température, salinité et sigma T aux stations 4, 5b et 9 à l’été 1980 dans le chenal de Mingan	127
FIGURE 4.3.5	Vecteurs progressifs aux stations 4, 5b, 8 et 9 à l’été 1980 dans le chenal de Mingan	129
FIGURE 4.3.6	Débits calculés à partir de simulations numériques des courants sur un cycle semi-diurne de marée en vives eaux.....	131
FIGURE 4.4.1	Distribution cumulative des niveaux d’eau dans la zone de l’embouchure de la rivière Romaine (2001, 2003 à 2005).....	141
FIGURE 4.4.2	Sommaire des élévations du niveau d’eau dans la zone de l’embouchure de la rivière Romaine (2001, 2003 à 2005).....	142
FIGURE 4.4.3	Comparaison des distributions cumulatives des niveaux d’eau dans la zone de l’embouchure de la rivière Romaine (EROM0721 : 2001, 2003 à 2005) et au quai de Havre-Saint-Pierre (EROM0681 : 2001 à 2005)	143
FIGURE 4.4.4	Relation niveau-débit dans la zone de l’embouchure de la rivière Romaine (2001, 2003 à 2005)	144

Liste des cartes

CARTE 2.3.1	Mouillages des courantomètres dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine en 2001	23
CARTE 2.4.1	Profils CTD dans le chenal de Mingan	25
CARTE 2.4.2	Regroupement par stations des profils CTD dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine.....	27
CARTE 3.1.1	Zones d'étude des campagnes océanographiques (2004 - 2005).....	37
CARTE 3.1.2	Circulation typique des eaux de surface dans le golfe durant l'été.....	39
CARTE 3.1.3	Bathymétrie de la zone de l'embouchure de la rivière Romaine	41
CARTE 3.1.4	Bathymétrie du chenal de Mingan	43
CARTE 4.2.1	Conditions de salinité et de température pour un débit supérieur à 500 m ³ /s dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine.....	99
CARTE 4.2.2	Conditions de salinité et de température pour un débit compris entre 200 et 500 m ³ /s dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine	101
CARTE 4.2.3	Conditions de salinité et de température sous couvert de glace dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine.....	103
CARTE 4.2.4	Variations globales de salinité et de température dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine	105
CARTE 4.2.5	Couvert de glace dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine et le chenal de Mingan, hiver 2005.....	107
CARTE 4.2.6	Épaisseur et distribution du couvert de glace dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine et le chenal de Mingan (relevés du 23 février au 18 mars 2005)	109
CARTE 4.2.7	Distribution spatiale de la couleur de l'eau de surface (0,15 à 0,5 m) et délimitation approximative du panache de la rivière Romaine en juin 2006.....	111
CARTE 4.3.1	Roses des courants dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine (11 juin au 12 septembre 2001).....	133
CARTE 4.3.2	Épaisseur de la couche d'eau sous le couvert de glace en référence à une marée basse de -0,6 m (géodésique) (relevés du 23 février au 18 mars 2005).....	135
CARTE 4.3.3	Mouillages des courantomètres Aanderaa RCM-4 dans le chenal de Mingan	137

Liste des annexes

- ANNEXE 1 Description détaillée des résultats de l'analyse objective
- ANNEXE 2 Profils synthèses de la salinité et de la température dans la zone de l'embouchure
- ANNEXE PHOTOGRAPHIQUE

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte de l'étude

Hydro-Québec projette la réalisation d'un aménagement hydroélectrique sur la rivière Romaine qui se déverse dans le chenal de Mingan, à proximité de l'archipel des îles de Mingan. Les aménagements proposés incluent quatre réservoirs sur le tronçon supérieur de la rivière Romaine. La présence des réservoirs et le nivellement du régime hydrologique vont modifier la variation saisonnière du régime hydrologique, ce qui pourrait entraîner des répercussions sur les caractéristiques de mélange des eaux douces et salées dans la zone de l'embouchure et le chenal de Mingan adjacent. Les modifications des caractéristiques physiques du milieu et des mouvements des masses d'eau constituent donc une préoccupation environnementale en regard des changements potentiels des caractéristiques des habitats.

Les zones de l'embouchure de la rivière Romaine et du chenal de Mingan sont exploitées commercialement pour la cueillette de plusieurs mollusques (buccin, pétoncle, mactre de Stimpson, mye commune) et de crustacés (crabe des neiges, crabe commun) et pour la pêche sportive de quelques espèces de poissons (saumon, omble de fontaine, éperlan, capelan) (Nove, 2005). Par ailleurs, le secteur côtier de l'archipel des îles Mingan sur la Moyenne-Côte-Nord, comprenant le chenal de Mingan et la partie nord du détroit de Jacques-Cartier, est fréquenté intensivement par plusieurs mammifères marins (Environnement Illimité inc., 2002). Cet archipel constitue aussi la Réserve de parc national du Canada de l'Archipel de Mingan dont l'importance tient de son caractère géomorphologique, de sa flore et de son avifaune particulièrement riche en oiseaux marins.

1.2 Objectifs

Ce rapport présente les résultats des campagnes d'océanographie physique réalisées dans la zone de l'embouchure et le chenal de Mingan en 2001, en 2004 et en 2005. Cette étude s'inscrit dans le cadre global d'une caractérisation des habitats aquatiques du secteur de l'embouchure de la rivière Romaine. Les travaux visaient plus spécifiquement à :

- déterminer les caractéristiques physiques des masses d'eau dans la zone de l'embouchure en conditions d'eau libre et en hiver ;
- décrire les principaux phénomènes régissant le mouvement des masses d'eau ;
- déterminer la portée du panache de la rivière Romaine dans le chenal de Mingan.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 Études antérieures

Plusieurs inventaires ont été réalisés dans la région côtière de la rivière Romaine et de la rivière Saint-Jean dans le cadre de projets d'aménagements hydroélectriques de ces rivières durant la période allant de la fin des années 1970 au début des années 1980. Dans la zone de l'embouchure et le chenal de Mingan, les données disponibles quant aux caractéristiques physiques proviennent de quatre études :

- Desrosiers et coll. (1983) ont étudié la faune benthique sur un cycle saisonnier (de juin à septembre) tout en mesurant certaines variables descriptives (température, salinité) ;
- Laroche (1983) a étudié les aspects sédimentologiques de la zone de l'embouchure tout en complétant avec des mesures ponctuelles du courant et des caractéristiques physiques de l'eau ;
- Marsan (1983) a caractérisé la faune ichthyenne, certains paramètres de qualité de l'eau et la productivité primaire et secondaire ;
- Bilodeau (1983) a validé et décrit des séries temporelles de mesures du courant (vitesse et direction), de la salinité et de la température provenant de mouillages de courantomètres Aanderaa à différentes profondeurs dans le chenal de Mingan.

La caractérisation des masses d'eau et les conditions de mélange en fonction de la variation saisonnière du débit de la rivière Romaine et du stade de la marée ont été décrites succinctement dans les trois premières études et plus spécifiquement par Marsan (1983) et Laroche (1983). Laroche (1983) décrit avec plus de détails les variations de salinité et température dans la zone de l'embouchure durant un cycle de marée et à différentes périodes de la saison, mettant en relief l'influence des apports printaniers d'eau douce.

Une campagne de mesures physiques de plus grande envergure a été réalisée durant la décrue et la période d'étiage à l'été 2001 pour compléter les données historiques. Cette campagne comprenait la mesure du courant à cinq stations à l'aide de mouillages et de profils de conductivité, température et salinité (CTD) sur un réseau de 11 stations pour les périodes du 12 au 19 juin et du 19 au 20 août. L'ensemble des données a été intégré dans le cadre de la présente étude.

2.2 Niveaux d'eau et débit de la rivière Romaine

Les données de niveaux d'eau proviennent de la station limnimétrique EROM0721 dans l'embouchure (carte 2.3.1) et de la station EROM0691 au quai de Havre-Saint-Pierre. Les

données ont été obtenues de l'unité *Géomatique, relevés techniques et gestion des données* (GRTGD) d'Hydro-Québec. Les données couvrent l'ensemble des périodes d'échantillonnage de 2001 à 2005 et sont exprimées en élévation géodésique. Des données de deux stations limnimétriques récemment installées (EROM0868 et EROM0869), situées sur La Grande Île et l'île Niapiskau, et de deux courantomètres Interocean S-4 mouillés dans le chenal de Mingan n'ont pas été intégrées dans le présent rapport parce que les données n'apportaient pas d'éclairage nouveau sur la compréhension des phénomènes.

Les débits horaires de la rivière Romaine proviennent de la station limnimétrique ROMA0665 et ont été obtenus de l'unité GRTGD. La moyenne journalière a été calculée pour alléger les figures. La station est située approximativement au PK 5 de la rivière, en amont de l'affluent de la rivière Aisley.

2.3 Courantologie et caractéristiques des masses d'eau

2.3.1 Mouillages

Du 11 juin au 12 septembre 2001, des courantomètres électromagnétiques S4 et une sonde multiparamètre MAVSIII ont été mouillés à cinq stations (carte 2.3.1) pour obtenir des séries temporelles du courant, de la salinité et de la température à une élévation fixe par rapport au fond. Typiquement, les courantomètres étaient installés à 1 m du fond et la sonde à 1 m sous la surface à marée basse.

Les séries temporelles ont été nettoyées afin d'éliminer les valeurs erronées. Ainsi, les données provenant des courantomètres S4 situés aux stations RO-1 et RO-2 ont été rejetées respectivement pour les périodes d'avant le 13 juin 2001 et du 11 au 12 juin 2001. Certaines données du courantomètre S4 de la station RO-2 présentaient des profondeurs aberrantes pour la période du 28 juin au 13 août. Les données associées à ces profondeurs ont été rejetées.

Une fois les jeux de données nettoyés, des roses des courants ont été générées à l'aide du logiciel Oriana qui permet de traiter les données circulaires et d'en calculer les statistiques descriptives.

2.3.2 Profils CTD 2001-2004-2005

2.3.2.1 Campagne de 2001

En 2001, des profils CTD ont été mesurés sur un réseau de 11 stations réparties dans les différents chenaux et bassins de la zone de l'embouchure. Les profils CTD ont été réalisés fréquemment lors des deux périodes de mesures (du 12 au 19 juin et du 19 au 20 août 2001) à l'aide d'une sonde multiparamètres MAVSIII et d'un salinomètre Beckman.

2.3.2.2 Campagne de 2004

Les profils CTD ont été mesurés en utilisant des sondes multiparamètre Hydrolab DS4 et YSI6000. La sonde de conductivité a été calibrée régulièrement durant la saison à l'aide d'une solution de KCl (20 000 à 24 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Les mesures dans la zone de l'embouchure ont été faites à différents débits, en période de vives-eaux et de mortes-eaux et aux étales de marées. Les profils ont souvent été faits en hélicoptère pour s'assurer de rapidement couvrir l'ensemble de la zone pour obtenir une image globale d'un milieu changeant avec le stade de marée. Les mesures se sont échelonnées sur une période allant du 13 mai au 22 octobre 2004.

Nous avons observé que le panache de la rivière Romaine s'étendait au-delà du chenal de Mingan et affectait les rives des îles de l'archipel situées en face. Des mesures complémentaires ont donc été prises pour caractériser le gradient de salinité dans les eaux de surface dans le chenal de Mingan (carte 2.4.1). Les mesures ont été prises à quelques reprises durant la saison estivale, surtout au moment du jusant et du flot maximal, périodes durant lesquelles les courants sont les plus forts.

2.3.2.3 Campagne de 2005

En 2005, des profils CTD ont été faits dans la zone de l'embouchure en période hivernale, sous couvert de glace, du 18 au 26 mars à l'aide d'une sonde multiparamètre Hydrolab. Des transects ont été faits du 6 au 11 juin dans le chenal de Mingan, à l'aide d'une sonde multiparamètre (XR-620) tirée à profondeur constante. Cette sonde mesurait, en plus des températures, la conductivité et la profondeur, la couleur de l'eau (CDOM) et la chlorophylle selon une échelle relative. En quelques endroits, la sonde a été utilisée pour faire des profils CTD dans le chenal de Mingan. La sonde de conductivité a été calibrée à l'aide d'un salinomètre Guildline Autosal 8400B en référence à un étalon d'eau de mer IAPSO.

2.3.2.4 Validation des profils

La première étape de validation des données vise à éliminer les données saisies lorsque l'instrument est en remontée, incluant les mouvements verticaux lors de la descente. En hiver, les profils CTD commencent sous la surface de la glace, mais le zéro de la sonde de pression est ajusté à la surface de l'eau.

De nombreux profils de 2005 avaient été faits par plateau, c'est-à-dire que l'instrument était descendu lentement puis laissé à une profondeur constante afin de prendre plusieurs lectures au même endroit. Ces profils ont été traités de façon à ne conserver qu'une valeur par profondeur (aux 10 cm), soit la moyenne des valeurs se trouvant à cette profondeur. Ces profils moyens ont été utilisés pour la suite des analyses.

Les valeurs de salinité supérieures à 35,85 psu¹ ont été éliminées. Il s'agit ici d'une évaluation subjective dont le critère est basé sur la salinité maximale mesurée dans la région (Système de gestion des données océanographiques, ministère des Pêches et des Océans). Par contre, il est peu probable que des valeurs aussi élevées soient observées dans la couche de surface du golfe du Saint-Laurent, les plus fortes valeurs étant généralement mesurées dans la couche profonde. En fait, les données sont généralement inférieures à 32 psu sauf pour un type d'instrument utilisé en 2001 (salinomètre Beckman). Ces profils ont néanmoins été conservés pour s'assurer d'avoir un effectif suffisant pour l'analyse des données.

Des routines de validation des données océanographiques comprenant entre autres la vérification du calcul de la salinité selon l'échelle de salinité pratique PSS-78, la vérification des profondeurs croissantes des profils, l'identification des données erratiques (spikes) dans les profils et les séries temporelles, la vérification des limites naturelles, etc. (Lorrain et Montour, 2002). Finalement, tous les profils ont été vérifiés visuellement pour s'assurer de leur cohérence (type de stratification et variation appréhendée en fonction de la profondeur).

Les profils mesurés dans la zone de l'embouchure ont été rattachés à une station correspondant à leur emplacement général. En 2001, un réseau de bouées marquait l'emplacement des stations et a permis d'obtenir des profils bien regroupés autour des stations pré-établies. En 2004 et en 2005, les profils ont surtout été mesurés en hélicoptère à proximité de stations pré-établies. Au moment des mesures, les stations étaient localisées au GPS, de telle sorte que les profils sont distribués autour de l'emplacement général des stations. Les profils réalisés durant les trois campagnes ont été regroupés en 11 stations (carte 2.4.2) pour appliquer un traitement statistique et décrire les caractéristiques de la colonne d'eau en fonction de stations ponctuelles. Seuls les profils situés à l'intérieur de l'une des 11 stations choisies ont été conservés pour la suite des analyses. La distance séparant chacune des stations de l'embouchure de la rivière Romaine a été calculée à partir d'une photo aérienne en suivant le tracé des chenaux principaux.

Les profils mesurés dans le chenal de Mingan ont été considérés individuellement dans le traitement statistique, mais ont reçu le même nom de station. Le graphique combiné des profils CTD dans le chenal de Mingan a mis en évidence trois groupes de profils pour l'année 2004. Ces groupes sont associés aux différents modèles de sonde utilisés (figure 2.4.1). Le biais s'explique par l'approche de calibration de la sonde de conductivité à l'aide de solutions de KCl différentes (YSI, Hydrolab) ou par rapport à un étalon d'eau de mer (RBR). Une correction proportionnelle de la salinité et un recalcul de la densité ont été faits sur les données obtenues à l'aide des sondes YSI et Hydrolab par rapport aux données obtenues de la sonde RBR pour éliminer le biais de l'instrument.

Dans la zone de l'embouchure, les profils ont été modifiés en ajoutant une profondeur à zéro (la plupart des profils commençaient entre 10 et 20 cm sous la surface) et une profondeur à 10 cm sous la profondeur la plus grande mesurée. Cette modification s'avérait nécessaire afin de calculer les paramètres de forme des profils, en particulier ceux de faible résolution (mesures prises par intervalles de 50 cm à plus de 1 m) principalement ceux de la campagne 2001.

¹ psu : practical salinity unit

La profondeur des mesures pour tous les profils a été transformée en élévation géodésique à partir des données de la station limnimétrique EROM 0721 (chute de l'Auberge). Chaque profil a aussi été rattaché à un débit calculé à partir de la relation niveau-débit établie à la station limnimétrique ROMA 0665 et au stade de la marée prédite² (B. Labrecque, MPO, comm. pers.). Cette correspondance permet les caractéristiques de la colonne d'eau au régime hydrologique et au stade de la marée.

2.3.2.5 Classification des profils

Après validation, les profils CTD utilisables pour l'interprétation des données dans la zone de l'embouchure se répartissent comme suit :

- en 2001 (n=95) ;
- en 2004 (n=94) ;
- en 2005 (n=65) ;
- durant la période de crue (n=88, toute année confondue) ;
- durant la période estivale (n=101, toute année confondue) ;
- durant la période hivernale (n=65 ; mars 2005).

Les profils ont ensuite été groupés en fonction de tranche de débit pour décrire la période de la crue ($Q > 500 \text{ m}^3/\text{s}$), de l'étiage ($Q < 200 \text{ m}^3/\text{s}$) et la période intermédiaire qui correspond le plus aux débits de gestion du futur aménagement ($200 < Q < 500 \text{ m}^3/\text{s}$). Dans l'ensemble, les périodes de crue et d'étiage sont moins bien représentées ($Q > 500 \text{ m}^3/\text{s}$: n=33 ; $Q < 200 \text{ m}^3/\text{s}$: n=52) comparée aux conditions intermédiaires ($200 < Q < 500 \text{ m}^3/\text{s}$: n=169). Différents plans d'échantillonnage ont été appliqués en 2001 et lors des campagnes de 2004 et de 2005, mais l'approche générale était la même et visait à caractériser la structure verticale de la colonne d'eau à différents stades de marée semi-diurne en mortes eaux et en vives eaux. Afin de faciliter l'interprétation des données, les différentes stations ont été regroupées en 11 stations qui sont plus ou moins bien décrites (figure 2.4.2).

Le principal problème rencontré dans l'interprétation des profils est l'inconsistance des profondeurs de profilage et l'intervalle de profondeurs des mesures entre les campagnes et pour une campagne donnée. Cela signifie que pour des conditions de débit données, certains profils ne couvraient qu'une partie de la colonne d'eau (couches de surface ou de fond tronquée en tout ou en partie) et que les structures étaient plus ou moins bien détaillées (une pycnocline mince sera mieux décrite par des mesures rapprochées que par des intervalles de 0,5 à 1 m). Par conséquent, les caractéristiques physiques moyennes de la couche de surface et de la couche de fond ne sont pas nécessairement comparables d'un profil à l'autre. Dans la mesure où les données ont été rattachées à l'élévation géodésique, le problème est minimisé par l'analyse objective, mais les

² La marée prédite a été utilisé parce qu'il s'avérait plus facile de déterminer les moments précis de marée haute et de marée basse qu'à partir des données de niveaux d'eau non-filtrées de la station EROM0721.

relations observées peuvent être moins significatives. Par contre, la comparaison des paramètres de formes des profils est rendue plus difficile dans les cas où les couches de surface ou de fond sont mal décrites ; une condition stratifiée peut être représentée par un profil homogène ou mélangé. Néanmoins, le nombre de profils et les observations de terrain permettent de bien décrire les principaux processus qui contrôlent le mouvement des masses d'eau dans la zone de l'embouchure.

La description des caractéristiques physiques des masses d'eau dans le chenal de Mingan est bien détaillée en conditions ouvertes ($n = 121$ profils) et pour différentes conditions de débit de la rivière. En hiver, sous couvert de glace, la description des caractéristiques physiques repose sur une couverture succincte ($n = 9$) qui est tributaire des conditions de terrain et de l'accessibilité limitée.

2.3.3 Préparation pour l'analyse en composantes principales (ACP)

Chaque profil a été décrit par une série de variables descriptives (nature et structure du profil) et de variables explicatives (variables d'état). Les variables descriptives caractérisent l'emplacemement, l'épaisseur et les caractéristiques physiques (salinité et température) des différentes couches d'un profil (surface, pycnocline, fond).

Variables descriptives	
Catégorie :	Type de stratification
BV_{\max} :	Indice de Brunt-Väisala maximal
DeltaSig :	Différence de σ_T du haut au bas du profil
DeltaSal :	Différence de salinité entre le haut et le bas du profil
DeltaTemp :	Différence de température entre le haut et le bas du profil
ProfBV :	Profondeur de la pycnocline (profondeur correspondant à BV_{\max})
ElevBV :	Élévation géodésique du BV_{\max}
EpSurf :	Épaisseur de la couche de surface
MoySurfSig :	Moyenne de σ_T de la couche de surface
ETSurfSig :	Écart-type de σ_T de la couche de surface
MoySurfSal :	Salinité moyenne de la couche de surface
ETSurfSal :	Écart-type de salinité de la couche de surface
MoySurfTemp :	Température moyenne de la couche de surface
ETSurfTemp :	Écart-type de température de la couche de surface
EpPic :	Épaisseur de la couche de pycnocline
EpFond :	Épaisseur de la couche de fond
EpTotale :	Épaisseur totale du profil
ElevMin :	Élévation du dernier point de mesure du profil

Les variables explicatives caractérisent le profil dans le temps et en fonction du régime hydrologique et du stade de la marée.

Variables explicatives	
Date :	Jour julien
Régime hydrologique :	Débit de la rivière
Marée semi-diurne :	Stade de marée (marée haute, marée basse, flot, jusant)
Marée synodique :	Type de marée (mortes-eaux, vives-eaux)

Puisque l'analyse en composantes principales requiert que toutes les variables aient une valeur pour tous les profils, certaines variables ont été retranchées de la matrice intrant. En effet, l'épaisseur mise à part, les variables se rapportant aux couches pycnocline et de fond, ne s'appliquent pas aux profils de type homogène ou mélangé et ont donc été exclues de l'analyse.

2.3.3.1 Emplacement de la pycnocline

L'élévation de la pycnocline a été déterminée par la fréquence de Brunt-Väisala maximale. La fréquence de Brunt-Väisala est la fréquence d'oscillation d'une particule causée par la poussée d'Archimède. On l'obtient par la formule suivante :

$$BV = \sqrt{\frac{-g}{\rho_0} \times \frac{\delta\rho}{\delta z}}$$

où g est la constante d'accélération gravitationnelle, ρ_0 la densité de l'eau à l'étage supérieur, $\delta\rho$ la différence de densité et δz la différence de profondeur entre les strates considérées. Ce paramètre est un indicateur de la stabilité d'une particule. La pycnocline se trouve donc au point dans la colonne d'eau où l'on trouve l'instabilité la plus forte (l'indice maximal). Les variables ProfBV et ÉlevBV donnent l'emplacement de la pycnocline dans chacun des profils.

2.3.3.2 Catégories de stratification

Les profils sont classifiés en catégories de stratification, allant de homogène (eau douce ou saumâtre sur toute la colonne d'eau) à fortement stratifié (couche de surface d'eau douce ou légèrement saumâtre sur une couche de fond salée).

Ces catégories se définissent comme suit :

Homogène :	variation de la densité (σ_T) inférieure à 5 unités
Mélangé :	variation de σ_T entre 2 et 5 unités et indice BV_{\max} inférieur à 0,2
Stratifié :	BV_{\max} supérieur à 0,2 et variation de σ_T supérieure à 5
Fortement stratifié :	BV_{\max} supérieur à 0,4 et variation de σ_T supérieure à 10

Le σ_T (sigma-T) est égal à la densité – 1000 kg/m³.

2.3.3.3 Limite des couches

La couche de surface correspond à l'épaisseur entre la surface et l'apparition d'un gradient de densité supérieur à 10 unités par mètre (figure 2.4.3). Les profils situés dans les fosses aux pieds des chutes de la rivière Romaine font exception ; le gradient supérieur à 4,8 marque la limite inférieure de la couche de surface. La limite supérieure de la couche de fond s'établit là où le gradient de densité est inférieur à 1,5 unité par mètre et la limite inférieure correspond au fond. La pycnocline est intercalée entre les deux couches.

2.3.4 Préparation pour l'analyse descriptive

2.3.4.1 Profils moyens

Afin de représenter l'enveloppe des variations de salinité et de température à une station donnée, les profils moyens ont été générés à partir des profils individuels. Ceux-ci ont été compilés pour regrouper les données par tranches de 50 cm ou plus si le nombre de données était inférieur à 3. La médiane a été calculée et l'enveloppe de dispersion a été générée en utilisant les 5^e et 95^e percentiles.

2.3.4.2 Caractéristiques moyennes des couches

Les caractéristiques moyennes des couches de surface et de fond ont été calculées pour toutes les stations de l'embouchure et pour le chenal de Mingan. Pour la couche de surface, la moyenne des salinités de surface déjà calculées pour l'ACP a été faite. L'étendue des données est représentée par le minimum et le maximum de la salinité de surface. La même approche a été utilisée pour décrire les données de température.

La salinité et la température de fond avaient déjà été calculées, pour les profils stratifiés, lors de la préparation pour l'ACP. Pour les profils homogènes ou mélangés, la couche de fond a été considérée comme étant composée des 3 derniers points de chaque profil. Une salinité et une température moyennes ont été calculées pour chacun de ces profils. Les profils de tous les types ont ensuite été regroupés pour la détermination de la moyenne de la salinité de fond, la moyenne

de la température de fond ainsi que l'étendue de chacune des deux variables (5^e et 95^e percentiles).

2.4 Analyse objective des profils CTD

2.4.1 Approche générale

L'analyse objective des profils CTD vise à faire ressortir les tendances des variables déduites des profils de salinité, de température et de différents descripteurs, ainsi que leurs relations spatio-temporelles, à l'aide d'une analyse en composantes principales (ACP). L'utilisation de l'ACP vise à synthétiser le nombre de descripteurs en un nombre réduit et significatif de nouvelles variables appelées composantes principales (Jolicoeur, 1997 ; Legendre et Legendre, 1998 ; SYSTAT 10, 2000). Cette approche permet d'intégrer les différentes forces (régime hydrologique saisonnier, cycles semi-diurne et synodique de la marée) qui contrôlent les caractéristiques des masses d'eau dans un contexte spatial (large couverture de la zone d'étude).

L'utilisation d'un maximum de descripteurs en début d'analyse permet d'extraire un très grand nombre d'information des profils CTD. Cette approche présente toutefois un risque élevé de colinéarité de variables, c'est-à-dire l'obtention de descripteurs fortement corrélés, ou encore, qui décrivent essentiellement le même processus ou phénomène. Dans le cadre de la présente analyse, l'ACP a permis de réduire le nombre de descripteurs à quelques composantes principales (CP) linéairement indépendantes (figure 2.5.1).

Par la suite, chaque profil CTD a été décrit par un nombre réduit de variables, lesquelles peuvent être à la base d'analyses statistiques subséquentes. De fait, la structure spatiale des composantes principales a été testée à l'aide d'un polynôme spatial, lequel permet de déceler les tendances d'une variable en fonction des coordonnées X et Y des points d'échantillonnage. Une telle analyse a permis d'obtenir, le cas échéant, un modèle significatif de la structure spatiale propre à chacune des composantes spatiales. Ce modèle a par la suite été mis en plan et a servi à corriger les CP.

Enfin, les composantes principales corrigées (CP_{rés}) pour leur structure spatiale ont été mises en relation avec des variables explicatives à l'aide de la régression multiple. La figure 2.5.1 résume le plan d'analyse effectué en vue d'expliquer les profils CTD en fonction des variables explicatives. Le plan d'analyse a été appliqué séparément pour la zone qui décrit l'embouchure de la rivière Romaine et celle qui décrit le chenal de Mingan.

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel Systat 10.

2.4.1.1 Analyse en composantes principales

L'ACP a été réalisée à partir de la matrice de corrélation des descripteurs puisqu'il s'agit de variables physiques non homogènes. Les CP dont la valeur propre (*eigenvalue*) est supérieure à 1 ont été considérées comme significatives. La part de la variance expliquée par chacune des CP a été obtenue en divisant sa valeur propre par le nombre total de CP, lequel est équivalent au nombre de descripteurs utilisé pour l'ACP. Les profils CTD sont ainsi décrits par un nombre réduit de nouvelles variables, les CP, dont la moyenne prend la valeur zéro et la variance correspond à la valeur propre de la CP.

Les CP significatives retenues sont interprétées en fonction des descripteurs où l'importance de la corrélation est déterminée par la projection du descripteur sur les axes de la CP (tableau des coordonnées des descripteurs). L'interprétation de l'analyse est complétée par la représentation graphique des descripteurs sur les axes des CP ; plus le vecteur est long et plus l'angle est petit, plus la corrélation entre le descripteur et les CP est grande.

Une fois les CP significatives retenues, on cherche à les interpréter en fonction de leur relation avec les descripteurs. Pour ce faire, plus la projection d'un descripteur sur l'axe d'une composante principale est importante, plus leur corrélation est importante. Ainsi, le tableau des coordonnées des descripteurs sur les axes des CP significatives s'avère utile. De plus, la représentation graphique des descripteurs dans le système d'axes formé par les CP complète cette analyse : plus un vecteur est long dans le plan de projection, plus il contribue à ce plan ; plus l'angle entre un descripteur et l'axe d'une CP est faible, plus ils sont corrélés. Sur de tels graphiques, un cercle de contribution équilibrée des descripteurs permet de s'assurer de la contribution significative des descripteurs dans l'espace de projection. Le rayon du cercle de contribution équilibrée des descripteurs a été calculé à l'aide de la relation suivante :

$$\text{rayon} = (\text{nombre de CP retenues} / \text{nombre total de CP})^{0,5}$$

Afin de simplifier la représentation graphique de l'espace réduit formé par les composantes principales retenues, les descripteurs ont été présentés dans plusieurs plans.

2.4.1.2 Structure spatiale des composantes principales

Un polynôme spatial a été utilisé afin de dégager les tendances générales dans la structure spatiale des CP à l'échelle de la zone d'étude. Un polynôme spatial est construit de la façon suivante :

$$CP = X + Y + X \cdot Y + X^2 + Y^2 + X \cdot Y^2 + X^2 \cdot Y + X^2 \cdot Y^2$$

où CP est la composante principale, X est la longitude, Y est la latitude. Par la suite, la régression multiple permet de retenir les termes significatifs du polynôme. Le coefficient de détermination (R^2) permet d'apprécier l'importance de la structure spatiale de la CP telle qu'elle est modélisée par le polynôme spatial. Le polynôme spatial de chacune des CP a été représenté sur des figures selon une mosaïque de couleurs.

De plus, l'utilisation des résidus du polynôme spatial ($CP_{rés}$) permet de poursuivre les analyses tout en soustrayant des composantes principales (CP) la structure spatiale (polynôme spatial), selon la formule suivante :

$$CP_{rés} = CP - \text{polynôme spatial}$$

Il s'agit de la définition d'un redressement par polynôme (*polynomial detrending*).

2.4.1.3 Relation entre les composantes principales corrigées et les variables explicatives

Les CP significatives et corrigées pour leur structure spatiale ont été mises en relation avec les variables explicatives à l'aide de la régression multiple. Pour être incluse dans un modèle de régression multiple, une variable devait présenter un niveau de signification (α) de moins de 5 %. De plus, des modèles de régressions simples ont été calculés entre les composantes principales corrigées et les variables explicatives prises individuellement.

Les variables explicatives suivantes ont été utilisées pour expliquer la variance contenue dans les $CP_{rés}$:

- le jour julien (du 16 mars au 21 octobre) ;
- le jour julien² (permet de détecter des maxima ou des minima saisonniers) ;
- le stade de marée (marée basse = -1 ; transition = 0 ; marée haute = 1) ;
- le type de marée (vives-eaux = 1 ; mortes-eaux = 0) ;
- le débit journalier de la rivière (de 151 à 1 246 m³/s).

Les modèles de régression multiple ont par la suite été transposés en graphique afin d'en faciliter l'interprétation.

2.4.2 Zone de l'embouchure de la rivière Romaine

2.4.2.1 Liste des descripteurs des profils CTD dans la zone de l'embouchure

Un total de 254 profils CTD dans la zone de l'embouchure de la Romaine a été analysé à l'aide de 18 descripteurs. Le tableau 2.5.1 présente la liste des descripteurs qui ont servi de données d'entrée pour l'ACP, ainsi que les transformations de variables utilisées afin de réduire l'asymétrie des distributions de fréquence des descripteurs. Le choix de la transformation apportée aux variables a été basé sur l'inspection visuelle des histogrammes de distribution de fréquence des descripteurs, avant et après l'essai de plusieurs transformations (transformations logarithmique et exponentielle). Dans une ACP, la normalité des descripteurs est souhaitable, mais non essentielle.

TABEAU 2.5.1 Descripteurs des profils CTD de la zone de l’embouchure de la Romaine utilisés pour l’ACP

Descripteur des profils CTD	Transformations effectuées sur les variables
Différence de densité entre la surface et le fond	Aucune transformation
Différence de la salinité entre la surface et le fond	Aucune transformation
Catégorie de stratification ⁽¹⁾	Aucune transformation
Épaisseur de la pycnocline	$Y = \ln(X + 0,1)$
Épaisseur de la couche de fond	$Y = \ln(X + 0,1)$
Valeur du BV max ⁽²⁾	Aucune transformation
Différence de température entre la surface et le fond	Aucune transformation
Épaisseur totale de la colonne d’eau	$Y = X^{0,2}$
Élévation minimale dans la colonne d’eau	$Y = (X/30 + 1)^5$
Profondeur du BV max	$Y = X^{0,2}$
Épaisseur de la couche de surface	$Y = X^{0,2}$
Élévation du BV max	Aucune transformation
Écart-type de la densité de la couche de surface	$Y = \ln(X + 0,1)$
Écart-type de la salinité de la couche de surface	$Y = \ln(X + 0,1)$
Écart-type de la température de la couche de surface	$Y = \ln(X + 0,1)$
Salinité de la couche de surface	$Y = \ln(X + 0,1)$
Densité de la couche de surface	$Y = (X + 1)^{0,3}$
Température de la couche de surface	$Y = \ln(X + 1,5)$

- (1) Le descripteur « catégorie de stratification » prend les valeurs suivantes : 0 (profil homogène), 1 (profil mélangé), 2 (profil stratifié) ou 3 (profil fortement stratifié).
- (2) Le descripteur « BV max » correspond à l’indice de Brunt-Vaïssala (unité : seconde⁻¹) utilisé pour déterminer la profondeur de la pycnocline.

2.4.3 Zone du chenal de Mingan

2.4.3.1 Liste des descripteurs des profils CTD

Un total de 120 profils CTD échantillonnés dans la zone du chenal de Mingan a été analysé à l’aide de 12 descripteurs. Le tableau 2.5.2 présente la liste des descripteurs qui ont servi de données d’entrée pour l’ACP, ainsi que les transformations de variables utilisées afin de réduire l’asymétrie des distributions de fréquence des descripteurs. Les descripteurs suivants n’ont pas été retenus pour cette ACP : l’épaisseur de la pycnocline, l’épaisseur de la couche de fond, l’épaisseur totale de la colonne d’eau, l’élévation minimale dans la colonne d’eau, l’épaisseur de la couche de surface et l’élévation du BV max.

TABLEAU 2.5.2 Descripteurs des profils CTD de la zone du chenal de Mingan utilisés pour l'ACP

Descripteur des profils CTD	Transformations effectuées sur les variables
Différence de densité entre la surface et le fond	$Y = X^{0.7}$
Différence de salinité entre la surface et le fond	$Y = X^{0.7}$
Catégorie de stratification ⁽¹⁾	Aucune transformation
Valeur du BV max ⁽²⁾	$Y = \ln(X)$
Différence de température entre la surface et le fond	$Y = (X + 10)^2$
Profondeur du BV max	$Y = \ln(X)$
Écart-type de la densité de la couche de surface	$Y = \ln(X + 1)$
Écart-type de la salinité de la couche de surface	$Y = \ln(X + 1)$
Écart-type de la température de la couche de surface	$Y = \ln(X + 1)$
Salinité de la couche de surface	Aucune transformation
Densité de la couche de surface	Aucune transformation
Température de la couche de surface	Aucune transformation

(1) Le descripteur « catégorie de stratification » prend les valeurs suivantes : 0 (profil homogène), 1 (profil mélangé), 2 (profil stratifié) ou 3 (profil fortement stratifié).

(2) Le descripteur BV max correspond à l'indice de Brunt-Vaisala (unité : seconde⁻¹) et indique la profondeur de la pycnocline.

2.5 Analyse combinée de la zone de l'embouchure de la Romaine et du chenal de Mingan

L'influence des eaux de la Romaine sur son embouchure et le chenal de Mingan a été vérifiée en étudiant la relation entre la salinité de la couche de surface et la distance de l'embouchure de la rivière Romaine. L'analyse de covariance a permis de vérifier si cette relation était modifiée, par le type et le stade de marée, d'une part, et par le débit de la Romaine, d'autre part.

Les analyses de covariance ont été réalisées à l'aide du module GLM (*General Linear Models*) du logiciel SYSTAT 10. Ce module de calcul permet de vérifier s'il existe une interaction entre les variables explicatives. Une interaction significative indique que l'effet de la covariable (la distance de l'embouchure, dans ce cas-ci) est modifié par l'effet d'une autre variable (le débit, par exemple), ce qui permet d'affirmer que les pentes diffèrent de façon significative. Dans pareil cas, des modèles de régression simple ont été appliqués pour chacun des groupes (classes de débit, par exemple). Les analyses de covariance et de régression simple ont été appliquées sur le logarithme naturel des données de salinité de la couche de surface et des données de la distance de l'embouchure, puisque la distribution des variables d'origine était log-normale.

La combinaison des données des zones de l'embouchure de la Romaine et du chenal de Mingan a permis d'utiliser un total de 374 valeurs de salinité moyenne. Pour l'analyse de la marée, les données ont été regroupées en deux périodes : vives-eaux et mortes-eaux, ainsi qu'en trois stades : marée basse, marée haute, transition. De plus, les données de salinité de la couche de surface ont été regroupées en trois classes de débit : moins de 200 m³/s, entre 200 et 500 m³/s, plus de 500 m³/s.

FIGURE 2.4.1 Groupes de profils dans le chenal de Mingan mettant en évidence le problème d'intercalibration

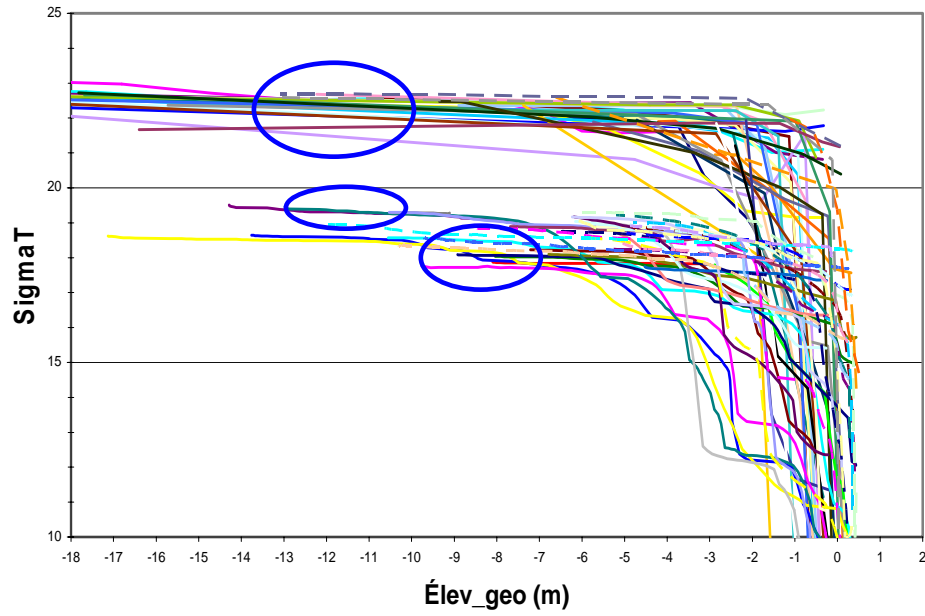


FIGURE 2.4.2 Répartition du nombre de profils CTD réalisés aux différentes stations de la zone de l'embouchure

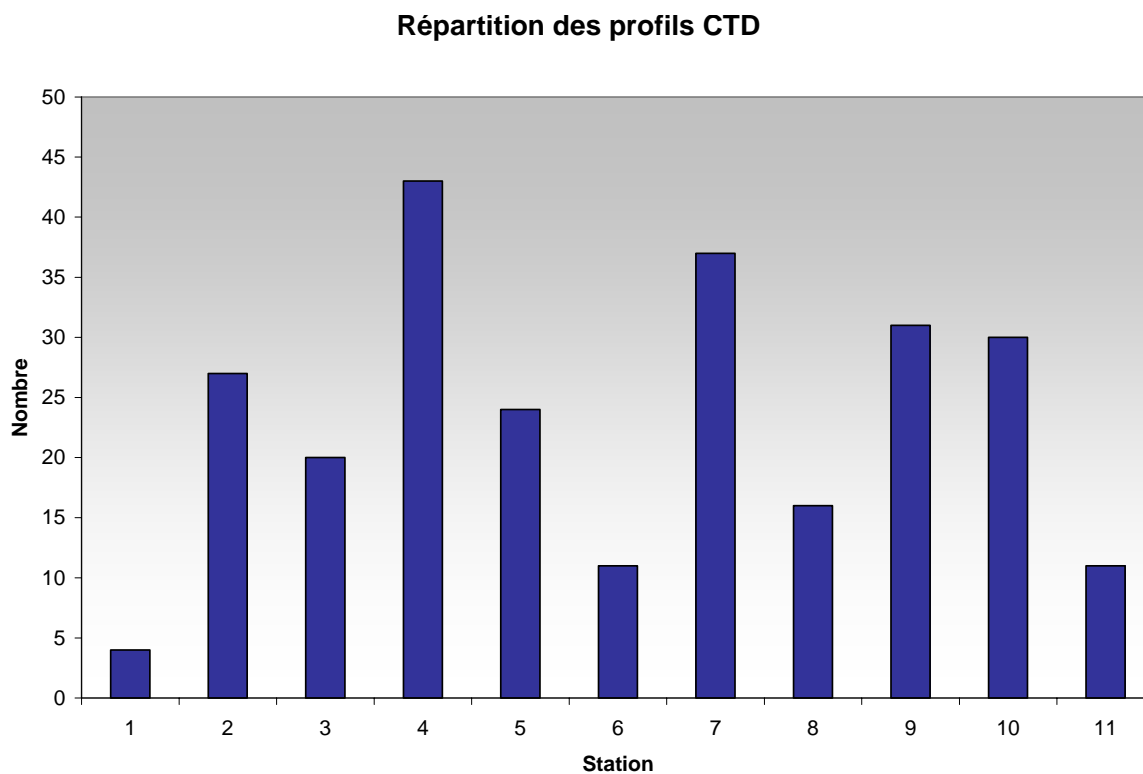
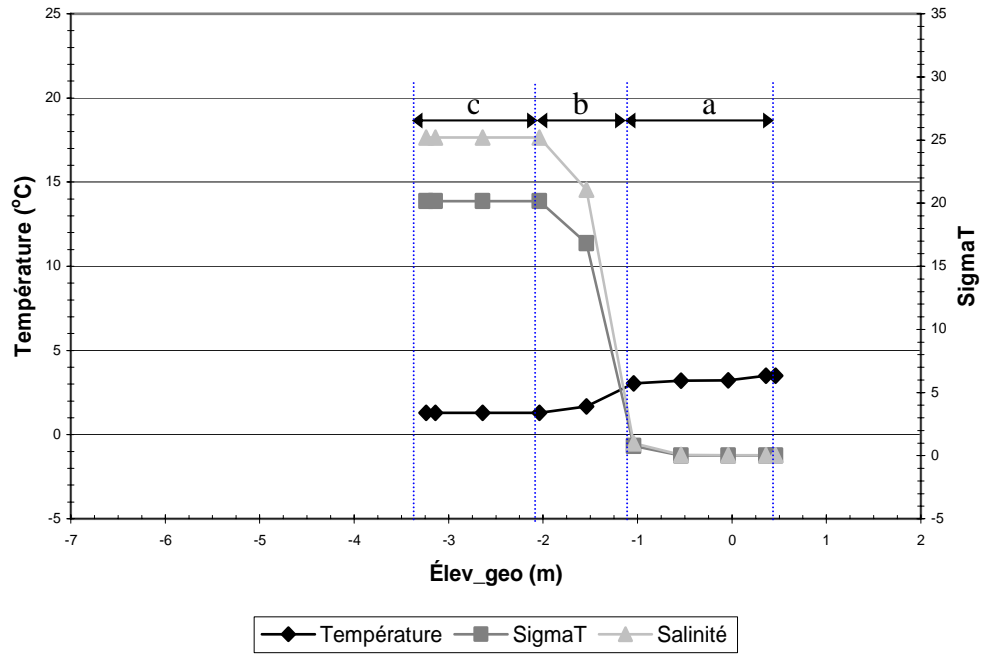
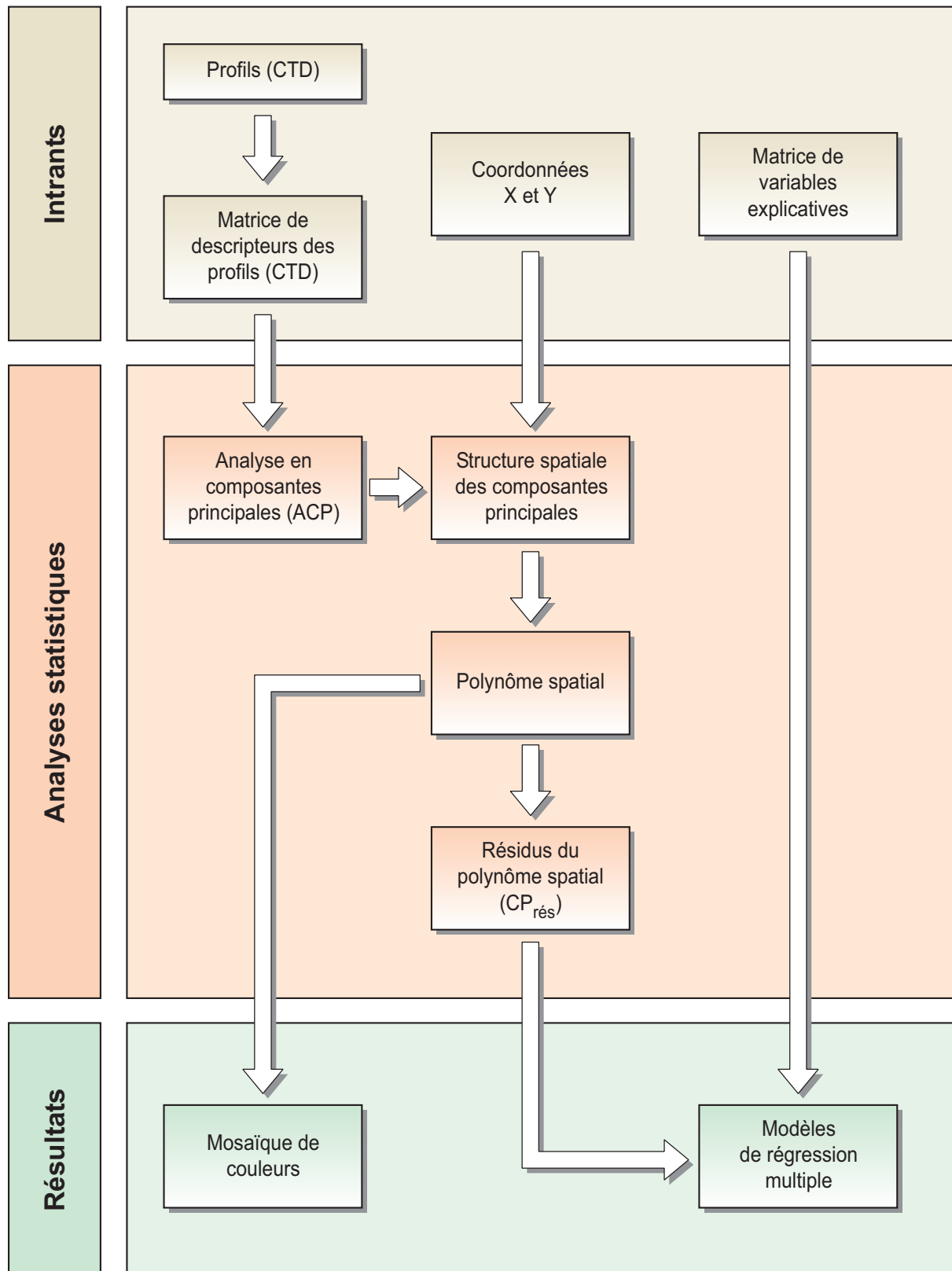


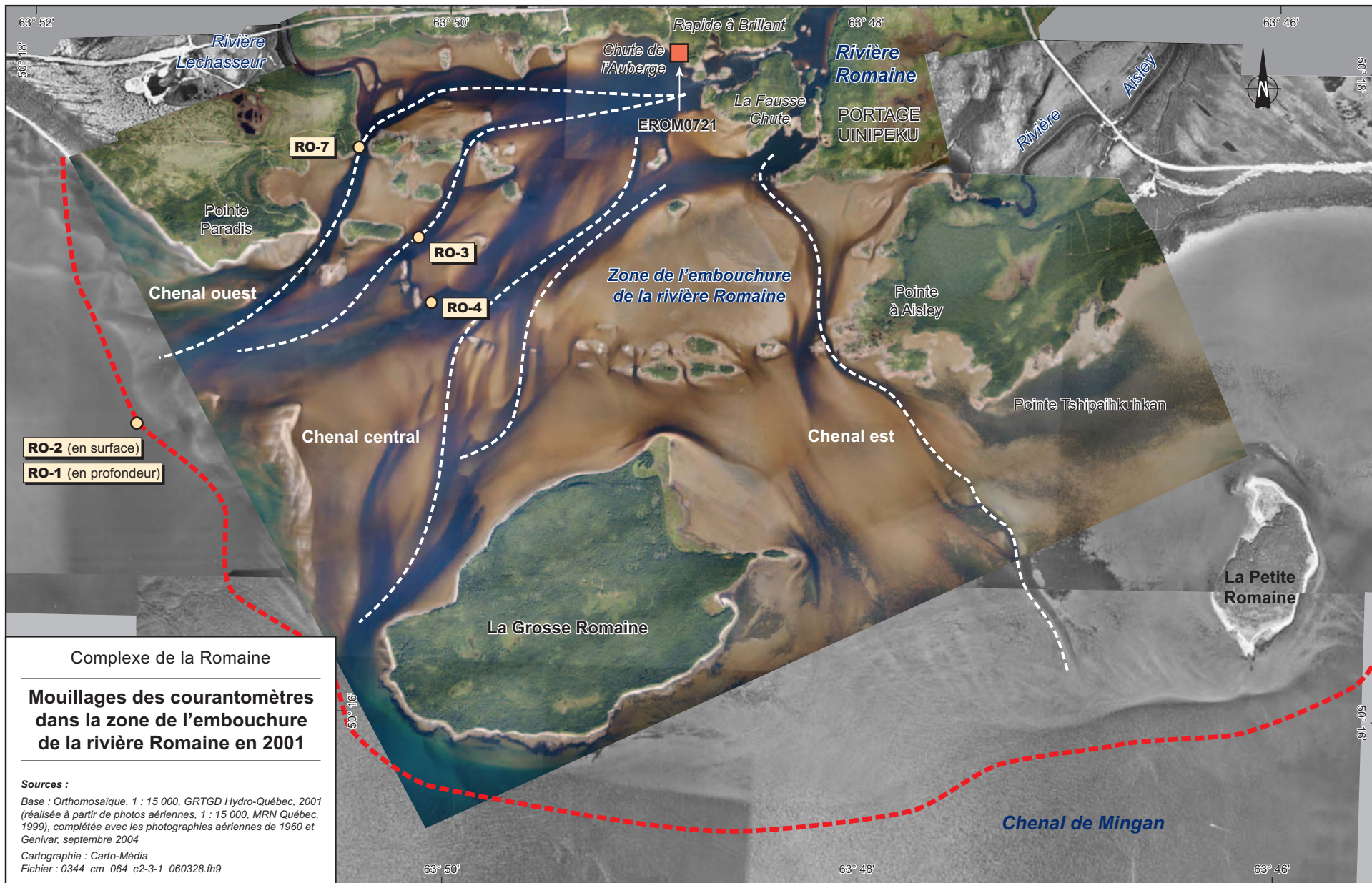
FIGURE 2.4.3 Classification d'un profil CTD type



a) Couche de surface ; b) Couche pycnocline ; c) Couche de fond

FIGURE 2.5.1 Plan de l'analyse objective visant à relier les profils CTD en fonction des variables explicatives pour l'embouchure de la rivière Romaine et le chenal de Mingan

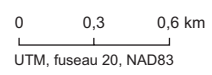




Complexe de la Romaine

Mouillages des courantomètres dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine en 2001






Sources :
 Base : Orthomosaïque, 1 : 15 000, GRTGD Hydro-Québec, 2001 (réalisée à partir de photos aériennes, 1 : 15 000, MRN Québec, 1999), complétée avec les photographies aériennes de 1960 et Genivar, septembre 2004
 Cartographie : Carto-Média
 Fichier : 0344_cm_064_c2-3-1_060328.fh9

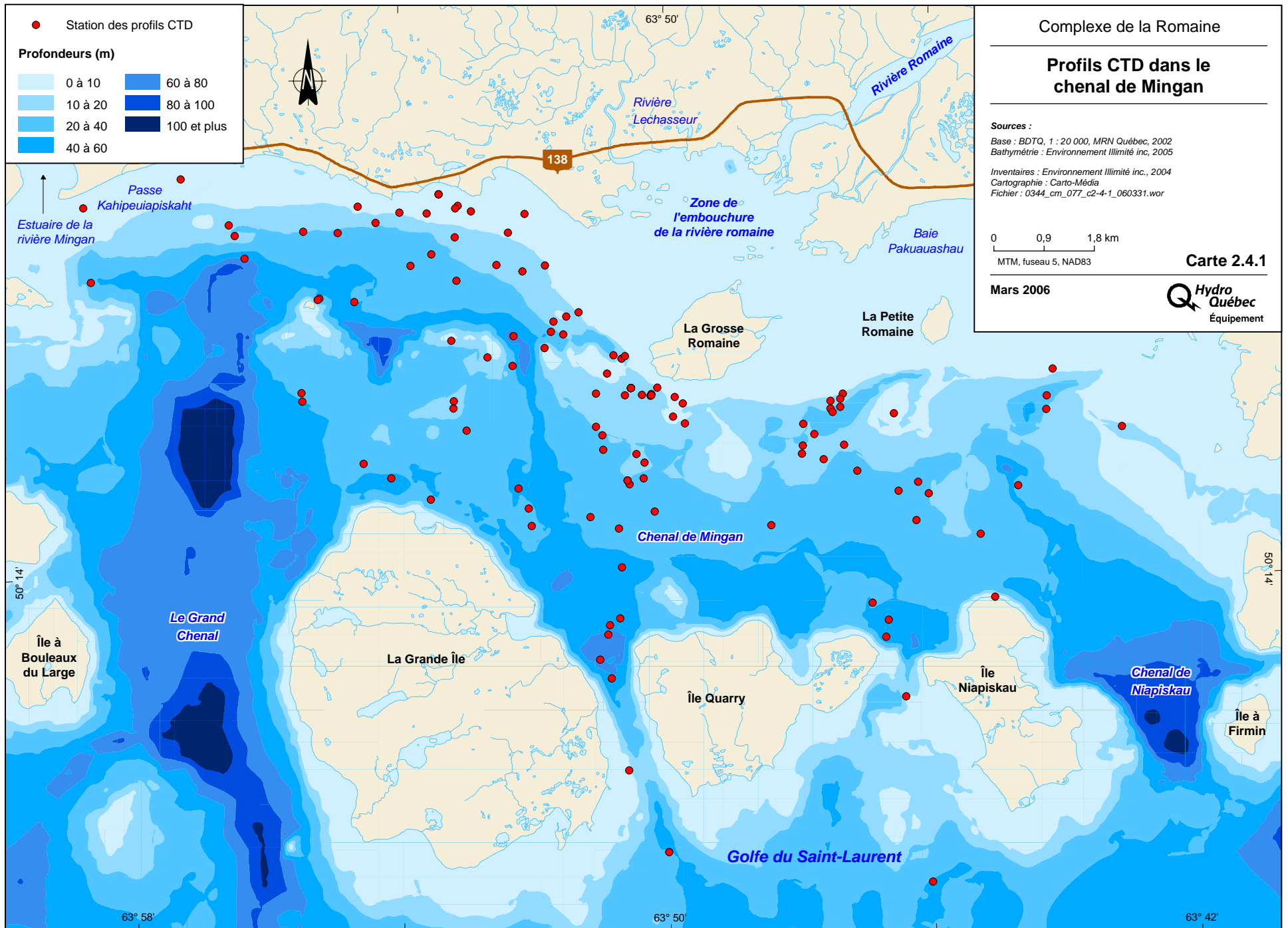


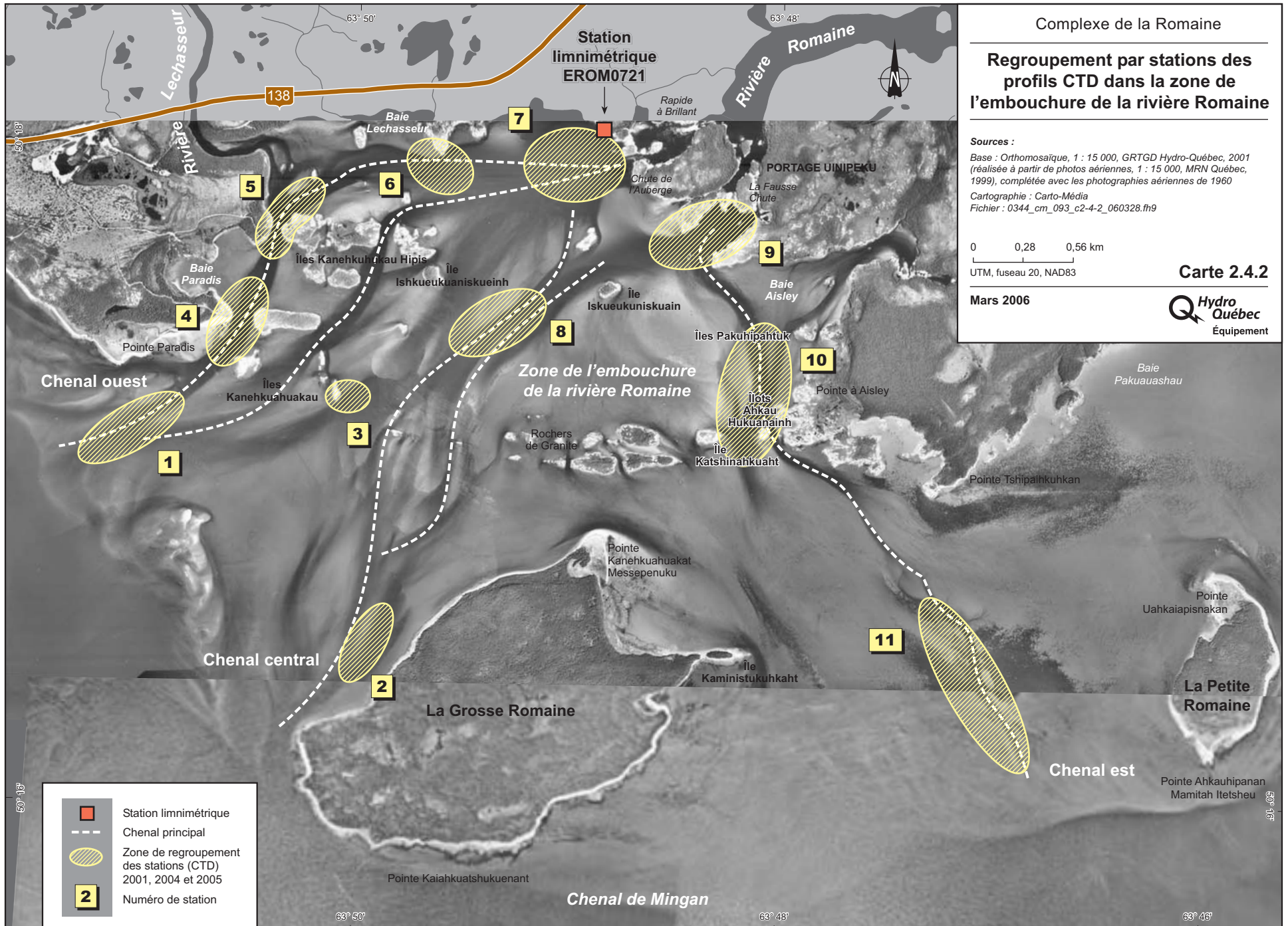
Carte 2.3.1

 Hydro Québec
 Équipement

Mars 2006

-  Série temporelle du courant (S-4, MAVS)
 Numéro de station
-  Chenal principal
 Limite de l'embouchure (incluant les deltas actif et ancien)
-  Station limnimétrique





3 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

3.1 Zone de l'embouchure

3.1.1 Contexte géographique et océanographique général

La rivière Romaine débouche dans le golfe du Saint-Laurent sur la Moyenne-Côte-Nord, entre les villages de Havre-Saint-Pierre à l'est et de Mingan à l'ouest. Ce secteur est circonscrit par les îles de l'archipel de Mingan qui sépare le détroit de Jacques-Cartier, au large, du chenal de Mingan qui reçoit les eaux de la rivière Romaine et de la rivière Mingan (carte 3.1.1). Dans le cadre de la présente étude, la zone d'étude est subdivisée en deux parties : la zone proximale de l'embouchure et la zone élargie. La première est comprise entre la Pointe Paradis à l'ouest et la Pointe Aisley à l'est et qui comprend les îles La Grosse Romaine et La Petite Romaine. La seconde correspond au chenal de Mingan qui est sous l'influence du panache de surface de la rivière Romaine et de la rivière Mingan (carte 3.1.1). Les principales îles de l'archipel présentes dans la zone élargie incluent : La Grande Île, Quarry et Niapiskau. La zone élargie est bordée à l'ouest par les îles à Bouleaux et l'île du Havre de Mingan et à l'est par les îles à Firmin et du Fantôme (carte 3.1.1).

Le patron général des courants de surface dans le golfe du Saint-Laurent (carte 3.1.2) est cyclonique, montrant une dérive vers l'ouest dans le détroit de Jacques-Cartier et l'évacuation des eaux mélangées par le courant de Gaspé le long de la rive sud et le détroit de Cabot (Saucier et coll., 2003). Ce patron induit de grandes gyres dont la plus importante se trouve à l'ouest de l'île Anticosti. Ces gyres ne seraient pas des phénomènes persistants (quelques jours), mais se reformeraient sans cesse (Koutikonsky et Bugden, 1991). La gyre d'Anticosti correspond à une zone de productivité élevée du golfe, mais nettement moins qu'à la tête du chenal Laurentien (LeFouest et coll., 2005). Une autre zone de productivité élevée se retrouve le long de la côte nord en été (de juin à août) dans le détroit de Jacques-Cartier, au sud et à l'est de l'archipel de Mingan (LeFouest et coll., 2005). La présence saisonnière de cette zone serait attribuable aux vents d'ouest qui provoquent une remontée d'eau profonde (Bourque and Kelley, 1995), riche en éléments nutritifs provenant de la couche intermédiaire froide qui est à la source de la production primaire au printemps (Sevigny et coll., 1979). Cette région est aussi l'une des trois zones d'agrégation de crevettes dans la partie nord du golfe (Ouellet et coll., 1990 ; Simard et Savard, 1990). Dans le secteur des îles de Mingan, le mélange par les grandes marées peut aussi être à l'origine de l'apparition d'eau froide dans la couche de surface (Rossignol, 1998).

Les masses d'eau du golfe sont fortement stratifiées avec la présence d'une couche intermédiaire froide (autour de 0°C) et salée (de 32 à 33 psu) de 30 à 150 m d'épaisseur qui repose sur une couche plus chaude (2 à 6 °C) et plus salée (33 à 35 psu) de 200 à 400 m d'épaisseur (Saucier et coll., 2003). La couche de surface apparaît au printemps et est formée *in situ* par le réchauffement estival et les apports accrus d'eau douce au printemps, résultant en une salinité

qui varie de 27 à 32 psu et une température maximale d'environ 14 °C (Centre Saint-Laurent, 1996). Elle persistera jusqu'à l'hiver avant d'être détruite par le mélange induit par le vent et l'entraînement des eaux de surface hors du golfe (Saucier et coll., 2003).

3.1.2 Hydrologie

La rivière Romaine possède un bassin versant d'environ 14 470 km² (données d'Hydro-Québec) et un débit moyen de 335 m³/s à son embouchure (période de 1956 à 2004). Le débit varie de manière saisonnière selon un régime nival avec une crue printanière principale et une crue automnale de moindre envergure (figure 3.1). La crue printanière dure en général deux mois à partir de la fin avril jusqu'à la fin juin. Le débit de pointe est généralement mesuré à la fin mai. Le débit moyen durant la crue printanière est de 881 m³/s (juin) et varie entre 1 523 m³/s (récurrence de deux ans) et 2 549 m³/s (récurrence de 100 ans). À l'automne, l'augmentation des précipitations provoque une crue automnale dont le débit mensuel moyen atteint 354 m³/s (octobre). Le débit de crue varie entre 578 m³/s (récurrence de deux ans) et 1 706 m³/s (récurrence de cent ans).

La rivière Romaine a une importance moyenne par rapport aux apports fluviaux des rivières de la côte nord (figure 3.1.2) et celles-ci, de concert avec le fleuve Saint-Laurent sont les principales sources d'eau douce au golfe du Saint-Laurent (Saucier et coll., 2003). Les apports des rivières de la côte nord³ correspondent à 13 %⁴ des apports totaux d'eau douce au golfe du Saint-Laurent, la principale source étant le fleuve Saint-Laurent (16 800 m³/s à Baie-Comeau). De plus, les apports d'eau douce au golfe du Saint-Laurent par les rivières de la côte nord sont nettement plus importants (2 461 m³/s) que ceux provenant des rivières de la côte sud (≤ 250 m³/s). Cependant, même si les apports des rivières de la côte nord sont plus importants que ceux de la côte sud, le gradient décroissant de la salinité des eaux de surface est dirigé vers le sud à la plupart des saisons à cause du patron de circulation cyclonique général du golfe.

3.1.3 Bathymétrie

3.1.3.1 Zone de l'embouchure

La zone de l'embouchure de la rivière Romaine est dominée par la présence de hauts-fonds et d'îlots, séparés par des chenaux profonds ($z < 7$ m) plus ou moins bien délimités, principalement dans la moitié ouest (carte 3.1.3). À marée haute (élévation géodésique : 1,15 m), la superficie mouillée de la zone de l'embouchure est d'environ 14 km² mais diminue d'environ 30 % à marée basse (élévation géodésique : 0,6 m) pour atteindre 10 km² (carte 3.1.3). La topographie des chenaux est irrégulière (figure 3.1.3) avec une élévation qui varie entre -2 et -5 m pour le chenal ouest, entre -3,5 et -1,5 m pour le chenal central et entre -2 et -1 m pour le chenal est. Les zones exondées à marée basse sont regroupées en deux grands systèmes de battures séparées par un

3. Les rivières Manicouagan, aux Outardes et Betsiamites sont considérées dans la région de l'estuaire maritime.

4. Les données font ici référence à la période 1981-1991.

chenal central et bordées de part et d'autre par un chenal à l'ouest et à l'est (carte 3.1.4). La rive irrégulière, modelée par les affleurements rocheux, forme des enclaves bordées au large par les deux chenaux latéraux de la zone de l'embouchure. Par ailleurs, la partie est de la zone de l'embouchure, qui a été identifiée comme étant le delta ancien de la rivière Romaine, correspond à la couverture la plus importante des herbiers à zostère (carte 3.1.4). Leurs présences définissent indubitablement ce secteur, à l'est de l'île La Grosse Romaine, comme un milieu stable peu sujet au remaniement du substrat par les courants et où la salinité demeure suffisamment élevée pour permettre à la zostère de se développer.

3.1.3.2 Chenal de Mingan

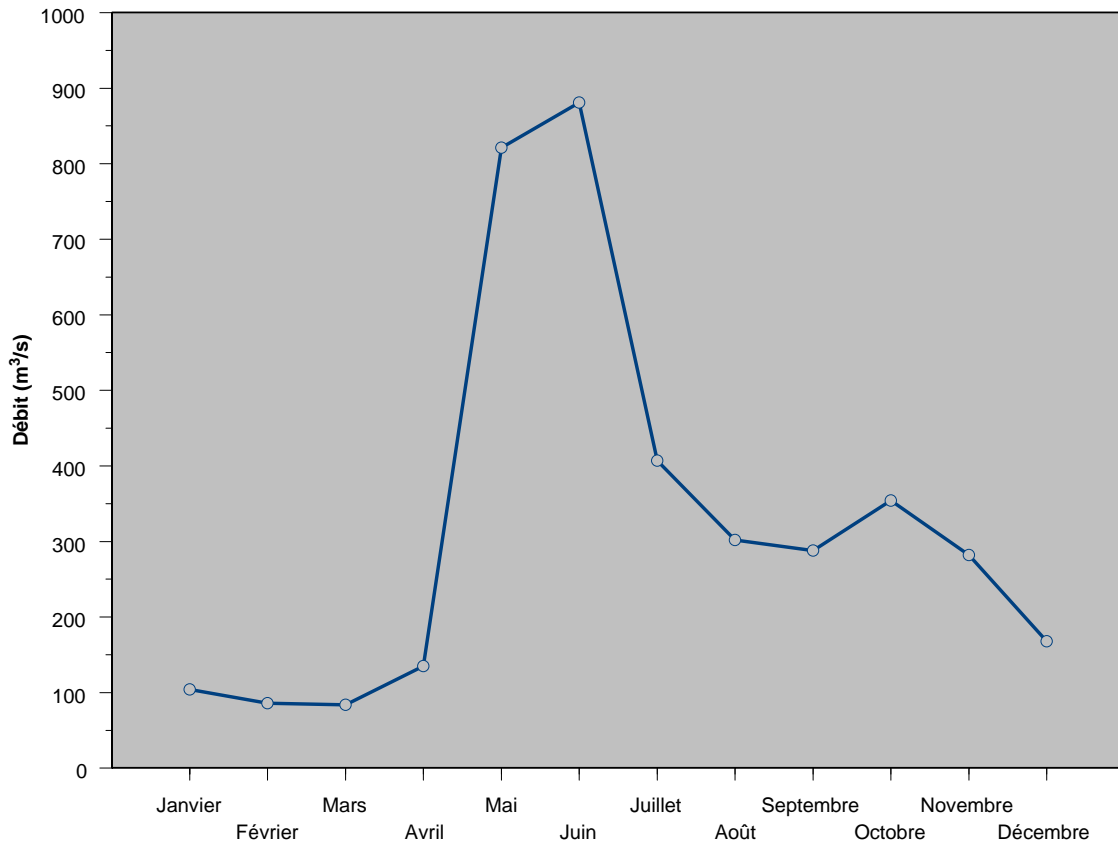
La carte bathymétrique du chenal de Mingan met en évidence une vallée profonde (91 m) qui prend son origine juste à l'ouest de l'île Grosse Romaine et orientée vers l'ouest. Cette vallée correspond aux pieds de la cuesta⁵ sous-marine où affleure la Caye à Cochons dans l'alignement des îles du Havre de Mingan, La Grosse Romaine et La Petite Romaine. Cette cuesta descend en pente douce vers le sud pour former le chenal de Mingan bordé par un deuxième front de cuestas très bien identifié par les grandes îles de l'archipel (carte 3.1.4). Les deux cuestas sont recoupées par une vallée profonde (138 m) qui relie le chenal de Mingan au détroit de Jacques-Cartier à l'ouest de La Grande Île. Une autre vallée profonde recoupe le deuxième front de cuestas entre les îles Niapiskau et Firmin. Les chenaux entre les îles Niapiskau, Quarry et La Grande Île sont fermés au sud par des seuils peu profonds (carte 3.1.4). Sur la partie est de la zone d'étude élargie, la descente est beaucoup moins rapide et un seul point atteint une profondeur de 50 m. La pente du front deltaïque de la rivière Romaine est très courte pour passer de 1 à 5 m de profondeur, soit entre 100 et 200 m. La pente varie en profondeur en fonction de la morphologie du toit du substratum rocheux qui imprime la morphologie du fond marin.

3.1.4 Climatologie régionale

La température moyenne annuelle en Minganie (rivière au Tonnerre⁶) est de 1 °C (1971-2000). La température moyenne mensuelle varie entre -14 °C (janvier) et 14 °C (juillet) avec des températures moyennes extrêmes de -20 °C (janvier) et 19 °C (juillet). En moyenne, il y a environ 160 jours de gel par année en Minganie (Entraco, 1991). Les précipitations totales (neige et pluie) mensuelles moyennes (rivière au Tonnerre) varient entre 52 mm (février) et 121 mm (septembre) pour des précipitations totales annuelles de 1 080 mm. Les vents dominants proviennent généralement de l'ouest, mais sont variables en fonction des saisons. En hiver, ils soufflent principalement du nord et du nord-ouest. Au printemps, les vents proviennent autant de l'est que de l'ouest alors qu'en automne, ils proviennent principalement du nord-ouest. En été, la fréquence des vents de l'ouest et du sud est comparable (30 % respectivement). La vitesse moyenne des vents est de 20 km/h, sauf pour les vents de l'ouest et du sud qui sont plus forts avec des valeurs moyennes de 20 à 30 km/h (Entraco, 1991).

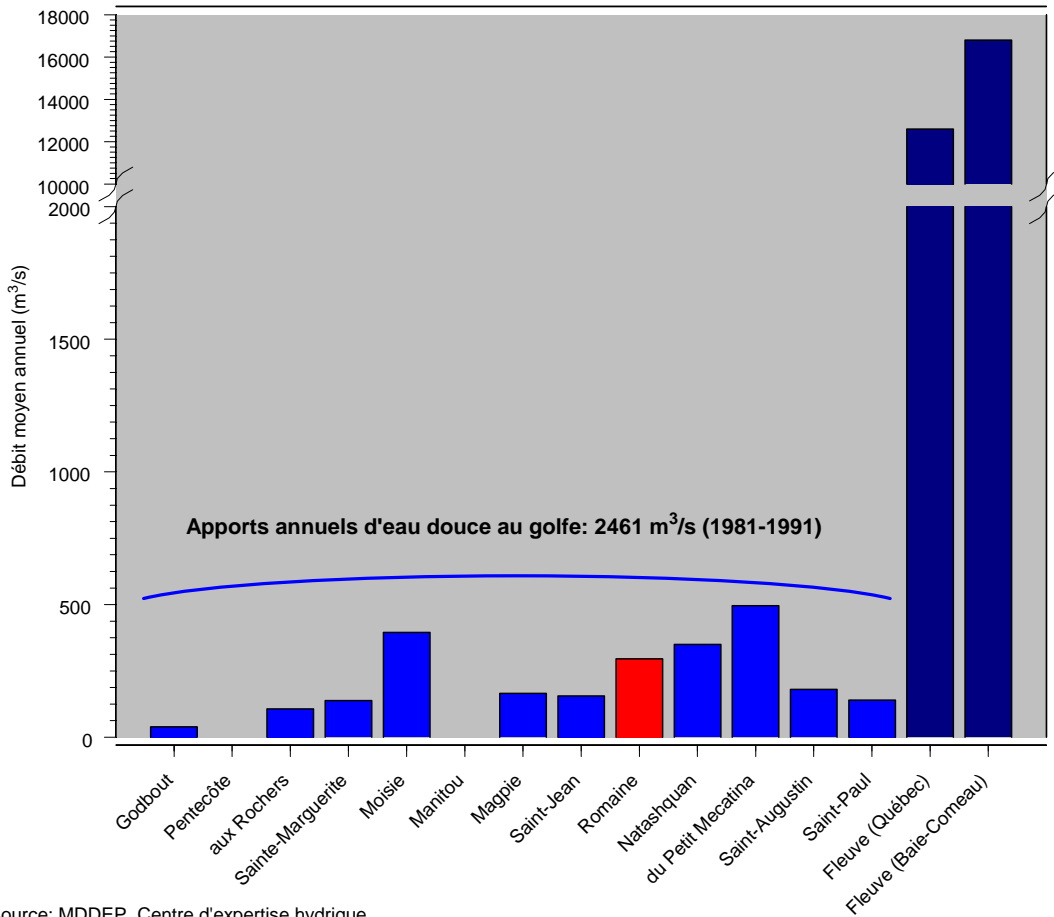
-
5. Plateau à double pente asymétrique, en forme de pupitre, avec un front en pente relativement forte et un revers, en pente plus douce, dans le sens du pendage des strates rocheuses.
 6. Station présentant des normales climatiques : http://www.criacc.qc.ca/villes/tableau_f.asp?id_station=704FEG0®roup=sud

FIGURE 3.1.1 Hydrogramme moyen mensuel (1956-2004) de la rivière Romaine à l'embouchure (source : données fournies par Hydro-Québec)



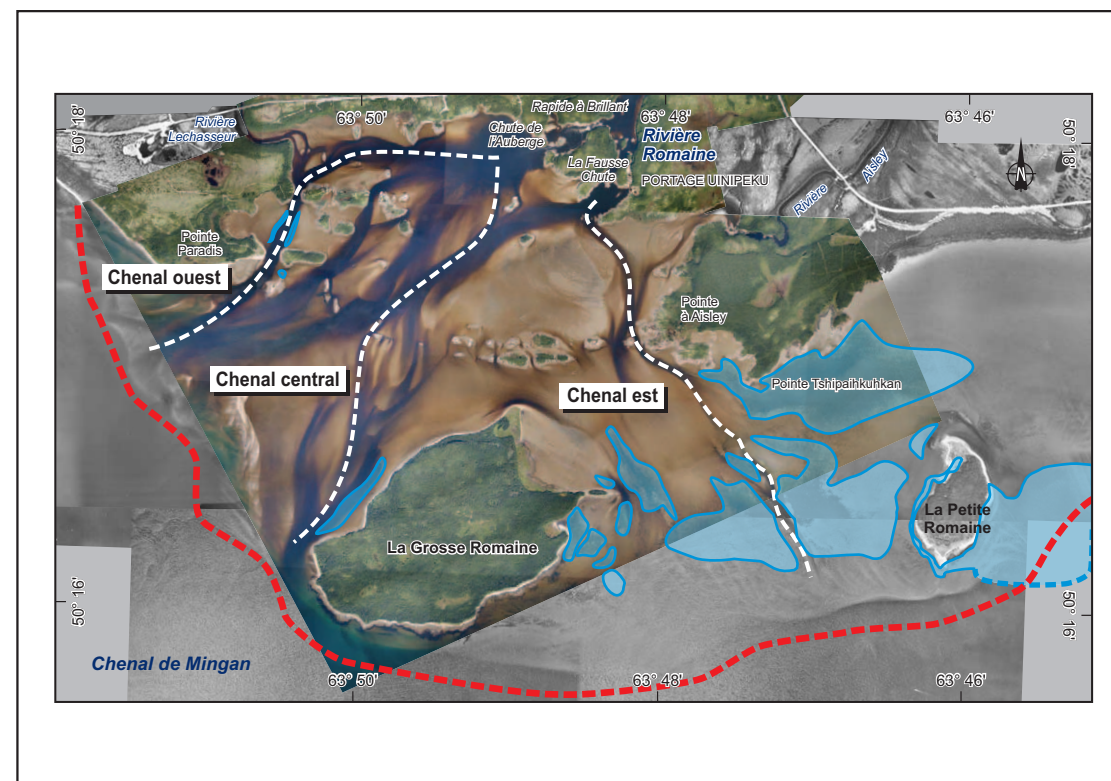
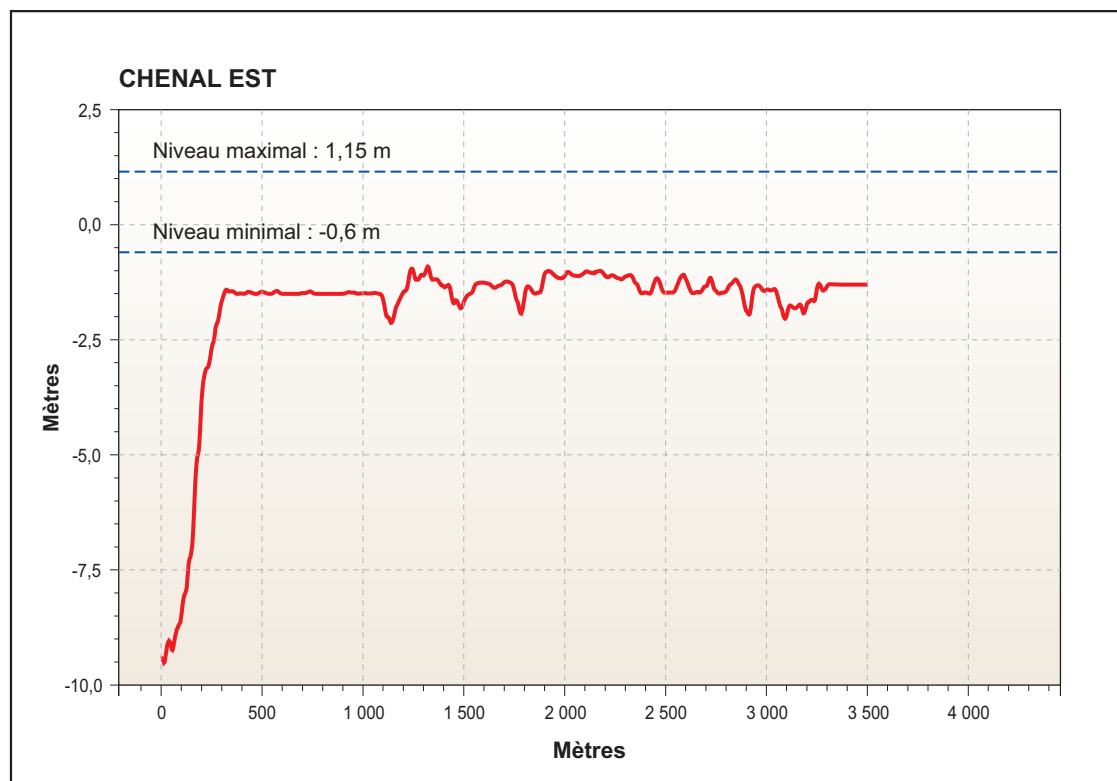
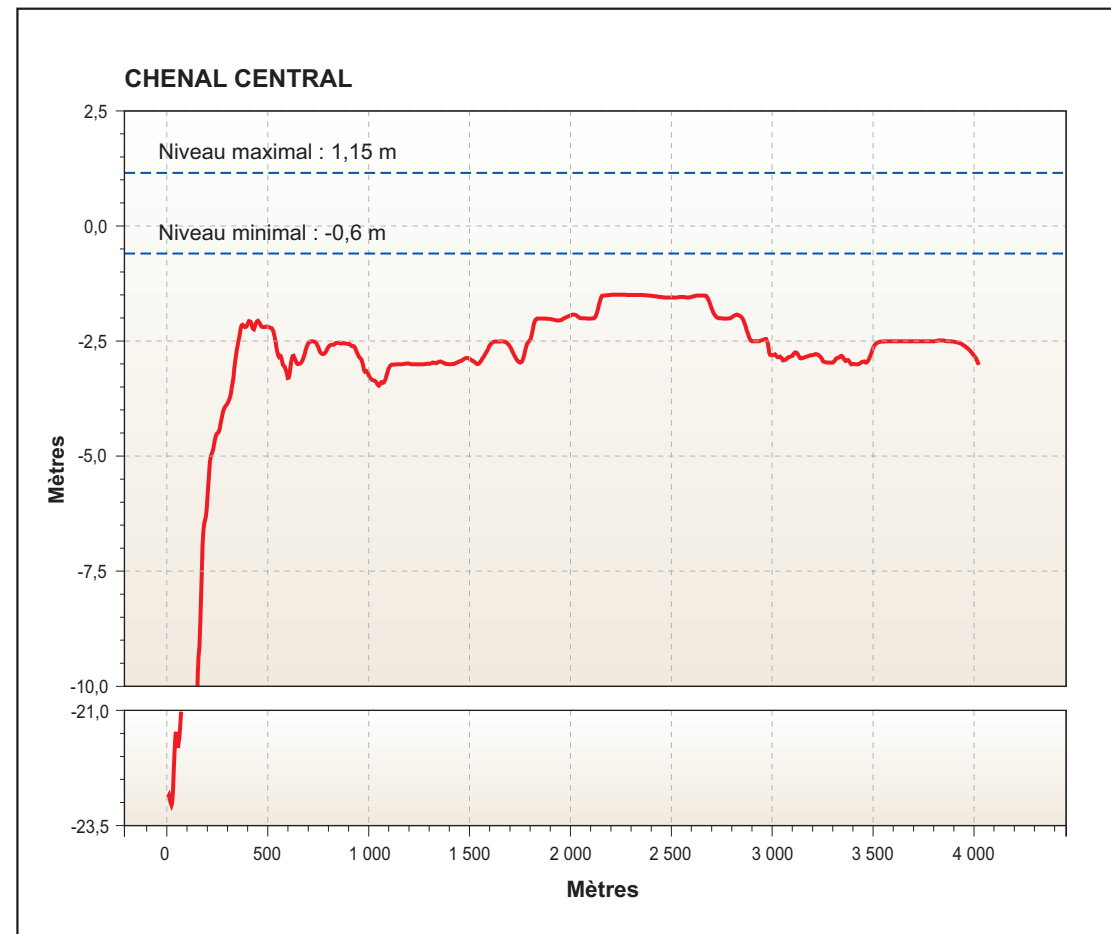
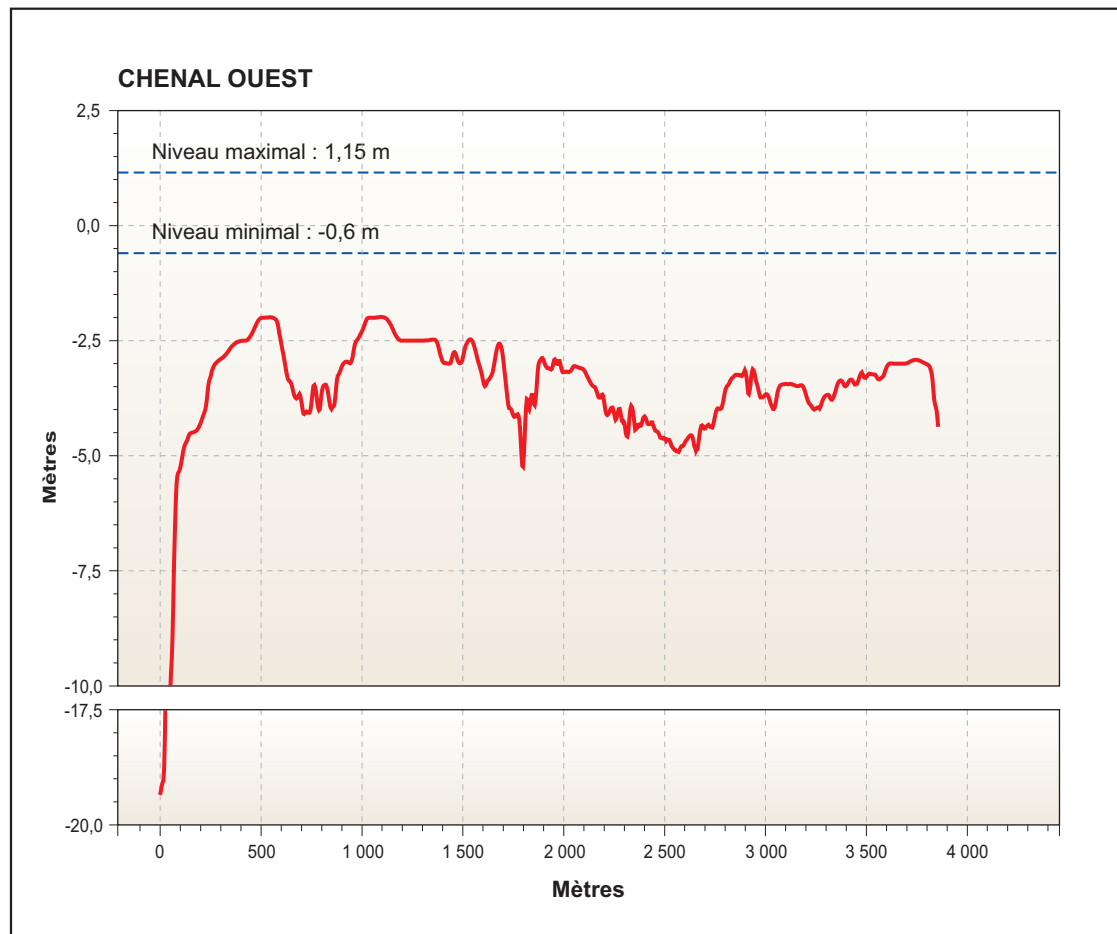
debiembouchure

FIGURE 3.1.2 Débit moyen annuel (1981-1991) pour les principales rivières de la côte nord (source : MDDEP)



Source: MDDEP, Centre d'expertise hydrique

fig3.1



- Herbier de zostère marine (toute densité confondue)
- Limite estimée
- Limite de l'embouchure (incluant les deltas actif et ancien)

Complexe de la Romaine

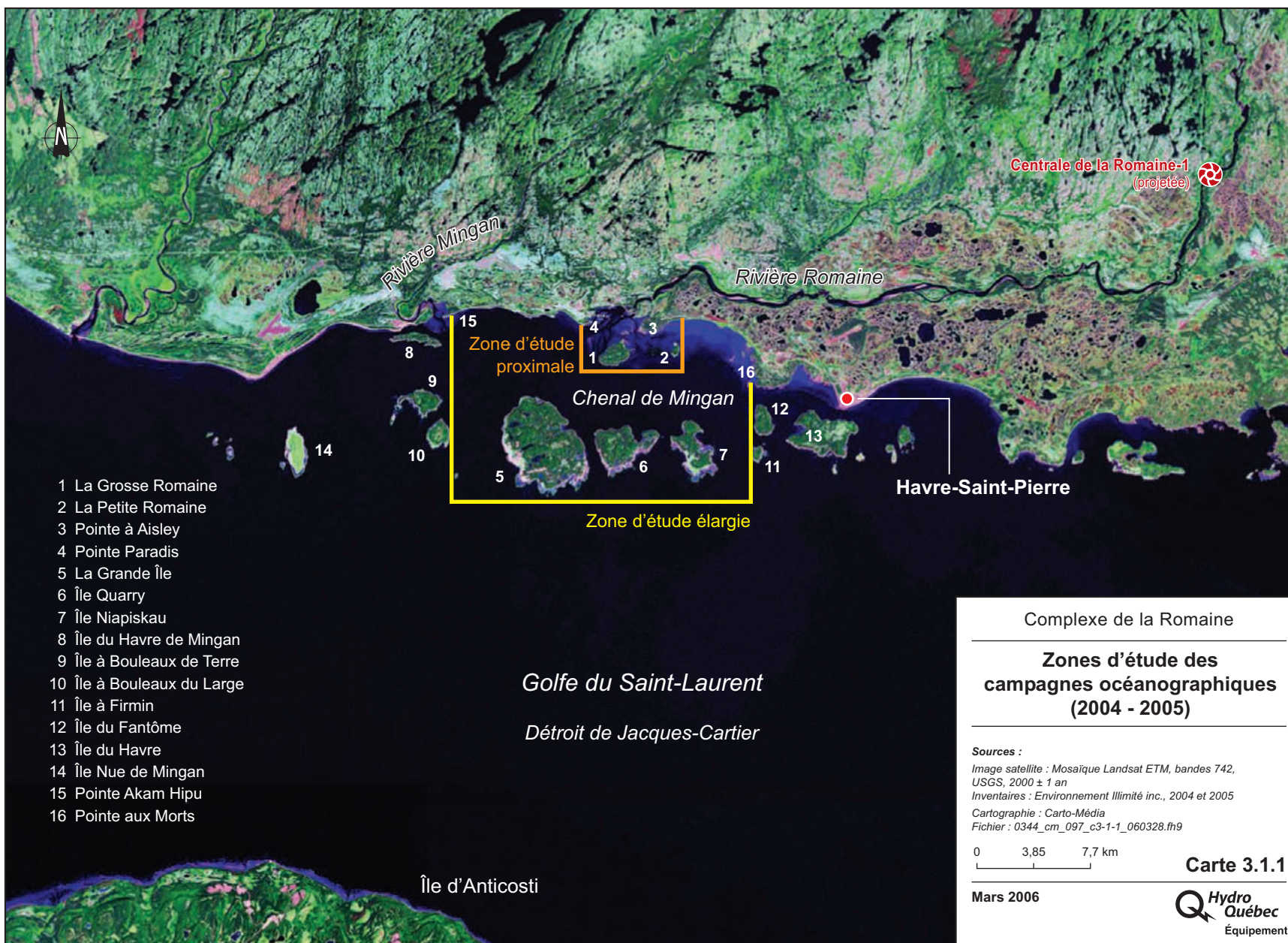
Coupe bathymétrique longitudinale des chenaux principaux dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine

Sources :
 Base : Orthomosaïque, 1 : 15 000, GRTGD Hydro-Québec, 2001 (réalisée à partir de photos aériennes, 1 : 15 000, MRN Québec, 1999), complétée avec les photographies aériennes de 1960 et Genivar, septembre 2004
 Inventaires : Environnement Illimité inc., juin 2005
 Cartographie : Carto-Média
 Fichier : 0344_cm_096_f3-1-3_0601329.fn9

0 0,6 1,2 km
 UTM, fuseau 20, NAD83

Mars 2006

Figure 3.1.3



- 1 La Grosse Romaine
- 2 La Petite Romaine
- 3 Pointe à Aisley
- 4 Pointe Paradis
- 5 La Grande Île
- 6 Île Quarry
- 7 Île Niapiskau
- 8 Île du Havre de Mingan
- 9 Île à Bouleaux de Terre
- 10 Île à Bouleaux du Large
- 11 Île à Firmin
- 12 Île du Fantôme
- 13 Île du Havre
- 14 Île Nue de Mingan
- 15 Pointe Akam Hipu
- 16 Pointe aux Morts

Complexe de la Romaine

**Zones d'étude des
campagnes océanographiques
(2004 - 2005)**

Sources :
 Image satellite : Mosaïque Landsat ETM, bandes 742, USGS, 2000 ± 1 an
 Inventaires : Environnement Illimité inc., 2004 et 2005
 Cartographie : Carto-Média
 Fichier : 0344_cm_097_c3-1-1_060328.th9



Mars 2006



Carte 3.1.1

Complexe de la Romaine

Circulation typique des eaux de surface dans le golfe durant l'été

Source :

À partir des données de CSL et Université Laval, 1991b. Publié dans Centre Saint-Laurent, 1996. Rapport-synthèse sur l'état du Saint-Laurent. Volume 1 : L'écosystème du Saint-Laurent. Environnement Canada - région du Québec, Conservation de l'environnement - et Éditions MultiMondes, Montréal. Coll. « Bilan Saint-Laurent ».

Cartographie : Carto-Média
Fichier : 0344_cm_098_c3-1-2_060330.fh9

0 45 90 km

Carte 3.1.2



Mars 2006

PLATES-FORMES

- 1A des Escoumins
- 1B de Gaspé
- 2 de la côte nord
- 3 d'Anticosti
- 4 de Terre-Neuve
- 5 des îles de la Madeleine

FOSSÉS

- 6A de Mécatina
- 6B de la baie des Chaleurs
- 6C de Shediac
- 6D du Cap-Breton
- 6E ouest de Bradelles
- 6F est de Bradelles

BAIE ET DÉTROITS

- 7 Baie des Chaleurs
- 8 Détroit de Northumberland
- 9 Détroit de Canso
- 10 Détroit de Belle-Isle
- 11 Détroit de Cabot
- 12 Détroit de Jacques-Cartier
- 13 Détroit d'Honguedo



- Plate-forme
- Fosse
- Remontée d'eaux
- Courant marin
- Courant de Gaspé
- Courant du détroit de Cabot
- Gyre
- Limite géographique du golfe

Marée basse

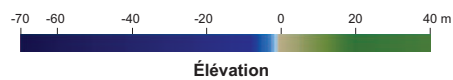


Marée haute



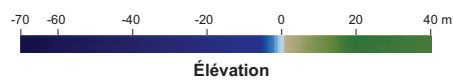
Marée basse

Niveau d'eau : -0,6 m (géodésique)



Marée haute

Niveau d'eau : 1,15 m (géodésique)



Superficies

Marée haute : $14 \times 10^6 \text{ m}^2$
 Marée basse : $9,6 \times 10^6 \text{ m}^2$
 $\Delta = 4,6 \times 10^6 \text{ m}^2$

Volumes

Marée haute : $32,2 \times 10^6 \text{ m}^3$
 Marée basse : $9,7 \times 10^6 \text{ m}^3$
 $\Delta = 22,5 \times 10^6 \text{ m}^3$

— Limite de la zone d'étude

Complexe de la Romaine

Bathymétrie de la zone de l'embouchure de la rivière Romaine

Sources :

Modèle numérique d'élévation : Environnement Illimité inc., 2005
 Relevés : Laroche, 1993 et Hydro-Québec, 2001
 Cartographie : Carto-Média
 Fichier : 0344_cm_066_c3-1-3_060330.fh9

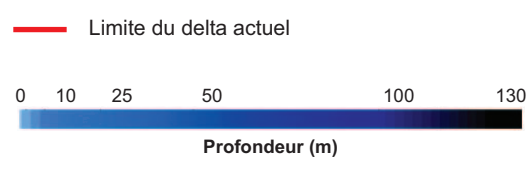
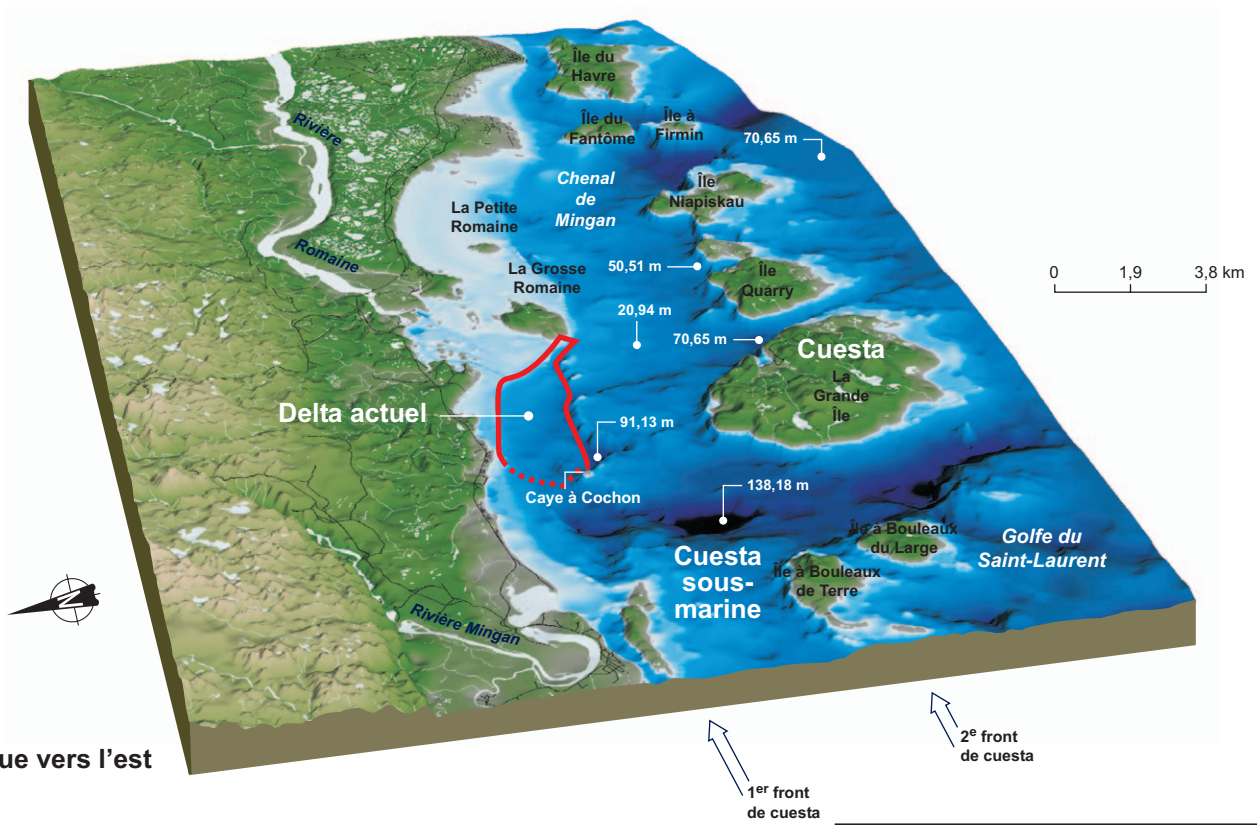
0 0,5 1 km

MTM, fuseau 5, NAD83

Mars 2006

Carte 3.1.3

 **Hydro-Québec**
Équipement



Complexe de la Romaine

Bathymétrie du chenal de Mingan

Sources :
 Modèle numérique d'élévation : Environnement Illimité inc., 2005
 Relevés : Laroche, 1993 et Hydro-Québec, 2001
 Cartographie : Carto-Média
 Fichier : 0344_cm_073_c3-1-4_060330.fh9

Mars 2006

Carte 3.1.4

Hydro Québec
Équipement

4 RÉSULTATS

4.1 Analyse objective des profils CTD

4.1.1 Zone de l'embouchure de la Romaine

4.1.1.1 Analyse en composantes principales

L'ACP sur les 18 descripteurs des profils CTD de l'embouchure de la Romaine a permis de dégager cinq CP dont la valeur propre est supérieure à 1 : CP1 (5,69), CP2 (4,09), CP3 (3,11), CP4 (1,62) et CP5 (1,35). La part de la variance expliquée par les cinq premières composantes principales est respectivement de 32 %, de 23 %, de 17 %, de 9 % et de 8 %. Les cinq premières CP totalisent donc 88 % de la variance contenue dans la matrice des 18 descripteurs.

L'interprétation des CP a été réalisée en fonction de l'intensité entre les coordonnées des descripteurs dans le système des cinq axes formés par les CP retenues (tableau 4.1.1). Les figures 4.1.1, 4.1.2 et 4.1.3 représentent les descripteurs dans l'espace formé par les cinq premiers axes principaux. Afin de simplifier la présentation, les descripteurs les plus importants sont présentés dans chacun des plans. Les cercles de contribution équilibrée des descripteurs sont illustrés en gris et confirment la contribution significative des descripteurs dans l'espace réduit. L'interprétation détaillée des CP est présentée à l'annexe 1.1.


4.1.1.2 Structure spatiale des composantes principales

Afin de détecter des tendances générales dans la structure spatiale des cinq CP retenues, un polynôme spatial a été construit pour chacune d'elles (section 2.5.1.2). Le tableau A2 (annexe 1.2) présente les termes significatifs du polynôme spatial qui décrivent la structure spatiale des CP. Le polynôme spatial des cinq CP a été illustré à l'aide d'une mosaïque de couleurs qui représentent les niveaux d'intensité de la composante principale.


La figure 4.1.4 est une mosaïque qui illustre le polynôme spatial de la CP « stratification ». Le coefficient de détermination (R^2) s'élève à 0,13. Il s'agit donc d'une structure spatiale plutôt faible. Les couleurs chaudes représentent les stations de faible stratification, les couleurs froides représentent les stations de plus forte stratification, alors que la couleur verte indique des niveaux de stratification intermédiaire. L'examen de cette dernière figure suggère une diminution de la stratification à mesure que l'on s'éloigne de l'embouchure de la rivière Romaine.

TABLEAU 4.1.1 Coordonnées des descripteurs dans le système des cinq axes formés par les composantes principales retenues


Descripteurs	Composantes principales				
	1 (31,5 %)	2 (22,8 %)	3 (17,6 %)	4 (9,2 %)	5 (7,2 %)
Différence de densité entre la surface et le fond	-0,94	0,01	0,05	0,16	0,16
Différence de salinité entre la surface et le fond	-0,94	0,02	0,05	0,18	0,16
Catégorie de stratification	-0,90	-0,17	0,16	0,23	0,09
Épaisseur de la pycnocline	-0,84	-0,01	0,04	-0,13	-0,05
Épaisseur totale de la colonne d'eau	-0,83	0,16	-0,07	-0,06	-0,24
Valeur du BV max	-0,69	-0,21	0,15	0,52	0,12
Différence de température entre la surface et le fond	0,60	0,14	-0,26	0,57	-0,24
Élévation minimale dans la colonne d'eau	-0,57	0,68	-0,13	-0,27	-0,20
Épaisseur de la couche de fond	0,56	-0,68	0,11	0,22	0,24
Profondeur du BV max	0,09	0,91	-0,19	0,08	-0,06
Épaisseur de la couche de surface	0,00	0,88	0,11	0,07	0,13
Élévation du BV max	0,32	-0,88	-0,02	0,02	0,07
Écart-type de la densité de la couche de surface	0,12	0,43	0,82	0,27	0,14
Écart-type de la salinité de la couche de surface	0,11	0,43	0,81	0,28	0,14
Écart-type de la température de la couche de surface	0,28	0,33	0,78	-0,08	0,26
Salinité de la couche de surface	-0,13	-0,26	0,74	-0,20	-0,50
Densité de la couche de surface	0,09	-0,33	0,60	-0,10	-0,67
Température de la couche de surface	-0,04	-0,10	0,28	-0,74	0,49

 De 0,99 à 0,90


1 : Stratification

 De 0,89 à 0,80

2 : Épaisseur de la couche de surface

 De 0,79 à 0,70

3 : Salinité de la couche de surface

 De 0,69 à 0,60

4 : Température de la couche de surface

5 : Densité de la couche de surface

La figure 4.1.5 illustre le polynôme spatial de la CP « épaisseur de la couche de surface ». Ce polynôme révèle que l'épaisseur de la couche de surface présente une tendance spatiale notable avec un R^2 de 0,34. Les couleurs chaudes représentent les stations où l'épaisseur de la couche de surface est plus élevée, les couleurs froides représentent les stations où l'épaisseur de la couche de surface est faible, alors que la couleur verte dénote des épaisseurs intermédiaires. Ainsi, les stations 7 et 9 (figure 4.1.5) présentent de façon générale une couche de surface plus épaisse que la moyenne. À l'inverse, les zones 10 et 11 présentent de façon générale une couche de surface plus mince que la moyenne.

Le polynôme spatial de la CP « salinité de la couche de surface » est représenté par la figure 4.1.6. La structure spatiale de cette dernière est très faible ($R^2 = 0,04$), mais le gradient qui va du nord (eau douce) vers le sud (eau salée) est tout de même significatif. Cette faible relation suggère que la dynamique de la salinité de l'eau de la couche de surface de l'embouchure de la rivière Romaine est beaucoup plus complexe qu'un simple gradient, qui ne rend compte que de 4 % de la variance observée à l'intérieur de la zone échantillonnée. Notons que ce gradient est décrit par un polynôme du 2^e degré et n'est pas linéaire.

La figure 4.1.7 illustre le polynôme spatial de la CP « température moyenne de la couche de surface ». Le coefficient de détermination s'élève à 0,12. Il s'agit d'une structure spatiale faible. Les couleurs chaudes illustrent des températures plus élevées que la moyenne et sont concentrées dans les zones de regroupement 7 et 9. À l'opposé, les couleurs froides illustrent des températures plus froides que la moyenne et sont concentrées dans les zones 1, 2 et 11. La couleur verte est associée aux zones de températures moyennes dans la zone de l'embouchure de la Romaine. Le polynôme spatial de cette CP permet donc de visualiser les zones où, de façon générale :

- l'influence des eaux de la Romaine prédomine dans le secteur des fosses, avec une température plus élevée de la couche de surface ;
- l'influence des eaux salées prédomine dans le secteur est, avec une température plus basse de la couche de surface ;
- l'influence des deux précédentes masses d'eau est alternée pour le reste de l'embouchure, avec une température de la couche de surface intermédiaire.

Le polynôme spatial de la CP « densité moyenne de la couche de surface » est représenté par la figure 4.1.8. Le coefficient de détermination s'élève à 0,10. Il s'agit encore une fois d'une structure spatiale faible. Les couleurs froides sont associées aux valeurs de densité plus fortes et ne se retrouvent que dans la zone 11. Cette zone semble présenter des eaux de surface qui combinent des températures plus basses et des valeurs de salinité plus élevées. Les autres zones de regroupement des stations présentent des valeurs de densité de la couche de surface plus uniformes.

4.1.1.3 Modèles de régression multiple pour la zone de l'embouchure de la Romaine

La présente section vise à expliquer la variance des $CP_{rés}$ à partir de variables telles que la date, le débit journalier de la rivière, le type et le stade de marée (tableau 4.1.2). Un modèle incluant un maximum de variables significatives a été produit pour chacune des cinq $CP_{rés}$ étudiées. De plus, des modèles de régression simple ont également été produits, qui permettent d'apprécier l'effet des variables explicatives prises une à une. Il est à noter que seuls les modèles significatifs ($p < 0,05$) ont été inclus dans le tableau 4.1.2.

TABEAU 4.1.2 Modèles de régression multiple et de régression simple entre les composantes principales et les variables explicatives pour la zone de l'embouchure de la rivière Romaine

Composantes principales corrigées pour la structure spatiale (résidus du polynôme spatial)	Modèles de régression avec les variables explicatives	R ² (n=254)	p	Figure
1° Stratification (de + vers -)	$CP_{rés\ 1} = 1,33E-02 \cdot \text{Jour julien} - 4,07E-05 \cdot \text{Jour julien}^2 + 1,03E-03 \cdot \text{Débit} + 0,334 \cdot \text{Type de marée} - 0,215 \cdot \text{Stade de marée} - 1,42$	0,27	< 0,001	4.1.9
	$CP_{rés\ 1} = 1,37E-03 \cdot \text{Débit} - 0,486$	0,18	< 0,001	
	$CP_{rés\ 1} = 2,17E-02 \cdot \text{Jour julien} - 6,42E-05 \cdot \text{Jour julien}^2 - 1,54$	0,09	< 0,001	
	$CP_{rés\ 1} = 0,319 \cdot \text{Type de marée} - 0,157$	0,03	< 0,01	
	$CP_{rés\ 1} = -0,182 \cdot \text{Stade de marée} + 1,82E-02$	0,03	< 0,01	
2° Épaisseur de la couche de surface (de - vers +)	$CP_{rés\ 2} = -3,32E-03 \cdot \text{Jour julien} - 0,182 \cdot \text{Stade de marée} + 0,591$	0,12	< 0,001	4.1.10
	$CP_{rés\ 2} = -3,43E-03 \cdot \text{Jour julien} + 0,592$	0,08	< 0,001	
	$CP_{rés\ 2} = -0,194 \cdot \text{Stade de marée} + 1,99E-02$	0,05	< 0,001	
	$CP_{rés\ 2} = -2,76E-01 \cdot \text{Type de marée} + 0,136$	0,03	< 0,01	
3° Salinité moyenne de la couche de surface (de - vers +)	$CP_{rés\ 3} = 2,68E-02 \cdot \text{Jour julien} - 6,3041E-04 \cdot \text{Jour julien}^2 - 1,92E-03 \cdot \text{Débit} - 0,11 \cdot \text{Stade de marée} - 1,77$	0,44	< 0,001	4.1.11
	$CP_{rés\ 3} = -1,65E-03 \cdot \text{Débit} + 0,587$	0,24	< 0,001	
	$CP_{rés\ 3} = 5,76E-02 \cdot \text{Jour julien} - 0,993$	0,16	< 0,001	
	$CP_{rés\ 3} = 1,58E-05 \cdot \text{Jour julien}^2 - 0,541$	0,15	< 0,001	
4° Température moyenne de la couche de surface (de + vers -)	$CP_{rés\ 4} = -5,23E-02 \cdot \text{Jour julien} + 1,30E-04 \cdot \text{Jour julien}^2 + 3,49E-04 \cdot \text{Débit} - 0,27 \cdot \text{Type de marée} + 4,55$	0,65	< 0,001	4.1.12
	$CP_{rés\ 4} = -4,81E-02 \cdot \text{Jour julien} + 1,16E-04 \cdot \text{Jour julien}^2 + 4,32$	0,64	< 0,001	
	$CP_{rés\ 4} = -0,389 \cdot \text{Type de marée} + 0,191$	0,04	< 0,001	
	$CP_{rés\ 4} = -4,07E-04 \cdot \text{Débit} + 0,145$	0,02	< 0,05	
5° Densité moyenne de la couche de surface (de + vers -)	$CP_{rés\ 5} = 1,6E-02 \cdot \text{Jour julien} - 3,91E-05 \cdot \text{Jour julien}^2 + 1,1E-03 \cdot \text{Débit} - 0,761 \cdot \text{type de marée} - 1,44$	0,34	< 0,001	4.1.13
	$CP_{rés\ 5} = 2,88E-02 \cdot \text{Jour julien} - 8,26E-05 \cdot \text{Jour julien}^2 - 2,13$	0,16	< 0,001	
	$CP_{rés\ 5} = 1,08E-03 \cdot \text{Débit} - 0,385$	0,12	< 0,001	
	$CP_{rés\ 5} = -0,597 \cdot \text{Type de marée} - 0,294$	0,11	< 0,001	

Jour julien : de 76 (16 mars) à 295 (21 octobre)
Type de marée : vives-eaux = 1 ; mortes-eaux = 0

Débit : de 151 m³/s à 1 246 m³/s
Stade de marée : marée basse = -1 ; transition = 0 ; marée haute = 1

4.1.1.4 Stratification du profil (CP_{rés} 1)

Modèle de régression multiple

Le modèle de régression multiple produit pour la CP_{rés} 1 comprend la date (exprimée par le jour julien et le jour julien élevé au carré), le débit quotidien, le type et le stade de marée. Ce modèle, d'un R² de 0,27, est très significatif ($p < 0,001$) (figure 4.1.9).

Ce modèle illustre la situation où l'observation d'une faible stratification dans la zone de l'embouchure de la Romaine est la plus probable : en période de crue (juin), lorsque le débit est plus fort, et à marée basse en période de vives-eaux. Il s'agit en fait de la situation où l'influence fluviale dans l'embouchure se fait la plus importante et l'influence tidale la plus faible. Cette situation implique essentiellement que le bas de la colonne d'eau est formé d'eau douce. À l'inverse, la situation où il est le plus probable d'observer une augmentation de la stratification dans la zone de l'embouchure est la suivante : en automne lorsque le débit est faible et à marée haute en période de mortes-eaux.

Cette situation automnale, à faible débit quotidien et en marée haute, est corrélée à des profils plus stratifiés, situation où le bas du profil est formé d'eau plus salée. L'effet de la période de mortes-eaux, qui vient compléter l'image de cette situation, n'est pas clair. Il peut s'agir d'une situation où un modèle de régression multiple introduit un biais dans l'analyse. En effet, il est possible que l'effet de la marée (basse ou haute) diffère selon que l'on soit en période de vives-eaux ou de mortes-eaux. D'un point de vue statistique, il s'agit d'une interaction significative entre les variables, or la modélisation par régression multiple n'en tient pas compte. Ainsi, il se peut que l'effet de la marée basse en vives-eaux sur la stratification soit beaucoup plus important que l'effet de la marée haute en vives-eaux, le premier effet l'emportant sur le deuxième. Cette hypothèse sera vérifiée ultérieurement à l'aide d'une analyse de covariance (section 4.1.6).

La figure 4.1.9 montre également que la situation se complexifie pour les situations intermédiaires où d'autres combinaisons de variables sont utilisées. Précisons encore une fois que le modèle présente des situations qui n'ont rien à voir avec la réalité, par exemple : des débits quotidiens de 1 000 m³/s au mois de mars et au mois d'octobre. Par conséquent, lors de l'interprétation du modèle, et tout en demeurant à l'intérieur de ses limites d'application, il faudrait considérer les différentes courbes comme des isolignes qui illustrent l'effet général des variables explicatives.

Modèles de régression simple

La stratification du profil est, de façon générale (tableau 4.1.2) :

- plus faible quand le débit quotidien est plus fort ($r^2 = 0,18$) ;
- plus faible en période de crue ($R^2 = 0,09$) ;
- plus faible en période de vives-eaux ($r^2 = 0,03$) ;
- plus faible à marée basse ($r^2 = 0,03$).

4.1.1.5 Épaisseur de la couche de surface (CP_{rés} 2)

Modèle de régression multiple

Le modèle de régression multiple produit pour la CP_{rés} 2 comprend la date et le stade de marée (tableau 4.1.2 ; $R^2 = 0,12$; $p < 0,001$). Ce modèle est illustré par la figure 4.1.10.

Ainsi, l'épaisseur de la couche de surface tend à s'atténuer au cours de la saison et en situation de marée haute. Il est à noter que dans ce modèle de l'épaisseur de la couche de surface, c'est le jour julien et non le débit quotidien qui est significatif. Cette situation peut s'expliquer par le fait que le jour julien permet de mieux intégrer la tendance saisonnière, par exemple : un épisode de crue suivi d'un épisode d'étiage. Cette information suggère qu'une courte période de faible ou de fort débit n'entraîne pas d'effet significatif sur l'épaisseur de la couche de surface dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine. Ainsi, la crue automnale parfois observée dans le système hydrique de la Romaine, n'aurait que peu d'effet sur l'épaisseur de la couche de surface dans la zone de l'embouchure. De plus, la hausse de l'épaisseur de la couche de surface en période de marée basse peut s'expliquer par le fait qu'un même volume d'eau douce s'écoule dans une section totale plus mince, puisque les battures sont mises à nue.

Modèles de régression simple

L'épaisseur de la couche de surface est, de façon générale (tableau 4.1.2) :

- atténuée au cours de la saison ($r^2 = 0,08$) ;
- plus élevée à marée basse ($r^2 = 0,05$) ;
- plus élevée en période de mortes-eaux ($r^2 = 0,03$).

4.1.1.6 Salinité de la couche de surface (CP_{rés} 3)

Modèle de régression multiple

Le modèle de régression multiple produit pour la CP_{rés} 3 comprend la date (jour julien et jour julien²), le débit et le stade de marée (tableau 4.1.2 ; $R^2 = 0,44$; $p < 0,001$). Ce modèle est illustré par la figure 4.1.11.

À la lumière de la figure 4.1.11, la salinité de la couche de surface dans la zone de l'embouchure devient plus importante :

- en période d'étiage (date moyenne du 3 août) ;
- quand le débit quotidien est faible ;
- à marée basse.

Ainsi, lorsque l'influence fluviale est au minimum, soit en étiage et à faible débit quotidien, la salinité de la couche de surface est plus élevée. La marée basse a également un faible effet à la hausse sur la salinité de la couche de surface. Cette situation peut s'expliquer par le fait qu'à marée basse, l'écoulement des eaux de la Romaine tend à se concentrer dans les chenaux de la zone de l'embouchure. Se faisant, les eaux plus salées qui étaient en contact avec le fond avant l'exondation des battures, s'écoulent plus lentement vers les chenaux, pour finalement enrichir les eaux de surface en eau plus salée.

Modèles de régression simple

La salinité de la couche de surface est, de façon générale (tableau 4.1.2) :

- plus forte quand le débit quotidien est faible ($r^2 = 0,24$),
- en augmentation au cours de la saison ($r^2 = 0,16$).

Bien que significatif dans le modèle de régression multiple, le stade de marée n'est plus significatif en régression simple. Il s'agit d'une situation où l'effet n'est pas significatif en régression simple ($r = -0,13$; $p > 0,05$), mais significatif en régression partielle ($r_{\text{partielle}} = -0,14$; $p < 0,05$) quand les autres variables sont constantes, ce qui lui permet d'être inclus dans le modèle de régression multiple. Au-delà de ces considérations statistiques, le stade de marée semble avoir en définitive un effet très marginal sur la salinité de la couche de surface.

4.1.1.7 Température de la couche de surface (CP_{rés} 4)

Modèle de régression multiple

Le modèle de régression multiple produit pour la CP_{rés} 4 inclut la date (jour julien et jour julien²), le débit et le type de marée (tableau 4.1.2 ; $R^2 = 0,65$; $p < 0,001$). Ce modèle est illustré par la figure 4.1.12.

Selon ce modèle, la température moyenne de la couche de surface dans la zone de l'embouchure de la Romaine atteint un maximum :

- vers le 24 juillet ;
- quand le débit quotidien est faible ;
- en période de vives-eaux.

La tendance saisonnière dans la température de la couche de surface est une relation attendue. De plus, une corrélation négative entre un débit quotidien de la rivière et une température plus froide de la couche de surface, vraisemblablement causée par la présence d'un couvert nuageux et à de

fortes précipitations, semble indiquer un échange thermique significatif à l'interface eau-atmosphère, à l'échelle de l'embouchure.

L'effet négatif de la période de mortes-eaux sur la température de la couche de surface semble à l'inverse indiquer un échange thermique significatif entre les couches de surface et de fond. En effet, en période de mortes-eaux, comme les fluctuations de marée sont plus faibles, on s'assure de la présence constante d'eau plus froide dans le bas du profil, laquelle offre une bonne surface d'échange entre les masses d'eau. Au contraire, en période de vives-eaux, bien qu'il y ait présence d'une masse d'eau au bas du profil à marée haute, cette masse devient beaucoup moins importante à marée basse, ce qui peut avoir comme effet de réduire la surface d'échange entre les deux masses. Au total, l'effet thermique de la masse d'eau salée en période de mortes-eaux serait celle d'un refroidissement.

Modèles de régression simple

La température de la couche de surface dans la zone de l'embouchure est, de façon générale (tableau 4.1.2) :

- plus forte vers la fin du mois de juillet ($R^2 = 0,64$) ;
- plus forte en période de vives-eaux ($r^2 = 0,04$) ;
- plus forte quand le débit quotidien est faible ($r^2 = 0,02$).

Donc, outre la forte tendance saisonnière observée, la période de vives-eaux et le débit quotidien de la rivière Romaine ont un effet très faible sur la température moyenne de la couche superficielle des eaux de l'embouchure de la rivière Romaine.

4.1.1.8 Densité de la couche de surface (CP_{rés} 5)

Modèle de régression multiple

Le modèle de régression multiple produit pour la CP_{rés} 5 comprend la date (jour julien et jour julien²), le débit et le type de marée (tableau 4.1.2 ; $R^2 = 0,34$; $p < 0,001$). Ce modèle est illustré par la figure 4.1.13.

Cette dernière figure permet de déterminer la situation où la densité de la couche de surface a le plus de chance d'être faible :

- vers la fin du mois de juillet ;
- quand le débit quotidien est élevé ;
- en période de mortes-eaux.

La densité de la couche de surface a été calculée à partir de la salinité et de la température. Il est donc normal que les variables explicatives incluses dans la modélisation de ces deux paramètres puissent se retrouver dans la modélisation de la densité.

En ce qui concerne la tendance saisonnière de la densité, il semble que l'effet de la température l'emporte sur l'effet de la salinité. En effet, la salinité et la température sont toutes deux plus importantes en été, mais seule une hausse de la température a un effet à la baisse sur la densité.

À l'inverse, une baisse de la densité de l'eau dans la zone de l'embouchure, quand le débit quotidien est plus fort, peut être attribuable à une baisse de la salinité dans pareille circonstance, donc à un effet fluvial plus important.

En période de vives-eaux, la densité moyenne de la couche de surface tend à être plus élevée. Étrangement, la salinité ne présente pas la même relation, alors que la température tend à être plus élevée en période de vives-eaux. Une hausse de la densité de l'eau en période de vives-eaux peut donc être attribuable à une hausse de la température de l'eau.

Modèles de régression simple

La densité moyenne de la couche de surface dans la zone de l'embouchure est, de façon générale (tableau 4.1.2) :

- plus faible vers la fin de juillet ($R^2 = 0,16$) ;
- plus faible quand le débit quotidien est élevé ($r^2 = 0,12$) ;
- plus faible en période de mortes-eaux ($r^2 = 0,11$).

4.1.2 Analyse objective des profils CTD dans le chenal de Mingan


4.1.2.1 Analyse en composantes principales

L'ACP des 12 descripteurs des profils CTD du chenal de Mingan a permis de dégager 3 CP dont la valeur propre est supérieure à 1 : CP1 (7,27), CP2 (1,66) et CP3 (1,16). La part de la variance expliquée par les trois premières CP est respectivement de 61 %, de 14 % et de 10 %. Les trois premières CP totalisent donc 84 % de la variance contenue dans la matrice des 12 descripteurs.


L'interprétation des CP a été réalisée en fonction de l'intensité entre les coordonnées des descripteurs dans le système des cinq axes formés par les CP retenues (tableau 4.1.3). Les figures 4.1.14 et 4.1.15 illustrent les descripteurs dans l'espace formé par les trois premiers axes principaux. Afin de simplifier la présentation, les descripteurs les plus importants sont présentés dans deux plans. Les cercles de contribution équilibrée des descripteurs sont illustrés en gris et confirment la contribution significative des descripteurs dans l'espace réduit.

TABEAU 4.1.3 Coordonnées des descripteurs dans le système des trois axes formés par les composantes principales retenues pour la zone du chenal de Mingan


Descripteurs	Composantes principales		
	1 (60,6 %)	2 (13,8 %)	3 (9,6 %)
Densité de la couche de surface	0,94	0,02	-0,28
Salinité de la couche de surface	0,93	0,01	-0,32
Différence de densité entre la surface et le fond	-0,93	0,11	0,29
Différence de la salinité entre la surface et le fond	-0,90	0,16	0,35
Catégorie de stratification	-0,89	0,26	0,08
Écart-type de la densité de la couche de surface	0,78	0,48	0,23
Écart-type de la température de la couche de surface	0,78	0,49	0,11
Écart-type de la salinité de la couche de surface	0,76	0,52	0,26
Différence de température entre la surface et le fond	0,71	-0,47	0,40
Valeur du BV max	-0,62	0,49	-0,10
Température de la couche de surface	-0,58	0,32	-0,66
Profondeur du BV max	0,21	0,50	0,11

 De 0,99 à 0,90


1 : Salinité de la couche de surface


 De 0,89 à 0,80

2 : Épaisseur de la couche de surface

 De 0,79 à 0,70

3 : Température de la couche de surface

 De 0,69 à 0,60

 De 0,59 à 0,50

L'observation du tableau 4.1.3 et des figures 4.1.14 et 4.1.15 permet l'interprétation des CP. Le tableau A3 (annexe 1.3) présente la description détaillée des CP selon les descripteurs qui leur sont associés.

4.1.2.2 Structure spatiale des composantes principales

Afin de détecter des tendances générales dans la structure spatiale pour les trois CP retenues, un polynôme spatial a été construit pour chacune d'elles (voir la section 2.5.1.2). Le tableau A4 présente les termes significatifs du polynôme spatial qui décrit la structure spatiale des composantes principales (annexe 1.4). Le polynôme spatial des première et troisième CP a été illustré à l'aide d'une mosaïque de couleurs qui représentent les niveaux d'intensité de la CP.

La figure 4.1.16 illustre le polynôme spatial de la CP « salinité de la couche de surface » pour le chenal de Mingan. Le coefficient de détermination s'élève à 0,17. Il s'agit donc d'une structure spatiale plutôt faible. Les couleurs chaudes représentent les zones de plus forte salinité, les couleurs froides représentent les zones de plus faible salinité, alors que la couleur verte indique des niveaux de salinité intermédiaires. L'examen de cette dernière figure suggère que l'influence de la Romaine sur les eaux de surface dans le chenal de Mingan est supérieure dans la portion nord-ouest et inférieure dans la portion est.

La figure 4.1.17 illustre le polynôme spatial de la CP « température de la couche de surface » pour le chenal de Mingan. Le coefficient de détermination n'est que de 0,04. Il s'agit donc d'une structure spatiale très faible, mais significative. La couleur bleue représente les zones à température plus élevée, alors que la couleur verte dénote des zones de température plus basse. Ainsi, il semble y avoir un léger gradient de l'est vers l'ouest, qui suggère un accroissement de la température moyenne de la couche de surface. La structure spatiale de cette CP concorde avec la première CP, et elles suggèrent toutes deux qu'en général, les eaux de la Romaine ont plus d'influence sur la couche de surface de la portion ouest du chenal de Mingan.

4.1.2.3 Modèles de régression multiple pour la zone du chenal de Mingan

La présente section vise à lier les descripteurs des profils CTD à des variables explicatives (2.5.1.3) à l'aide de la régression multiple.

Tout comme pour l'analyse de la zone de l'embouchure, une ACP a réduit les 12 descripteurs à 3 CP (section 4.1.2.1). Ensuite, la présence d'une structure spatiale pour les CP a été vérifiée à l'aide d'un polynôme spatial (section 4.1.2.2). Finalement, l'utilisation des résidus d'un polynôme spatial permet de retirer, le cas échéant, la tendance spatiale de la CP étudiée. L'étape suivante consiste à expliquer la variance restante à partir de variables telles que la date, le débit journalier de la rivière, le type de marée et le stade de marée.

Les modèles de régression multiple entre les composantes principales corrigées ($CP_{rés}$) et les variables explicatives sont présentés dans le tableau 4.1.4. Un modèle incluant un maximum de variables significatives a été produit pour chacune des $CP_{rés}$ étudiées. De plus, des modèles de régression simple ont été produits, qui permettent d'apprécier l'effet des variables explicatives prises une à une. Il est à noter que seuls les modèles significatifs ($p < 0,05$) ont été inclus dans le tableau 4.1.4.

4.1.2.4 Salinité de la couche de surface ($CP_{rés}$ 1)

Une fois la structure spatiale de la salinité de la couche de surface retirée, aucun modèle significatif de régression multiple ou simple n'a pu être produit (tableau 4.1.4). Ainsi, la salinité de la couche de surface, pour la zone du chenal de Mingan couverte par l'échantillonnage de la présente étude, n'est liée ni à une tendance saisonnière, ni au débit quotidien de la rivière Romaine, ni au stade ou au type de marée.

TABEAU 4.1.4 Relation entre les composantes principales des variables descriptives et les variables explicatives, zone du chenal de Mingan

Composantes principales corrigées pour la structure spatiale (résidus du polynôme spatial)	Modèles de régression avec les variables explicatives	R ² (n=120)	p	Figure
1° Salinité de la couche de surface (de - vers +)	Aucun modèle significatif			
2° Profondeur de la pycnocline (de - vers +)	CP 2 = 9,696E-02·jour julien - 2,7605E-04·jour julien ² - 1,4064E-03·débit - 7,1890	0,27	< 0,001	4.1.18
	CP 2 = 7,0726E-02·jour julien - 2,0278E-04·jour julien ² - 6,1412	0,21	< 0,001	
3° Température moyenne de la couche de surface (de + vers -)	CP _{rés} 3 = - 7,500E-02·jour julien + 1,6372E-04·jour julien ² + 1,0058E-03·débit - 0,19843·stade de marée + 6,1913	0,59	< 0,001	4.1.19
	CP _{rés} 3 = - 5,5864E-02·jour julien - 1,0331E-04·jour julien ² + 6,0425	0,54	< 0,001	
	CP _{rés} 3 = - 0,20479·stade de marée - 2,7306E-02	0,03	< 0,05	

Jour julien : de 77 (17 mars) à 281 (7 octobre)

Débit : de 153 m³/s à 1246 m³/s

Stade de marée : marée basse = -1 ; transition = 0 ; marée haute = 1

4.1.2.5 Profondeur de la pycnocline (CP_{rés} 2)

Modèle de régression multiple

Le modèle de régression multiple produit pour la CP_{rés} 2 comprend la date (jour julien et jour julien²) et le débit quotidien de la Romaine (tableau 4.1.4 ; $R^2 = 0,27$; $p < 0,001$). Ce modèle est illustré par la figure 4.1.18.

Cette figure permet d'illustrer la situation où il est le plus probable que la pycnocline se retrouve à une profondeur plus grande :

- à la date du 24 juin (environ deux semaines après le passage de la crue printanière) ;
- quand le débit quotidien est faible.

Un abaissement de la pycnocline dans la colonne d'eau peut être attribuable à l'apparition d'une couche d'eau intermédiaire dans le chenal de Mingan, tôt après le passage de la crue printanière. Il est important de rappeler que la modélisation présente des situations non observées en situation naturelle, telle qu'un débit de 200 m³/s en période de crue. L'interprétation doit donc être prudente ; il faut y voir l'effet général d'un débit quotidien fort ou faible.

Il est possible que cet effet du débit quotidien soit une corrélation observée par hasard (biais statistique) ou liée à l'échantillonnage, car l'établissement d'une couche d'eau intermédiaire est un processus qui s'installe à l'échelle temporelle d'une crue (quelques semaines), avec un déphasage temporel (près de deux semaines), et non en temps réel.

Modèle de régression simple

En régression simple, la profondeur de la pycnocline n'est corrélée qu'à une tendance saisonnière ($R^2 = 0,21$) parmi les variables testées. Ainsi, la profondeur de la pycnocline dans le chenal de Mingan n'est pas corrélée de façon significative au débit quotidien de la rivière Romaine ($r^2 = 0$).

4.1.2.6 Température de la couche de surface (CP_{rés} 3)

Modèle de régression multiple

Le modèle de régression multiple produit pour la CP_{rés} 3 comprend la date (jour julien et jour julien²), le débit quotidien de la Romaine et le stade de marée (tableau 4.1.4 ; $R^2 = 0,59$; $p < 0,001$). Ce modèle est illustré par la figure 4.1.19.

La figure 4.1.19 représente la situation où la température de la couche de surface des eaux du chenal de Mingan atteint en moyenne une valeur maximale :

- en date du 23 août ;
- quand le débit quotidien est faible ;
- à marée haute.

La température moyenne de la couche de surface dans la zone du chenal de Mingan suit essentiellement une tendance saisonnière ; elle atteint en moyenne son maximum vers le 23 août, soit près d'un mois plus tard que dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine (24 juillet). Parallèlement à la situation observée dans la zone de l'embouchure, une corrélation négative entre un débit quotidien de la rivière et une température plus froide de la couche de surface, vraisemblablement causée par la présence d'un couvert nuageux et de fortes précipitations, semble indiquer un échange thermique significatif à l'interface eau-atmosphère à l'échelle du chenal de Mingan en relation avec le climat. Finalement, l'observation de températures plus élevées à marée haute peut s'expliquer par la présence de courants d'advection des eaux côtières en provenance de l'est, alors que les températures plus basses observées à marée basse semblent liées aux courants d'advection des eaux côtières de l'ouest refroidies par la remontée des eaux froides.

Modèles de régression simple

La température de la couche de surface est, de façon générale (tableau 4.1.4) :

- maximale vers le 23 août ($R^2 = 0,54$),
- plus faible à marée basse ($r^2 = 0,03$).

4.1.3 Analyse combinée de la zone de l'embouchure de la Romaine et du chenal de Mingan

4.1.3.1 Corrélations de la salinité et de la distance

L'analyse combinée de la zone de l'embouchure de la Romaine et du chenal de Mingan a été réalisée à l'aide de la salinité de la couche de surface. De toute évidence, cette variable est corrélée avec la distance de l'embouchure de la rivière Romaine. Toutefois, cette relation subit l'influence fluviale de la rivière Romaine ainsi que l'influence tidale provenant du large. La combinaison des valeurs de la salinité de la couche de surface qui provient de la zone de l'embouchure de la Romaine et de celle de la zone du chenal de Mingan a permis des analyses de covariance avec 374 valeurs de salinité de la couche de surface.

Le diagramme de dispersion de la salinité de la couche de surface et de la distance de l'embouchure de la rivière Romaine (km) confirme la corrélation positive entre les variables (figure 4.1.20 ; corrélation des variables transformées en logarithme naturel, $r^2 = 0,25$; $p < 0,001$; $n = 374$). Il s'agit toutefois d'une faible corrélation, où la distance de l'embouchure n'explique que 25 % de la variance de la salinité de la couche de surface. Le polygone délimité par un trait gris délimite la dispersion des points et permet de bien la visualiser.

La salinité de la couche de surface a varié de 0 à 10 psu à une distance de 150 m de l'embouchure de la Romaine. À une distance comprise entre 1 et 3 km, la salinité de la couche de surface a varié de 0 à 31,8 psu. À partir de 4 km, la couche de surface tend à ne plus présenter que de fortes valeurs de salinité.

4.1.3.2 Analyse de covariance – type et stade de marée

La figure 4.1.21 présente les six relations salinité–distance définies par les types et les stades de marée. Notons que les variables ont subi la transformation logarithmique et que les huit relations sont significatives ($p < 0,01$). Sur ce graphique, les codes suivants ont été utilisés :

- VE pour vives eaux ;
- ME pour mortes-eaux ;
- T pour transition ;
- MB pour marée basse ;
- MH pour marée haute.

La description détaillée des résultats de l'analyse de covariance est présentée à l'annexe 1.5.1.

De façon générale, dans la zone de l'embouchure et le chenal de Mingan, la salinité de la couche de surface est supérieure en période de vives-eaux. Plus précisément, c'est lorsque la marée est en vives-eaux et en transition que les eaux de surface sont plus salées. Un phénomène de cisaillement entre les masses d'eau, qui contribuerait à leur mélange, peut certainement être à l'origine de cette observation.

L'interaction significative du modèle de covariance indique que les effets du type de marée et du stade de marée sur la salinité de la couche de surface, ne sont pas les mêmes selon que l'on est dans l'embouchure de la Romaine ou dans le chenal de Mingan (la distance). En effet, les masses d'eau en présence ne le sont pas dans les mêmes proportions et les mécanismes qui contribuent à leur mélange diffèrent.

4.1.3.3 Analyse de covariance – classe de débit

La figure 4.1.22 présente les trois relations salinité-distance définies par les classes de débit de la rivière Romaine. Notons que les variables ont subi la transformation logarithmique et que les trois relations sont significatives ($p < 0,001$).

La description détaillée des résultats de l'analyse de covariance est présentée à l'annexe 1.5.2.

De façon générale, dans la zone de l'embouchure de la Romaine et du chenal de Mingan, la salinité de la couche de surface augmente avec la distance de l'embouchure ; de même lorsque le débit de la rivière est faible. Toutefois, la relation entre la salinité et la distance n'est pas la même selon le débit quotidien de la rivière. L'examen de la figure 4.1.22 suggère que, de façon générale, l'influence du débit de la rivière Romaine sur son embouchure et sur le chenal de Mingan est maximale lorsque le débit est supérieur à $500 \text{ m}^3/\text{s}$, à une distance de moins de 3 km. Au-delà de cette distance, les trois relations salinité-distance se recourent.

4.1.4 Bilan de l'analyse objective

4.1.4.1 Contexte

L'analyse objective des profils CTD a permis d'identifier les grandes tendances spatio-temporelles des caractéristiques des masses d'eau, sur la base de 18 descripteurs, à travers toute une série de profils mesurés sur plusieurs années et à différents moments du stade de la marée et du régime hydrologique. Cette approche de traitement statistique a permis d'identifier les principaux phénomènes affectant les propriétés physiques de la colonne d'eau dans la zone de l'embouchure et dans le chenal de Mingan dans une moindre mesure. Les processus hydrologiques et océanographiques qui régissent les phénomènes observés peuvent ainsi être décrits pour la zone de l'embouchure et le chenal de Mingan.

4.1.4.2 Zone de l'embouchure

Stratification du profil

L'intensité de la stratification de la colonne d'eau diminue en fonction de la distance à l'embouchure de la rivière Romaine. Cette tendance spatiale est modulée par le régime hydrologique et le stade de la marée. Globalement, la colonne d'eau est stratifiée plus fortement près de l'embouchure où les apports d'eau douce affectent une plus petite superficie alors que la colonne d'eau devient plus homogène en périphérie de la zone de l'embouchure. L'influence fluviale est plus grande au printemps et se traduit par une diminution de l'intensité de la stratification. L'importance relative plus grande de l'influence fluviale sur la stratification est observée lorsque la marée est basse, donc sur une base quotidienne, et surtout en vives-eaux.

Épaisseur de la couche de surface

De façon générale, l'épaisseur de la couche de surface dans les chenaux ouest et central est plus grande que dans le chenal est. Cela démontre l'influence relative plus faible des apports d'eau douce dans le secteur est, où l'on observe la zostère, plante halophyle ou halophyte. L'épaisseur de la couche de surface est plus grande plus on s'approche des fosses aux pieds des chutes où l'influence des apports fluviaux se fait sentir sur une plus petite superficie. La diminution de l'épaisseur de la couche de surface durant la saison s'explique par la diminution du débit d'eau douce où un plus petit volume d'eau occupe la superficie de la zone de l'embouchure. De même, la diminution de l'épaisseur de la couche de surface à marée haute s'explique par un étalement sur les battures exondées à marée basse, l'augmentation de la superficie mouillée augmentant considérablement.

Salinité de la couche de surface

La salinité de la couche de surface montre un faible gradient décroissant amont-aval dans la zone de l'embouchure et une augmentation lorsque le débit de la rivière diminue. Cela démontre encore le jeu saisonnier du forçage par les apports fluviaux et l'intrusion saline. La zone de l'embouchure doit être considérée comme un milieu où l'influence de l'intrusion saline gagne en importance après la crue jusqu'à affecter les caractéristiques physiques de toute la colonne d'eau.

Température de la couche de surface

La température de la couche de surface dans les fosses aux pieds des chutes de la rivière Romaine est généralement plus chaude qu'ailleurs dans la zone de l'embouchure et témoigne de l'influence prépondérante de la source principale. En périphérie de la zone de l'embouchure, les eaux sont généralement plus froides à cause de la proximité de l'immense masse d'eau froide du chenal de Mingan. La température la plus chaude dans la zone de l'embouchure est généralement atteinte autour du 24 juillet. Même si la crue est terminée à la mi-juin, l'augmentation de la température serait attribuable aux apports fluviaux encore importants durant la décrue et aux conditions atmosphériques qui réchauffent un milieu peu profond où une bonne partie du substrat est exondée à marée basse.

Densité de la couche de surface

À cet égard, les eaux de surface de l'extrémité du chenal est se démarquent des eaux du reste de l'embouchure par des valeurs de densité généralement plus élevées. Cette zone combine des eaux plus salées et plus froides. À l'échelle de l'embouchure, la densité de la couche de surface tend à être plus faible vers la fin du mois de juillet, une hausse de la température diminuant la densité de l'eau. De plus, la densité de la couche de surface est plus faible lorsque le débit quotidien de la Romaine est plus élevé.

4.1.4.3 Zone du chenal de Mingan

Salinité de la couche de surface

De façon générale, la salinité de la couche supérieure à l'échelle du chenal de Mingan est inférieure dans la portion nord-ouest et supérieure dans la portion est. L'influence de la Romaine sur les eaux de surface est plus importante à proximité de la sortie des chenaux ouest et central, pour ensuite s'atténuer avec l'éloignement de la Romaine. Par ailleurs, la salinité de la couche de surface dans la zone du chenal de Mingan n'est pas reliée à une tendance saisonnière telle une crue printanière suivie d'un étiage estival. De plus, elle n'est pas influencée par le débit quotidien de la rivière Romaine et est indépendante de l'influence tidale. La salinité de la couche de surface dans le chenal de Mingan varie principalement en fonction de la distance à l'embouchure de la Romaine. Il est indéniable que l'augmentation de la salinité dans la couche de surface en fonction de la distance à l'embouchure témoigne du mélange graduel de l'eau douce et de l'eau du golfe du Saint-Laurent. L'absence de relation avec le débit est paradoxale, mais peut s'expliquer par l'importance relative beaucoup plus grande des processus de mélange et de dispersion du panache dans le chenal de Mingan. D'ailleurs, les observations visuelles et les mesures de certains traceurs du panache (section 4.2) montrent que celui-ci, bien que pouvant s'étendre loin de l'embouchure, n'affecte pas la totalité ni même la majeure partie de la superficie du chenal de Mingan.

Épaisseur de la couche de surface

L'épaisseur de la couche de surface est plus importante après le passage d'une crue printanière, situation attribuable au passage d'un grand volume d'eau. Cette relation témoigne de la présence d'un panache qui s'amincit avec la diminution du débit et des apports d'eau douce.

Température de la couche de surface

Des eaux légèrement plus chaudes se retrouvent dans la zone nord-ouest contrastant avec les eaux de la zone est, lesquelles sont légèrement plus froides. Cette situation corrobore l'observation faite sur la salinité de la couche de surface selon laquelle l'influence de la Romaine sur les eaux de surface est plus importante à proximité de la sortie des chenaux ouest et central, pour ensuite s'atténuer avec l'éloignement de la Romaine. La tendance saisonnière de la température de la couche de surface indique que le maximum est atteint vers le 23 août, soit près d'un mois plus tard que dans la zone de l'embouchure de la Romaine, indiquant une discontinuité entre les deux milieux. L'écart d'un mois entre les dates où la température est plus élevée peut s'expliquer par l'importance relative plus faible des apports d'eau douce à partir de la fin juillet et l'influence plus grande des eaux marines froides du chenal de Mingan sur les conditions de température dans la zone de l'embouchure. L'augmentation subséquente de la température de surface du chenal serait attribuable au réchauffement saisonnier de la couche de surface du golfe du Saint-Laurent. De plus, la température de la couche de surface des eaux du chenal de Mingan est influencée à la baisse en période de marée basse à cause des courants d'advection froids provenant de l'ouest.

4.1.4.4 Analyse combinée de la zone de l'embouchure et du chenal de Mingan

La relation entre la salinité de la couche de surface et la distance de l'embouchure subit d'importantes modifications selon les influences de la marée et les influences fluviales de la Romaine. De façon générale, à l'échelle de la zone de l'embouchure et du chenal de Mingan, la salinité de la couche de surface est supérieure en période de vives-eaux. Plus précisément, c'est lorsque la marée est en vives-eaux et en transition que la salinité de la couche de surface est la plus importante, situation où le cisaillement entre les masses d'eau superposées devient très important. De plus, l'influence du débit quotidien de la Romaine sur la salinité des eaux de surface de son embouchure et du chenal de Mingan se limite à des débits supérieurs à 500 m³/s et à l'intérieur des trois premiers kilomètres.

FIGURE 4.1.1 Plan formé par les deux premiers axes principaux pour la zone de l'embouchure de la Romaine

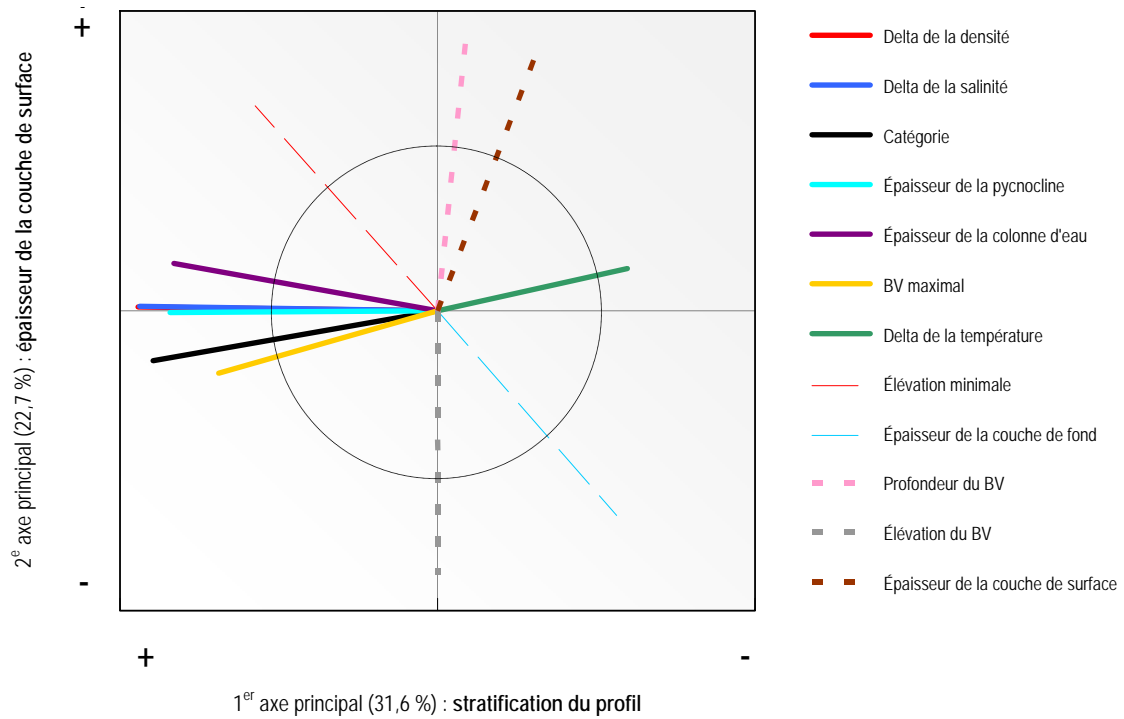


FIGURE 4.1.2 Plan formé par les premier et troisième axes principaux pour la zone de l'embouchure de la Romaine

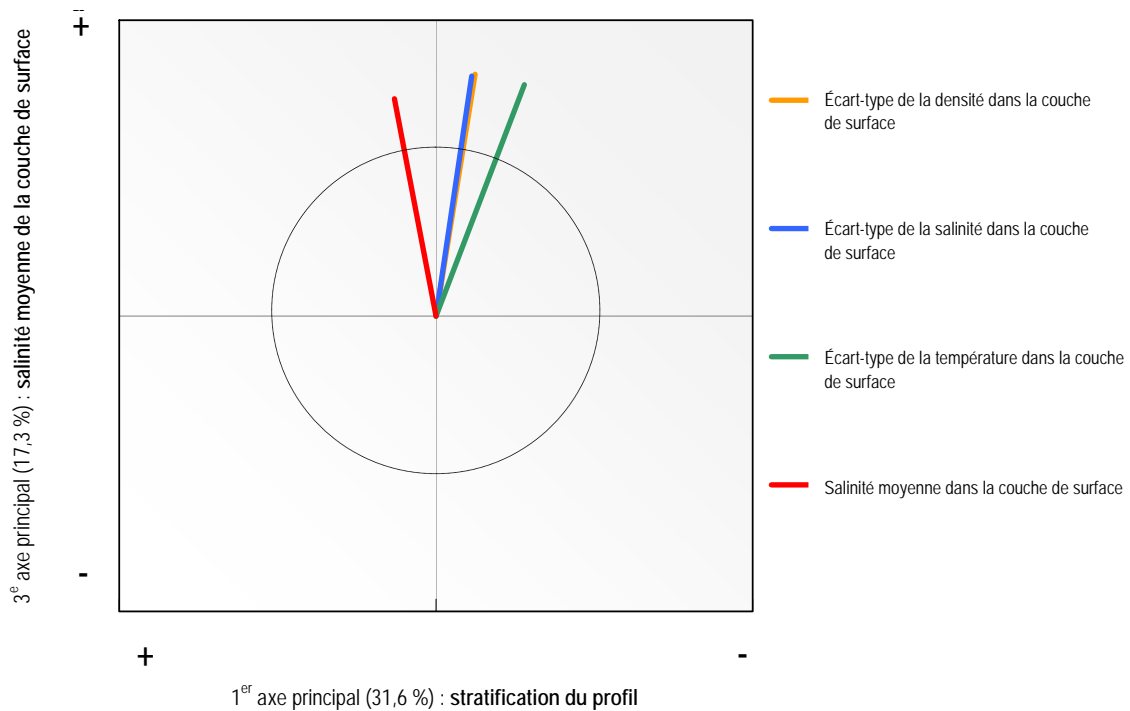


FIGURE 4.1.3 Plan formé par les quatrième et cinquième axes principaux pour la zone de l'embouchure de la Romaine

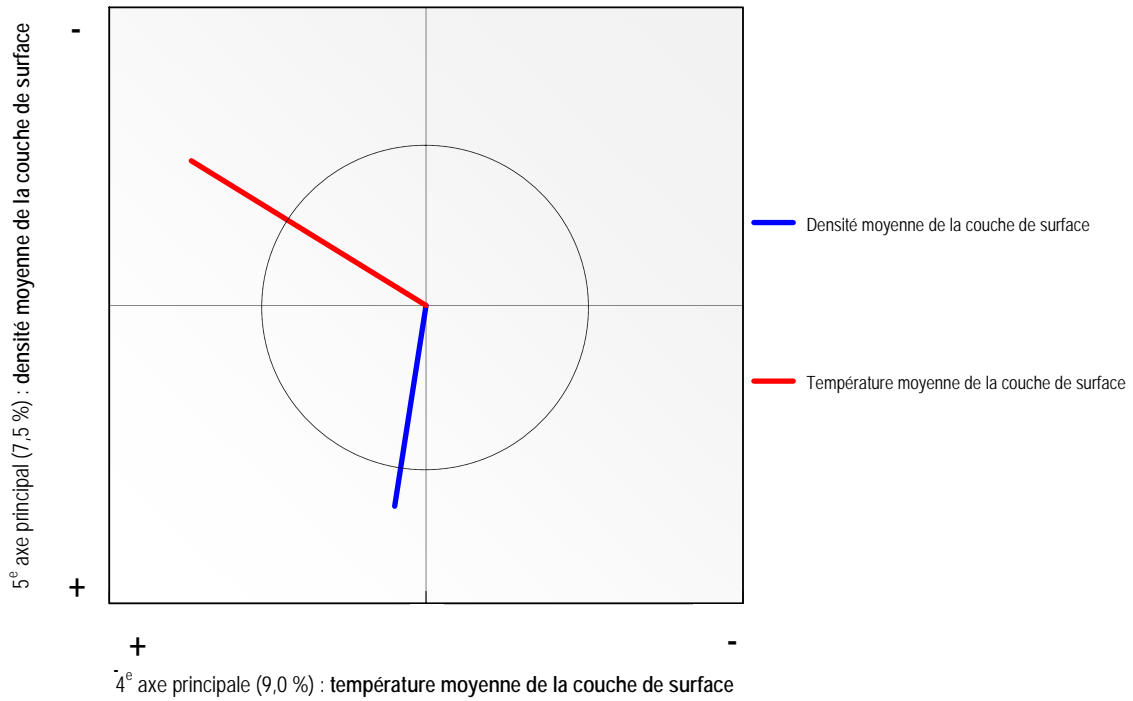


FIGURE 4.1.4 Polynôme spatial de la première composante principale ($R^2 = 0,13$; $p < 0,001$)

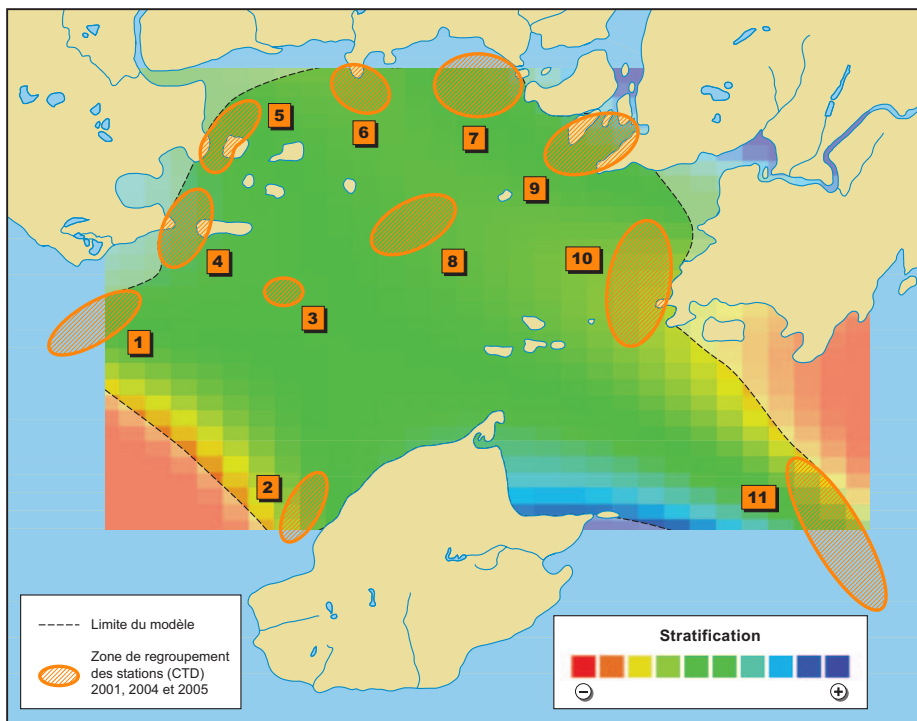


FIGURE 4.1.5 Polynôme spatial de la deuxième composante principale ($R^2 = 0,34$; $p < 0,001$)

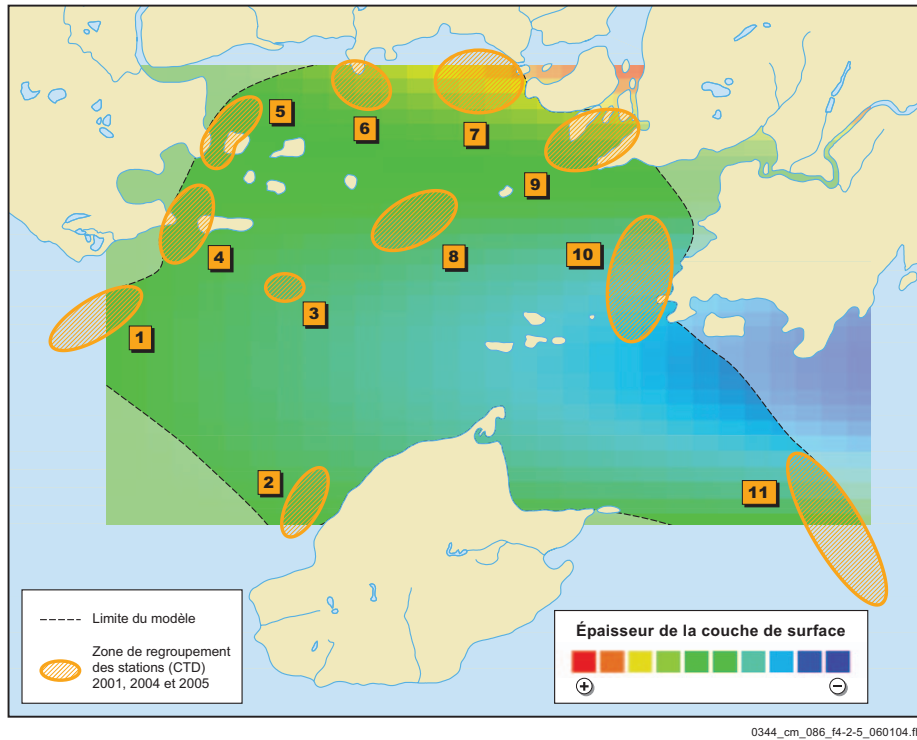


FIGURE 4.1.6 Polynôme spatial de la troisième composante principale ($R^2 = 0,04$; $p < 0,01$)

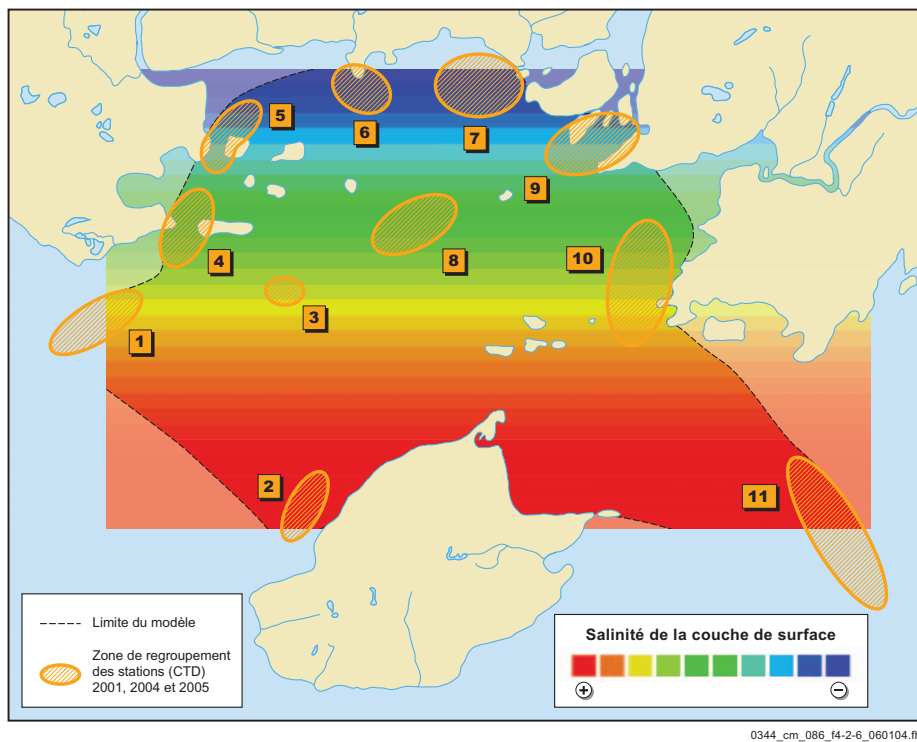


FIGURE 4.1.7 Polynôme spatial de la quatrième composante principale ($R^2 = 0,12$; $p < 0,001$)

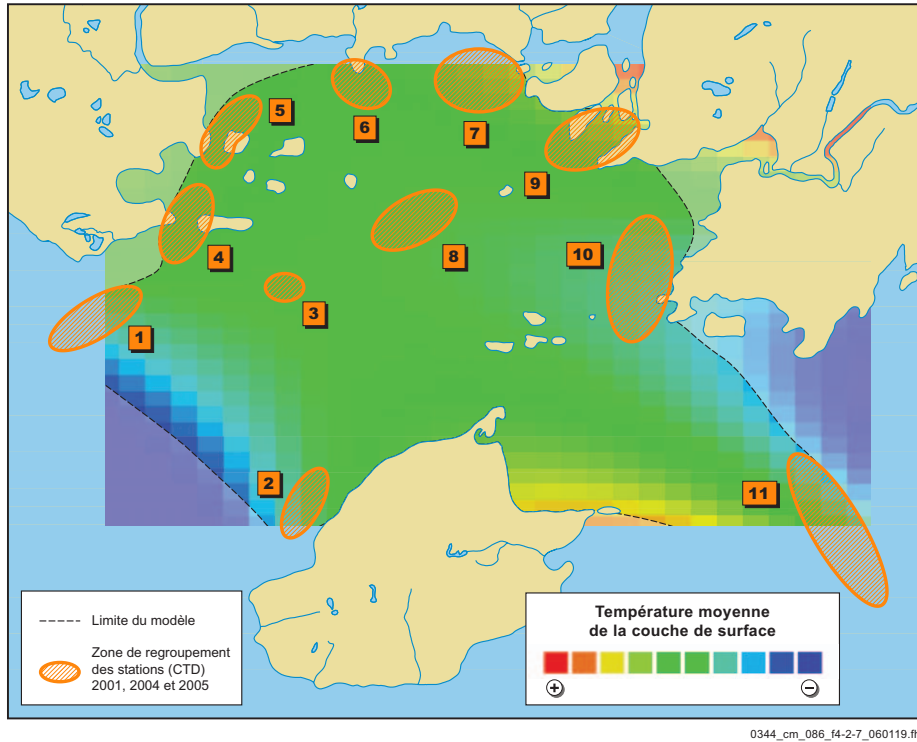


FIGURE 4.1.8 Polynôme spatial de la cinquième composante principale ($R^2 = 0,10$; $p < 0,001$)

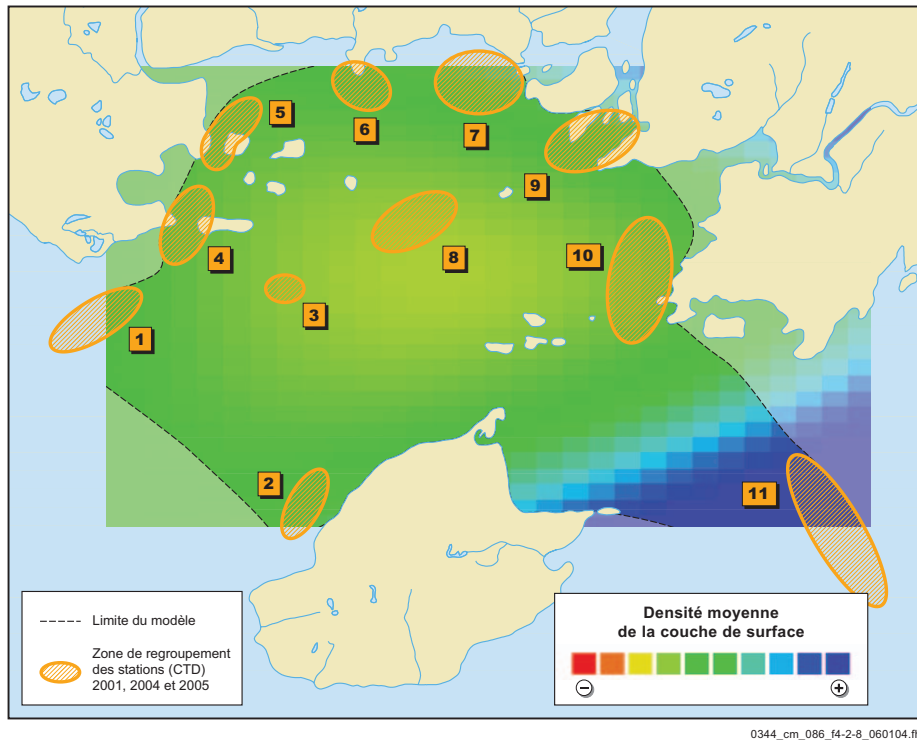


FIGURE 4.1.9 Illustration du modèle de régression multiple de la stratification en fonction de la date, du débit quotidien, du type et du stade de marée pour la zone de l’embouchure de la rivière Romaine

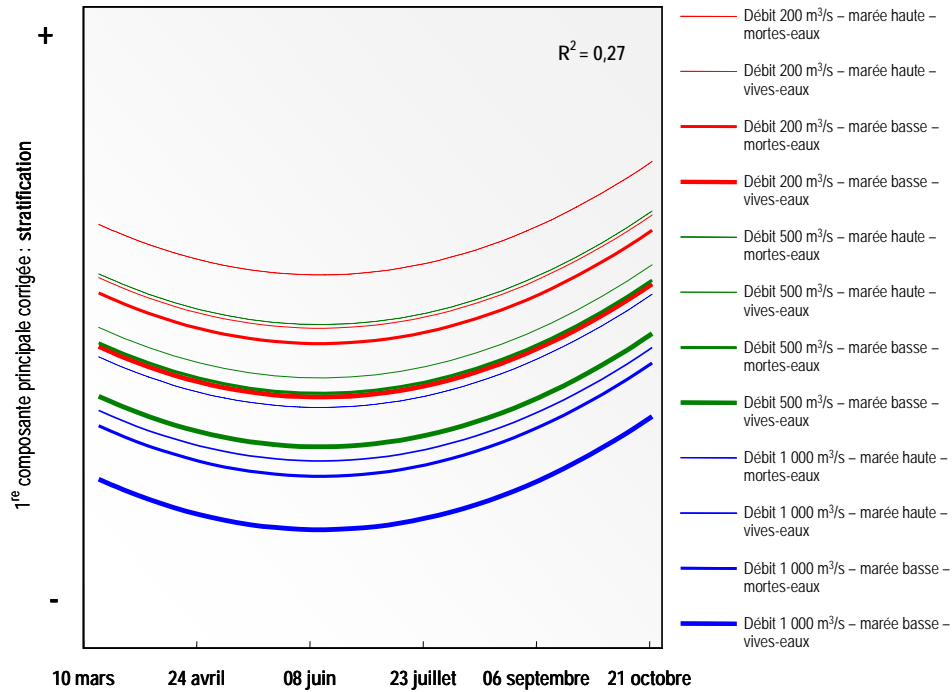


FIGURE 4.1.10 Illustration du modèle de régression multiple de l’épaisseur de la couche de surface en fonction de la date et du stade de marée pour la zone de l’embouchure de la rivière Romaine

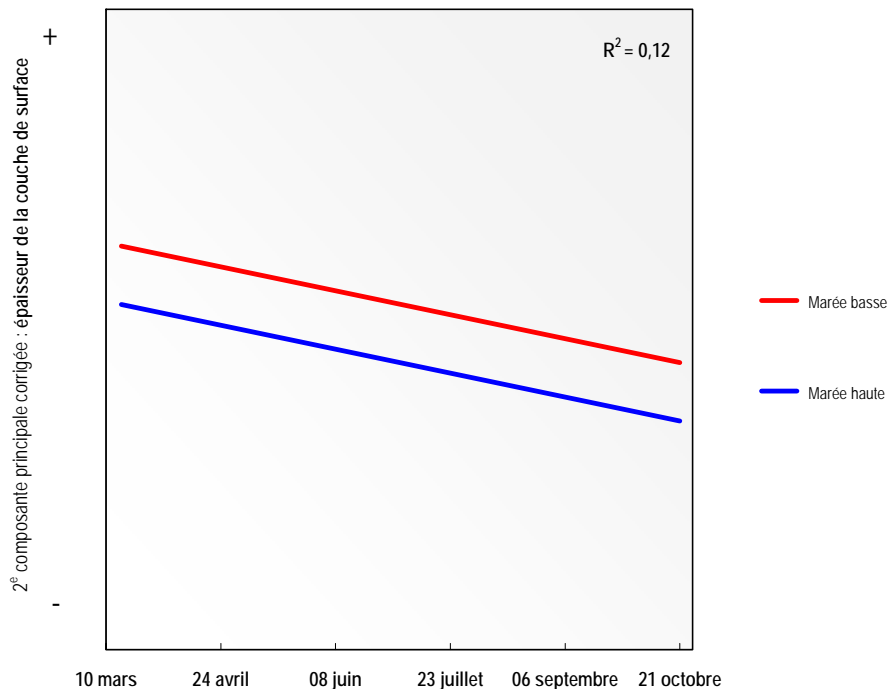


FIGURE 4.1.11 Illustration du modèle de régression multiple de la salinité de la couche de surface en fonction de la date, du débit quotidien et du stade de marée pour la zone de l'embouchure de la rivière Romaine

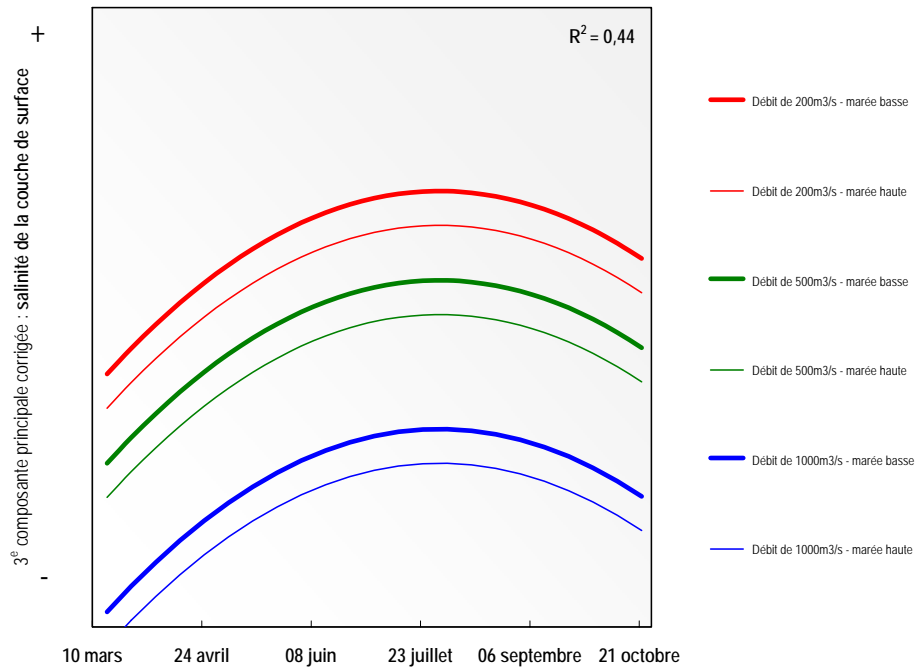


FIGURE 4.1.12 Illustration du modèle de régression multiple de la température de la couche de surface en fonction de la date, du débit quotidien et du type de marée pour la zone de l'embouchure de la rivière Romaine

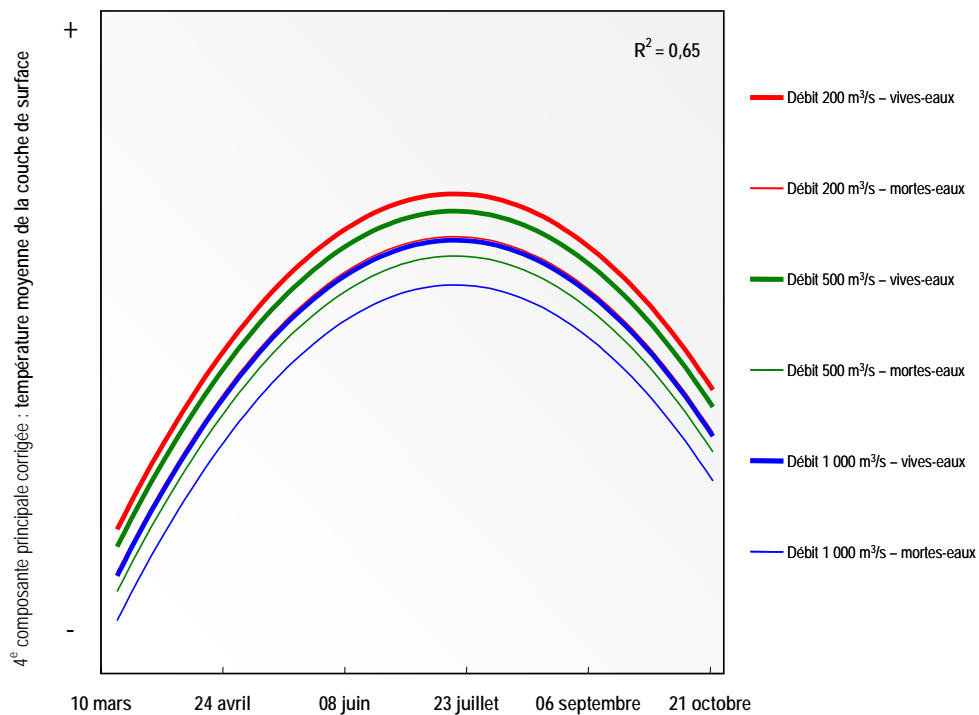


FIGURE 4.1.13 Illustration du modèle de régression multiple de la densité de la couche de surface en fonction de la date, du débit quotidien et du type de marée pour la zone de l'embouchure de la rivière Romaine

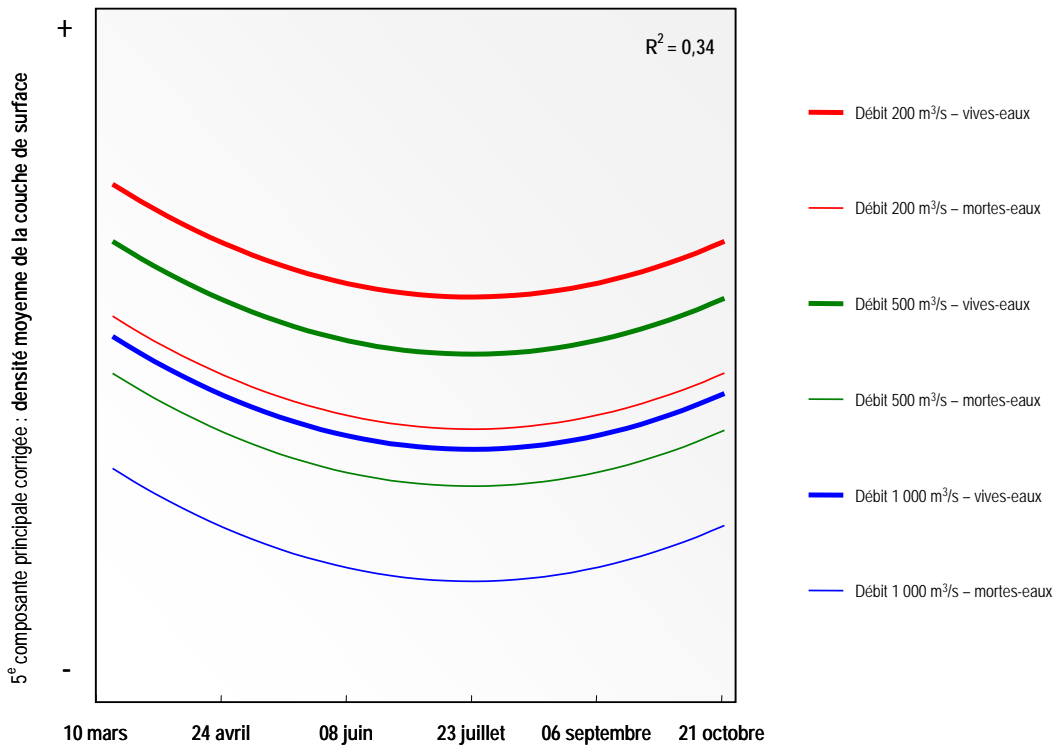


FIGURE 4.1.14 Plan formé par les deux premiers axes principaux pour la zone du chenal de Mingan

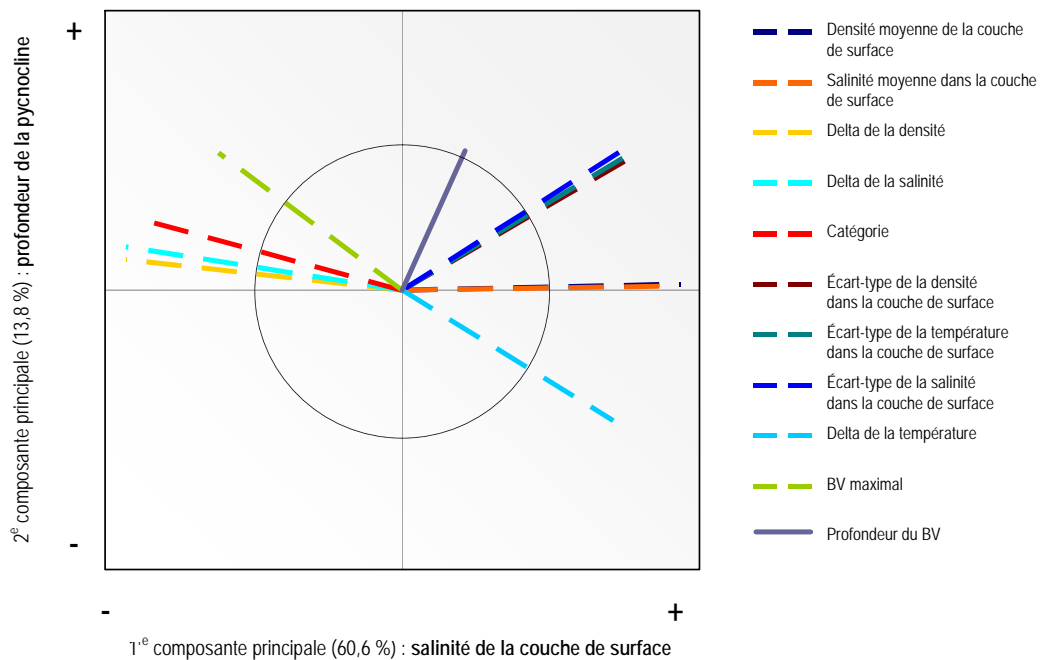


FIGURE 4.1.15 Plan formé par les premier et troisième axes principaux pour la zone du chenal de Mingan

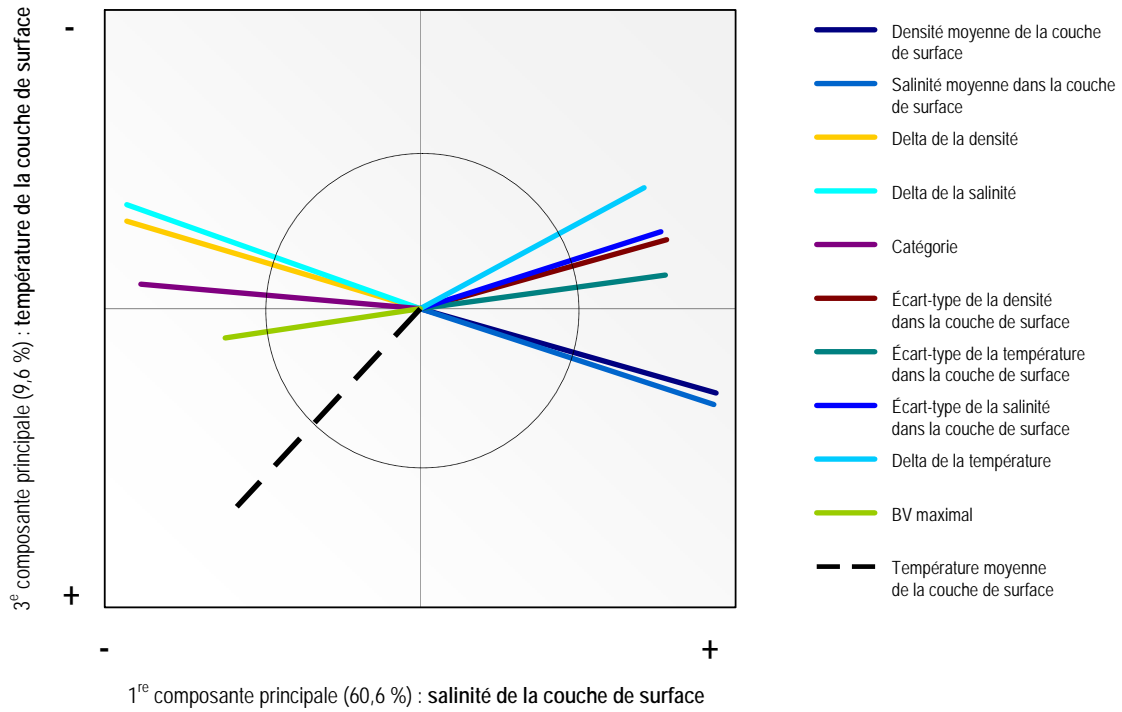


FIGURE 4.1.16 Polynôme spatial de la première composante principale ($R^2 = 0,17$; $p < 0,001$)

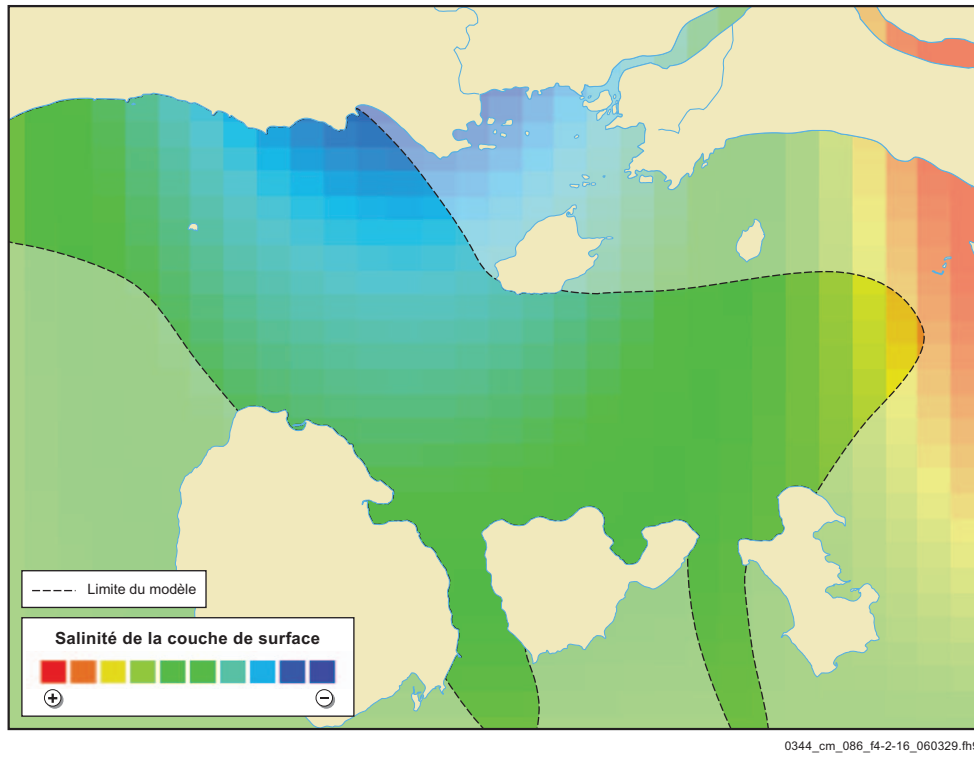


FIGURE 4.1.17 Polynôme spatial de la troisième composante principale ($R^2 = 0,04$; $p < 0,05$)

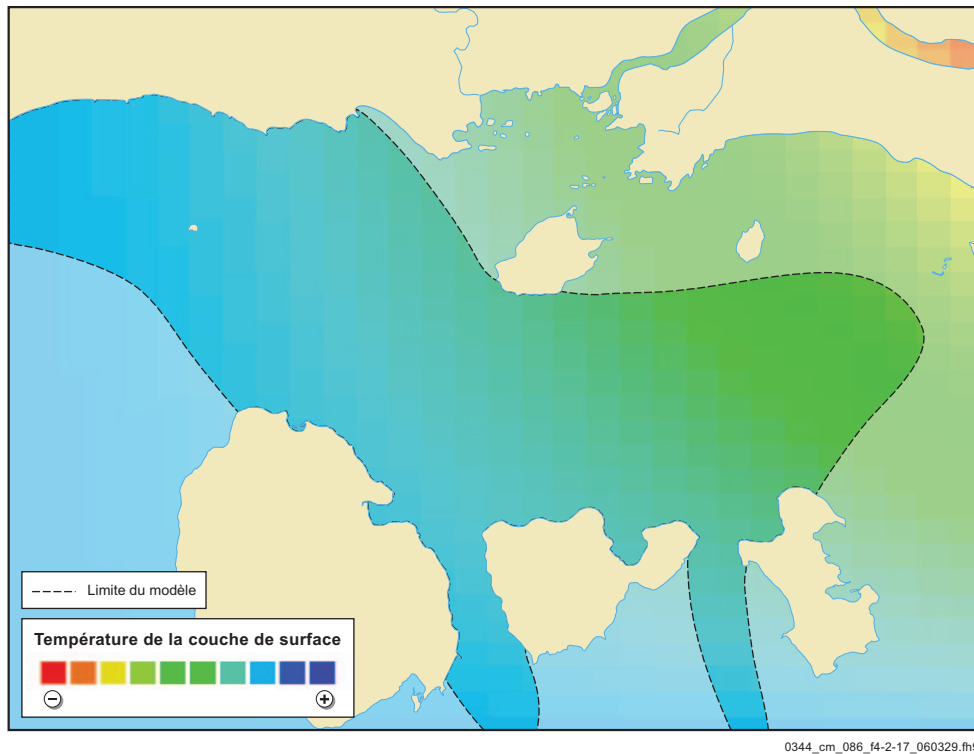


FIGURE 4.1.18 Illustration du modèle de régression multiple de l'épaisseur de la couche de surface en fonction de la date et du débit quotidien pour la zone du chenal de Mingan

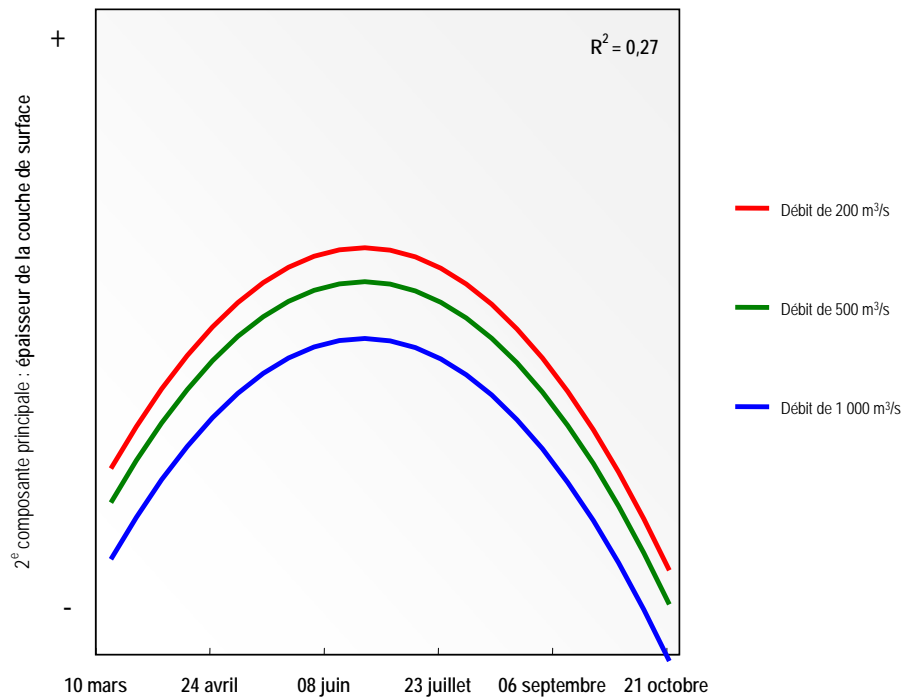


FIGURE 4.1.19 Illustration du modèle de régression multiple de la température de la couche de surface en fonction de la date, du débit quotidien et du stade de marée pour la zone du chenal de Mingan

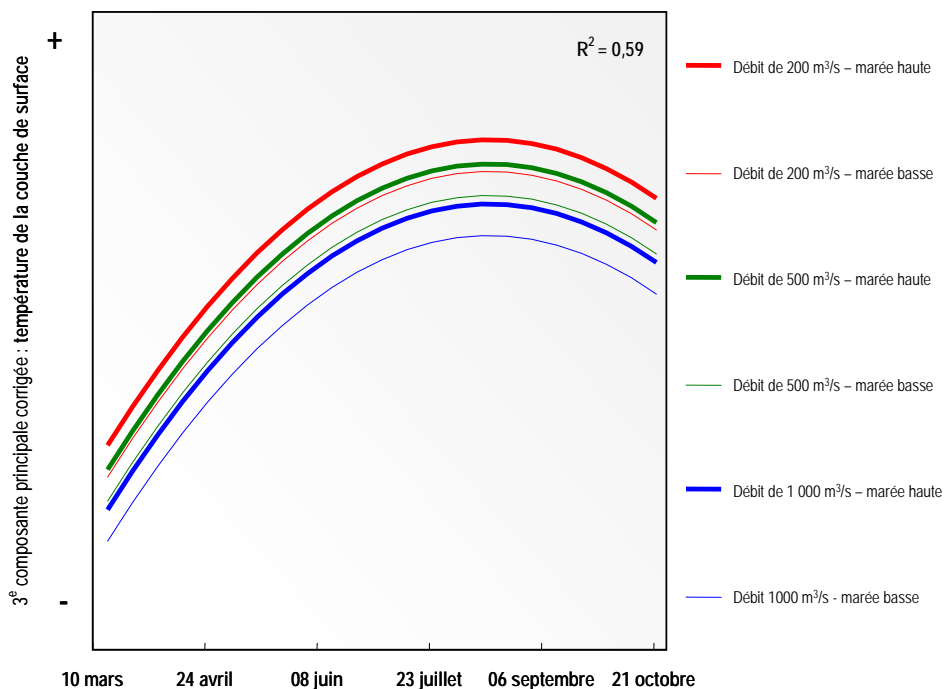


FIGURE 4.1.20 Diagramme de dispersion de la salinité de la couche de surface et de la distance de l'embouchure de la rivière Romaine

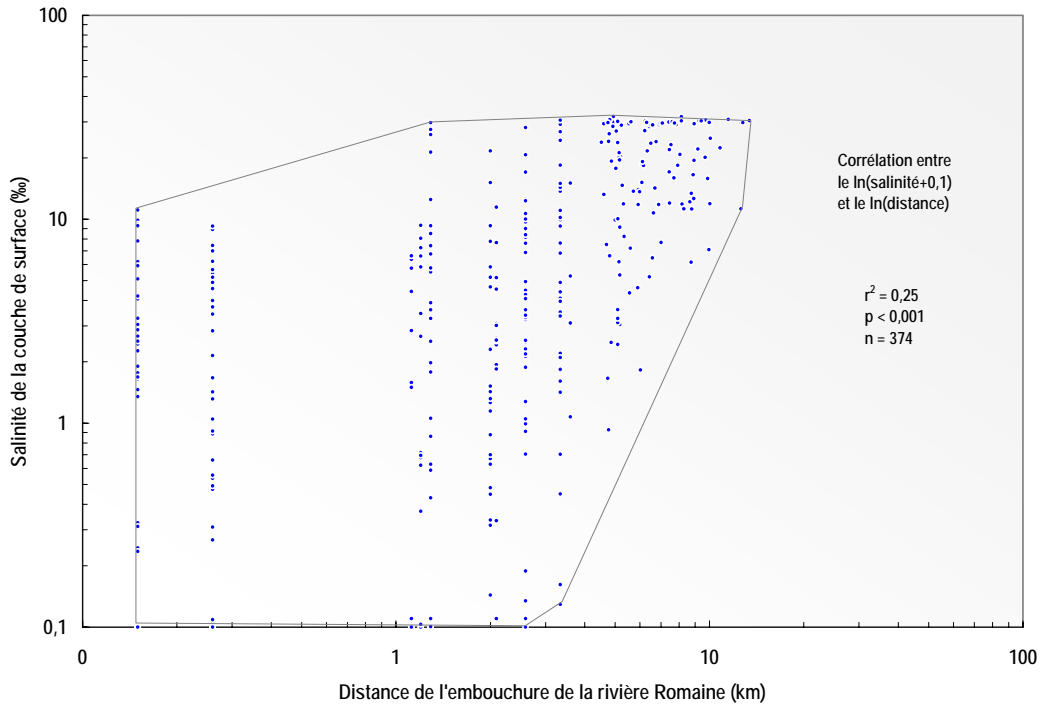


FIGURE 4.1.21 Salinité de la couche de surface en fonction de la distance de l'embouchure de la rivière Romaine, selon le type et le stade de marée

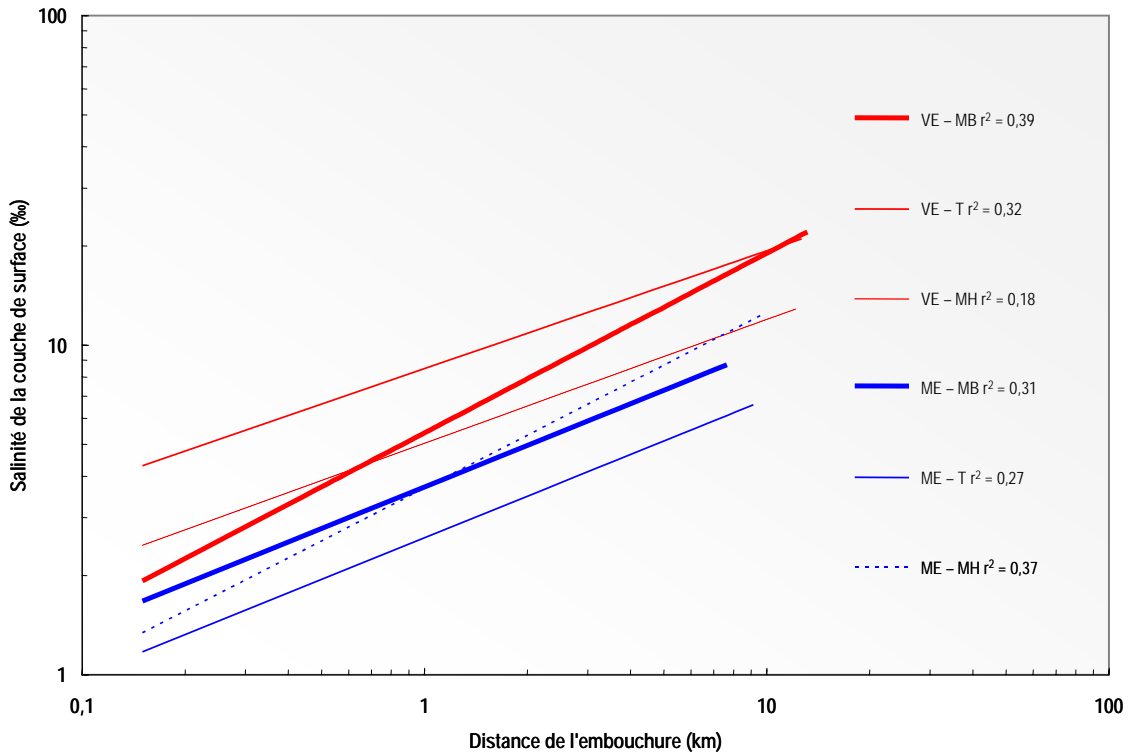
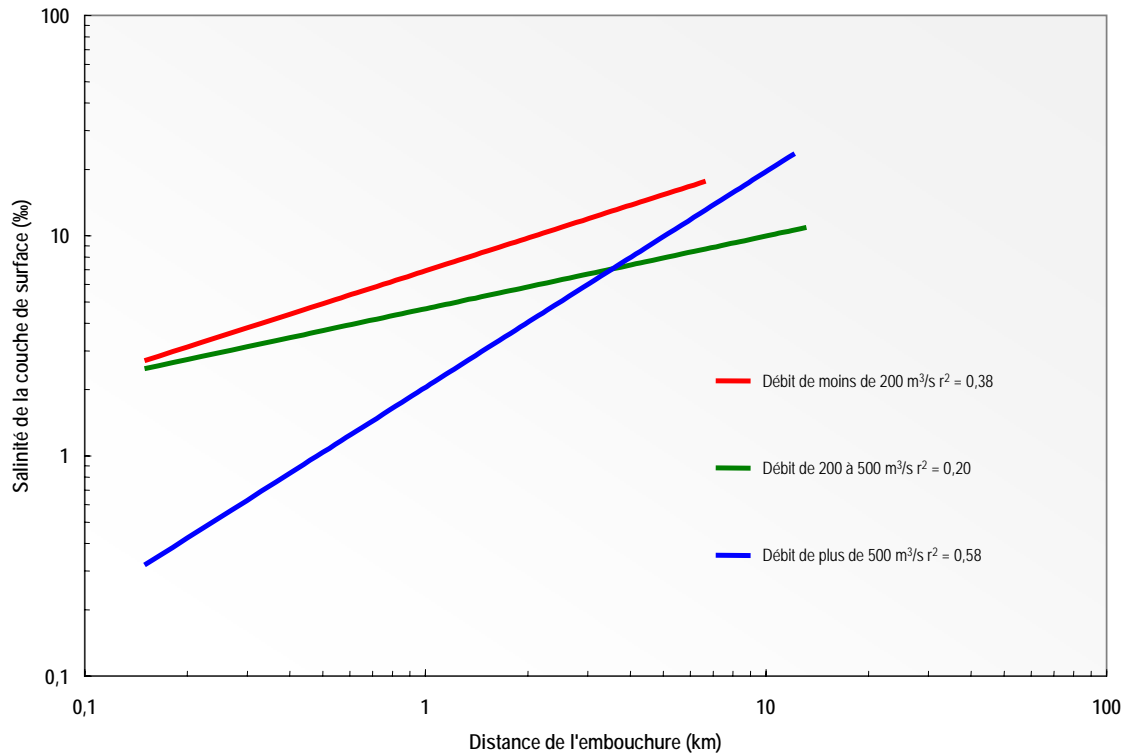


FIGURE 4.1.22 Salinité de la couche de surface en fonction de la distance de l'embouchure de la rivière Romaine, selon trois classes de débit



4.2 Analyse descriptive des masses d'eau

4.2.1 Zone de l'embouchure

4.2.1.1 Caractéristiques des masses d'eau en conditions d'eau libre

Le phénomène dominant qui affecte les caractéristiques de salinité et, dans une moindre mesure, celles de température de la colonne d'eau dans la zone de l'embouchure est le passage de la crue printanière de la rivière Romaine. La relation entre la salinité moyenne de la couche de surface et de fond et le débit le démontre clairement (figure 4.2.1). Si l'on fait abstraction des stations situées à proximité du chenal de Mingan (stations 2, 3 et 4 : figure 4.2.1), la salinité moyenne est presque nulle pour des débits supérieurs à 700 m³/s. À des débits légèrement inférieurs à 500 m³/s, la salinité augmente rapidement et plus fortement au fond qu'en surface, ce qui laisse supposer que le passage d'une condition homogène d'eau douce à des conditions stratifiées se fait rapidement entre 500 et 700 m³/s (figure 4.2.1).

Le passage de la crue printanière affecte les caractéristiques physiques de la colonne d'eau sur l'ensemble de la zone de l'embouchure, de la surface jusqu'au fond. La colonne d'eau est homogène avec des conditions d'eau douce sur presque toute la zone de l'embouchure, du mois de mai jusqu'à la mi-juin (figure 4.2.2). Les stations éloignées du chenal central et du chenal ouest (stations 2, 3 et 4) font exception et montrent une stratification témoignant de l'intrusion saline limitée à ce secteur (tableau 4.2.1). Les valeurs de salinité (15 à 25 psu) mesurées à ces stations au printemps sont caractéristiques d'une eau mélangée. La salinité plus faible (15 psu) à la station 2 indique que l'écoulement principal de la rivière Romaine passe par le chenal central. Dans la mesure où la salinité dans le chenal de Mingan peut atteindre 31 psu (section 4.1.2), le fait d'observer des valeurs intermédiaires de salinité aux stations 2, 3 et 4, au lieu de la valeur maximale anticipée dans le chenal de Mingan, indique un contrôle structural en périphérie de la zone de l'embouchure. Ainsi, la topographie des chenaux crée des seuils (figure 3.1.3) qui ne laissent pénétrer que les eaux superficielles du chenal de Mingan. La salinité des eaux superficielles est caractéristique d'une masse d'eau mélangée associées au développement durant la crue d'une couche intermédiaire dans le chenal de Mingan. Cette masse d'eau mélangée est graduellement évacuée durant la saison comme en témoigne l'augmentation de la salinité au fond plus tard en saison (tableau 4.2.1). Durant la crue, la pénétration de l'intrusion saline s'arrête à une distance d'environ 1,5 km dans le chenal central et 2,5 km dans le chenal ouest (carte 4.2.1). Le manque de données à la station éloignée du chenal est (station 11) ne permet pas de déterminer la limite de pénétration de l'intrusion saline qui s'établit à plus de 1,5 km de la Fausse Chute. La présence de la zosténaie suggère néanmoins que les conditions mélangées prévalent dans ce secteur.

TABLEAU 4.2.1 Sommaire des caractéristiques physiques de la colonne d'eau par station et pour différentes conditions de débit dans la zone de l'embouchure

Conditions	Station	Couche de surface								Couche de fond								
		Salinité (psu)				Température (°C)				Salinité (psu)				Température (°C)				
		Moyenne	σ	Min	Max	Moyenne	σ	Min	Max	Moyenne	σ	Min	Max	Moyenne	σ	Min	Max	
Q>500 m ³ /s	2 (n=2)	0,05	0,02	0,03	0,06	5,6	0,1	3,7	7,6	7,90	0,00	0,07	15,73	4,8	0,0	3,6	6,0	
	3 (n=4)	0,07	0,10	0,01	0,23	6,8	0,0	3,3	8,4	6,31	0,00	0,01	25,21	6,3	0,0	1,3	8,4	
	4 (n=7)	0,28	0,16	0,00	1,18	6,0	0,0	3,6	8,5	13,36	0,23	0,01	25,54	4,4	0,0	1,2	8,4	
	6 (n=3)	0,01	0,00	0,00	0,01	6,2	0,0	4,0	8,1	0,00	0,00	0,00	0,01	6,2	0,0	4,0	8,1	
	7 (n=5)	0,00	0,00	0,00	0,01	5,5	0,0	2,9	8,1	0,00	0,00	0,00	0,01	5,5	0,0	2,8	8,1	
	8 (n=3)	0,00	0,00	0,00	0,00	6,2	0,0	2,9	8,2	0,00	0,00	0,00	0,01	6,2	0,0	2,9	8,1	
	9 (n=4)	0,00	0,00	0,00	0,00	5,6	0,1	2,7	8,1	0,00	0,00	0,00	0,00	5,5	0,0	2,7	8,1	
	10 (n=4)	0,00	0,00	0,00	0,01	7,2	0,1	4,4	8,5	0,00	0,00	0,00	0,01	7,1	0,0	4,4	8,4	
	200<Q<500 m ³ /s	1 (n=4)	3,04	1,62	0,97	5,16	8,6	0,0	8,0	9,4	21,29	0,89	8,50	28,12	8,3	0,0	8,2	8,4
		2 (n=13)	5,55	0,27	0,35	24,23	13,4	0,1	7,8	18,5	27,69	0,24	10,52	35,03	7,2	0,1	1,7	17,2
3 (n=15)		3,63	0,77	1,74	11,36	14,9	0,2	11,0	18,9	20,20	0,33	3,87	31,88	9,1	0,2	4,0	16,4	
4 (n=21)		7,62	0,70	2,03	28,02	14,7	0,2	4,8	19,1	26,15	0,94	4,63	33,38	7,3	0,3	2,7	16,0	
5 (n=15)		4,98	0,48	0,04	21,52	14,2	0,2	7,4	17,9	24,42	0,73	1,23	34,82	8,1	0,3	4,2	17,1	
6 (n=3)		1,87	0,04	1,40	2,74	19,9	0,0	19,2	20,8	1,91	0,00	1,42	2,74	19,9	0,0	19,1	20,9	
7 (n=17)		4,03	0,96	0,21	9,15	16,4	0,3	11,8	19,6	19,55	1,03	0,23	34,36	10,1	0,5	3,8	17,0	
8 (n=1)		5,73	1,68	5,73	5,73	18,1	0,6	18,1	18,1	7,09	1,62	7,09	7,09	17,5	0,5	17,5	17,5	
9 (n=19)		4,30	0,31	1,25	10,99	14,8	0,1	7,4	19,7	22,89	0,68	2,97	36,15	9,0	0,4	2,8	15,0	
10 (n=14)		11,29	1,06	1,68	29,63	14,4	0,3	6,8	19,7	14,91	0,90	1,73	29,63	13,2	0,3	6,8	19,7	
Hiver	2 (n=8)	8,79	0,66	0,61	29,65	-0,3	0,0	-1,3	0,1	13,19	0,04	1,68	30,45	-0,5	0,0	-1,3	0,1	
	4 (n=8)	3,57	0,40	0,82	16,92	0,0	0,0	-0,6	0,2	28,69	1,42	24,06	30,51	-1,2	0,1	-1,4	-0,9	
	5 (n=8)	1,13	0,10	0,22	4,55	0,1	0,0	0,0	0,2	15,30	1,34	0,93	29,52	-0,5	0,1	-1,2	0,1	
	7 (n=11)	0,65	0,34	0,17	1,36	0,2	0,0	0,1	0,2	25,25	4,41	15,97	28,19	-0,7	0,3	-0,7	-0,5	
	8 (n=8)	1,14	0,59	0,28	3,20	0,1	0,0	0,0	0,2	22,37	0,45	3,39	29,41	-0,7	0,0	-1,0	0,0	
	9 (n=6)	0,86	0,19	0,14	2,77	0,2	0,0	0,1	0,2	28,01	1,31	27,76	28,33	-0,6	0,2	-0,7	-0,6	
	10 (n=8)	1,74	0,27	0,33	3,81	0,1	0,0	0,0	0,2	22,12	0,01	13,33	26,21	-0,4	0,0	-0,8	-0,2	
	11 (n=11)	13,03	0,13	3,33	30,48	-0,5	0,0	-1,4	0,0	19,86	0,51	9,08	30,52	-0,8	0,0	-1,4	-0,3	
Toutes conditions	1 (n=4)	6,02	1,22	0,97	14,95	8,3	0,0	7,5	9,4	22,71	0,66	8,50	28,12	7,9	0,0	6,8	8,4	
	2 (n=26)	6,48	0,38	0,03	29,65	8,2	0,1	-1,3	18,5	21,89	0,18	0,07	35,03	4,6	0,1	-1,3	17,2	
	3 (n=19)	2,92	0,63	0,01	11,36	13,3	0,2	3,3	18,9	17,42	0,27	0,01	31,88	8,6	0,1	1,3	16,4	
	4 (n=42)	5,79	0,51	0,00	28,02	9,8	0,1	-0,6	19,1	24,60	0,96	0,01	33,38	5,1	0,2	-1,4	16,0	
	5 (n=23)	3,70	0,35	0,04	21,52	9,5	0,1	0,0	17,9	21,38	0,94	0,93	34,82	5,3	0,2	-1,2	17,1	
	6 (n=10)	2,58	0,24	0,00	6,51	11,4	0,1	4,0	20,8	8,46	0,07	0,00	28,05	10,4	0,0	4,0	20,9	
	7 (n=36)	2,64	0,64	0,00	9,15	9,8	0,2	0,1	19,6	18,85	1,90	0,00	34,36	6,1	0,4	-0,7	17,0	
	8 (n=16)	2,85	0,43	0,00	9,23	4,8	0,1	0,0	18,1	17,96	0,74	0,00	29,41	3,6	0,2	-1,0	17,5	
	9 (n=31)	3,24	0,23	0,00	10,99	10,6	0,1	0,1	19,7	21,22	0,73	0,00	36,15	6,4	0,3	-0,7	15,0	
	10 (n=31)	7,17	0,73	0,00	29,63	8,9	0,2	0,0	19,7	16,14	0,51	0,00	29,63	7,9	0,2	-0,8	19,7	
	11 (n=11)	13,81	0,24	3,33	30,48	2,1	0,0	-1,4	10,4	20,78	0,50	9,08	30,52	1,5	0,0	-1,4	9,1	

Après le passage de la crue dans la zone de l'embouchure, la salinité près du fond va augmenter sur l'ensemble de la zone jusqu'en septembre et en octobre (28 psu) en conditions d'eau libre et culminer en hiver (31 psu) sous couvert de glace (tableau 4.2.1) lorsque le débit est plus faible (figure 4.2.2). L'étalement de la fourchette de variation de la salinité dans la couche de fond, passant de l'eau douce et légèrement mélangée jusqu'à des conditions marines, va s'étendre des stations éloignées (stations 2, 3, 4) pour de forts débits (carte 4.2.1) jusqu'à couvrir toute la zone de l'embouchure avec la diminution concomitante du débit de la rivière (carte 4.2.2). À cette relation correspond une augmentation de la salinité minimale au fond avec la diminution du débit (tableau 4.2.1). Cette tendance démontre l'importance relative croissante avec la saison de l'intrusion saline par rapport à l'apport d'eau douce et la migration de la zone de l'embouchure d'un milieu d'eau douce vers un milieu marin.

À cette augmentation saisonnière de la salinité au fond correspond un amincissement de la couche d'eau douce de surface jusqu'à l'automne (figure 4.2.3). Le passage de la crue sur la structure de la colonne d'eau se traduit par des profils de salinité homogènes ou mélangés, sauf aux stations éloignées des chenaux central et ouest (stations 2, 3 et 4), soumises à une intrusion saline limitée. L'évolution saisonnière de la structure de la colonne d'eau peut être décrite par l'épaisseur de la couche de surface (la couche de surface pour un profil homogène comprend alors toute la colonne d'eau) qui est plus grande en juin, au moment du plus fort débit d'eau douce et plus mince en juillet et en septembre (figure 4.2.3). À cet amincissement de la couche de surface et avec la pénétration de l'intrusion saline vers l'amont de la zone de l'embouchure, correspond l'établissement graduel de conditions stratifiées bien définies en période d'étiage. En hiver par contre, malgré de plus faibles débits, l'épaisseur de la couche de surface se renforce comme en période de plus forts débits (figure 4.2.3). Ce phénomène est attribuable aux conditions d'écoulement sous couvert de glace (section 4.2.1.2).

L'eau se réchauffe rapidement et régulièrement au printemps et atteint son maximum en juillet (figure 4.2.4) avec une température maximale moyenne en surface de 20 °C et de quelques degrés plus froide au fond (tableau 4.2.1). La variation des températures est plus grande dans la couche de fond que dans la couche de surface, ce qui témoigne des conditions hétérogènes (stratification, fronts) et du mélange avec les eaux plus froides du chenal de Mingan (figure 4.2.4).

Le passage des marées de vives-eaux provoque un plus grand mélange des eaux dans la couche de surface qu'en mortes-eaux où les conditions stratifiées sont mieux définies et les écarts de salinité entre la surface et le fond sont plus grands. Lorsque la colonne d'eau est stratifiée plus fréquemment ($Q < 500 \text{ m}^3/\text{s}$), l'élévation de la pycnocline varie selon le stade de marée avec une élévation plus haute à marée haute (figure 4.2.5). Cette relation est particulièrement évidente en mortes-eaux, mais moins en vives-eaux. Cette situation est attribuable à la plus grande quantité d'eau arrivant dans la zone de l'embouchure par les grandes marées et qui doit transiter durant la même période. La pycnocline s'élève plus haut, permettant aux eaux plus salées de s'épandre sur les hauts-fonds. Au moment du jusant, cela provoque le mélange des eaux salées avec les eaux douces de surface (photos 4.1.1 à 4.1.3), résultant en une déstabilisation de la pycnocline (figure 4.2.6). La dispersion des points sur la figure 4.2.5 est attribuable à la répartition géographique des stations de telle sorte que l'importance relative de l'intrusion saline et du flot d'eau douce varie en fonction de la distance aux seuils de la rivière Romaine.

Par ailleurs, à la remontée de la pycnocline à marée haute correspond une diminution concomitante de l'épaisseur de la couche de surface en période de mortes-eaux (figure 4.2.5). Cela s'explique par l'étalement de la couche de surface avec l'inondation des hauts-fonds et des battures et la distribution du volume d'eau douce sur une plus grande surface (augmentation de la superficie mouillée de l'ordre de 50 % à marée haute). En mortes-eaux et en marée haute, la pycnocline se trouve généralement à une élévation comprise entre -0,75 m et 0,5 m (figure 4.2.5). En vives-eaux et à marée haute, l'élévation de la pycnocline se situe entre -1,5 m et 1 m (figure 4.2.6). Cela indique que les zones exondées à marée basse d'élévations inférieures à -0,75 m sont plus souvent exposées à l'intrusion saline alors qu'au dessus, les conditions mélangées ou d'eau douce prévalent. À marée basse, la pycnocline s'abaisse jusqu'à -2 m à -3,5 m. À ce stade de la marée, la pénétration de l'intrusion saline sera probablement arrêtée par la topographie des chenaux où les seuils affleurent à des élévations de -2 m (chenal ouest), -1,5 m (chenal central) et -1 m (chenal est) à des distances correspondantes de 1 km, 2,5 km et 3 km à l'aval des chutes (figure 3.1.1).

Le sommaire des caractéristiques physiques de l'eau dans la zone de l'embouchure est présenté au tableau 4.2.1 et dans les cartes 4.1.1 à 4.1.4. La carte 4.2.4 représente les variations globales mesurées dans la zone de l'embouchure durant les campagnes de 2001, de 2004 et de 2005, incluant les conditions hivernales. Ainsi, lorsque le débit est supérieur à 500 m³/s, le secteur compris entre l'île La Grosse Romaine et la Pointe Paradis est soumis à l'intrusion saline plus forte dans le chenal ouest et vraisemblablement dans la partie aval du chenal est, pour lequel aucune donnée en période de crue n'est disponible (carte 4.2.1). En conditions de débits intermédiaires (200 < Q < 500 m³/s), la presque totalité de la zone de l'embouchure ressent l'effet de l'intrusion saline au fond qui pénètre jusqu'aux fosses (carte 4.2.2). La fourchette de variation de la salinité dans la couche de surface est plus étroite aux stations à proximité de la chute de l'Auberge et dans le chenal central, ce qui suggère que l'écoulement principal de la rivière Romaine se fait par le chenal central (carte 4.2.2). Les profils synthèses de la salinité et de la température pour toutes conditions confondues sont présentés à l'annexe 2.

4.2.1.2 Caractéristiques des masses d'eau en conditions hivernales

Le couvert de glace a un effet prépondérant sur la circulation et la structure de la colonne d'eau dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine. En hiver, dans la zone de l'embouchure, les conditions sont généralement stratifiées (carte 4.2.3) avec une couche de surface relativement plus épaisse que pour des conditions de débit équivalentes ou supérieures lorsque la surface est libre de glace. Il semble que la présence des glaces restreigne considérablement l'écoulement (section 4.3.1) vers les chenaux, affectant la structure verticale de la colonne d'eau, ce qui se traduit par un renforcement de la stratification et une couche de surface d'eau douce plus épaisse (figure 4.2.3). Le forçage exercé par les glaces sur la circulation des masses d'eau est probablement plus important que le passage de l'onde de marée. En effet, il ne semble pas y avoir de variation significative de l'épaisseur de la couche de surface en fonction du stade de marée, tant pour la période de mortes-eaux (n = 34) que de vives-eaux (n = 20). Par contre, l'élévation de la pycnocline varie en fonction de la marée avec une amplitude plus ou moins grande selon que l'on soit en vives-eaux ou en mortes-eaux comme on peut s'y attendre (figure 4.2.7). Le renforcement de la couche de surface résulte donc en un retrait de l'intrusion

saline à certaines stations à marée basse et en mortes-eaux (figure 4.2.7), ce qui se traduit par une colonne homogène d'eau douce à légèrement saumâtre. Il s'agit donc de conditions similaires à ce qui se produit en période de crue, mais dont l'occurrence semi-diurne est modulée par le cycle synodique de la marée. Ces conditions s'observent dans le chenal central et la partie amont du chenal ouest (carte 4.2.3).

Dans le secteur de la zosténaie, la couche de fond montre des caractéristiques d'eau généralement saumâtre. La salinité de la couche de fond ne descend pas sous la barre de 10 psu alors qu'en amont du chenal est (station 10) la salinité au fond est plus élevée (12 psu), ce qui suggère un apport d'eau mélangée en provenance du chenal central par le chenal séparant l'île La Grosse Romaine des îlots granitiques au nord (carte 4.2.3). En conditions d'eau libre pour des débits équivalents ($Q < 200 \text{ m}^3/\text{s}$), la salinité au fond à la station 11 ne descend pas sous la barre de 15 psu, tant à marée haute qu'à marée basse et en vives-eaux ($n = 3$).

Une autre particularité associée à la présence des glaces est observée dans la fosse aux pieds de la chute de l'Auberge où le renouvellement de la couche de fond salée se ferait par un apport du chenal de Mingan modulé par le cycle synodique de la marée. En mortes-eaux, la colonne d'eau montre une structure simple de stratification à deux couches de densité différentes (figure 4.2.8), alors qu'une couche intermédiaire mélangée de salinité supérieure à 20 psu s'est développée entre -7 et -11 m d'élévation. La structure verticale de la température est beaucoup plus complexe et met en évidence une couche froide entre -11 et -14 m montrant aussi une différence selon le stade synodique (figure 4.2.8). Cette différence selon le stade synodique s'explique par un apport d'eau salée plus froide provenant du chenal de Mingan qui se mélange avec la couche de surface pour développer la couche intermédiaire mélangée. Le réchauffement de la couche sous-jacente serait attribuable à son vieillissement et à la conduction de la chaleur provenant des parois de la fosse.

Ce processus de mélange contrôlé par le cycle synodique de la marée est aussi observé dans la fosse de la Fausse Chute (figure 4.2.9). Cependant, il semble moins important comme le démontre l'allure presque similaire des profils, si ce n'est de la petite couche mélangée entre -2,5 et -4 m. Le fait de retrouver la pycnocline plus près de la surface dans la fosse de la Fausse Chute et plus profondément dans la fosse de la chute de l'Auberge montre qu'il n'y a pas de circulation entre les deux fosses alors que la pycnocline aurait dû être au même niveau.

Le fait que la couche sous-jacente soit renouvelée à une fréquence bi-mensuelle soulève un questionnement quant à l'utilisation des fosses comme aire de refuge pour les espèces marines. Il n'y a pas eu de caractérisation de la faune aquatique dans les fosses, mais des observations *ad hoc* à la caméra vidéo à l'hiver 2005 ont permis d'identifier la présence d'invertébrés, dont des chætognates (« arrow worm ») un invertébré planctophage qui se nourrit de copépodes, de petits crustacés et de larves de petits poissons et qui peut servir de proie pour les poissons et les oiseaux marins. Les observations vidéo ont mis en évidence la présence de gros débris végétaux (branches, feuilles) et l'absence d'une accumulation de sédiments fins suffisamment importante pour témoigner de conditions favorisant la dégradation de la matière organique et le développement éventuel de conditions anoxiques.

4.2.2 Chenal de Mingan

4.2.2.1 Généralités

Les observations et les mesures au terrain visaient à déterminer la zone d'influence de la rivière Romaine dans le chenal de Mingan en ce qui a trait à l'étendue du panache. Celui-ci s'avère mobile dans le sens où il se déplace en fonction des courants de marée (photos 4.1.4 et 4.1.5) et aussi des vents ; cette dernière force pouvant s'avérer dominante. Le déplacement général du panache semble se faire suivant le cycle semi-diurne de la marée, dans un large balayage s'étendant probablement à proximité de l'embouchure de la rivière Mingan à marée haute (carte 4.2.7 : 7 juin) jusqu'à l'extrémité est du chenal de Mingan près de l'île du Fantôme (photo 4.2.7) en passant par les grandes îles de l'archipel (carte 4.2.7 et photo 4.2.9).

4.2.2.2 Structures de la colonne d'eau

Le balayage par les eaux plus ou moins salées du panache génère des conditions frontales très distinctes sur de longues distances. Cela signifie que les caractéristiques des eaux de surface (salinité, température) dans le chenal de Mingan seront hétérogènes, même en période de crue lorsque l'influence des rivières Romaine et Mingan est plus grande, comme le montre la large dispersion des points à la figure 4.2.10.

L'épaisseur du panache de la rivière Romaine est généralement inférieure à 0,5 m dans le chenal de Mingan, mais varie d'un peu plus de 1,5 m à moins de 0,25 m en fonction de la distance de la zone de l'embouchure (figure 4.2.11). Lorsque le panache est présent, les profils σ_t montrent bien la stratification verticale où la limite inférieure du panache de la rivière Romaine ne descend généralement pas sous une élévation de -1,5 m (figure 4.2.12). En hiver, période durant laquelle les débits sont généralement les plus faibles ($Q < 200 \text{ m}^3/\text{s}$), la colonne d'eau montre une simple structure à deux couches comprenant le panache de rivière en surface (Romaine et/ou Mingan) et la couche de surface du golfe du Saint-Laurent. Au printemps et en été, les profils σ_t montrent une structure souvent plus complexe où l'on retrouve le panache en surface (approximativement 1 à -1,5 m), une couche intermédiaire mélangée d'eau saumâtre à plus ou moins salée (jusqu'à approximativement -11 m) sur la couche de surface du golfe du Saint-Laurent qui se démarque par une densité constante (figure 4.2.13). La couche intermédiaire est parfois bien développée et circonscrite par deux pycnoclines, ou bien correspond plus à une épaisse couche mélangée lorsqu'elle est présente (figure 4.2.13). La disparition de la couche intermédiaire en hiver (figure 4.2.14) indique qu'elle est probablement associée à la crue printanière et au plus grand volume d'eau douce injecté sur une courte période avec un temps de résidence plus ou moins long. L'effet immédiat des rivières se fait sentir dans le panache qui se mélange éventuellement pour former une masse d'eau intermédiaire. Cette masse d'eau n'est pas omniprésente sur l'ensemble du chenal de Mingan comme en témoignent les différents profils mesurés dans cette saison (figure 4.2.13). Les conditions frontales observées en surface au contact du panache (photo 4.2.6) doivent nécessairement être présentes en profondeur jusqu'à une douzaine de mètres. Les masses d'eau dans le chenal de Mingan, distribuées sur la verticale et délimitées par des conditions frontales, se déplacent par le jeu des courants de marées et leurs propriétés

physiques évoluent au gré des saisons de telle manière que la stratification observée en un point et un moment donné est variable sur de courtes périodes.

4.2.2.3 Caractéristiques physiques générales

Les propriétés physiques de la colonne d'eau (salinité et température) dans le chenal de Mingan ont été représentées sous la forme d'un profil synthèse (médiane) dont l'enveloppe (5^e et 95^e percentile) délimite l'ensemble des variations observées durant les périodes de mesures (figure 4.2.14). Le profil de la salinité montre que les différences les plus importantes (5 à 30 psu) sont observées en surface (élévation > -1 m) où elles sont associées au passage du panache dont l'influence est modulée par l'importance du débit. La couche intermédiaire est principalement observée jusqu'à une élévation de -5 m avec une salinité très variable (8 à 31 psu) et se fait sentir plus profondément (-11 m : figure 4.2.14). À partir d'une élévation de -20 m, la salinité varie peu (30 à 31 psu) et serait caractéristique de la couche de surface du golfe du Saint-Laurent (figure 4.2.14).

Le profil synthèse de la température est plus irrégulier et est probablement biaisé par le faible effectif de données hivernales (n=9) par rapport aux autres saisons (n=121). Néanmoins, le profil montre bien le réchauffement plus important près de la surface et la grande variation de température jusqu'à une élévation de -10 m (couche intermédiaire). Les variations en profondeur seraient attribuables au réchauffement saisonnier de la couche de surface du golfe du Saint-Laurent (figure 4.2.14). Le sommaire des caractéristiques physiques de la couche de surface dans le chenal de Mingan est présenté au tableau 4.2.2.

TABLEAU 4.2.2 Caractéristiques descriptives des propriétés physiques de la couche de surface dans le chenal de Mingan pour différentes conditions

Conditions	Couche de surface							
	Salinité (psu)				Température (°C)			
	Moyenne	σ	Min	Max	Moyenne	σ	Min	Max
Q>500m ³ /s	18,66	0,46	0,83	31,76	4,8	0,2	0,6	11,6
200<Q<500m ³ /s	21,32	0,46	1,72	30,98	6,1	0,3	1,9	11,7
Hiver	12,07	0,06	2,33	30,15	-0,4	0,0	-1,4	0,1
Toutes conditions	19,13	0,45	0,83	31,76	4,9	0,2	-1,4	11,7

4.2.2.4 Traçage du panache

Une des caractéristiques distinctives de l'eau de la rivière Romaine, mis à part le fait qu'elle soit douce, est sa couleur brune provoquée par les tanins et les acides humiques. Généralement caractérisé par la salinité (valeur abstraite de 80 % de la salinité sous-jacente), le panache peut

être suivi par la couleur de l'eau (photos 4.1.1 à 4.1.9) visuellement (carte 4.2.7 ; 7 juin 2005) ou quantitativement par mesure du CDOM (carte 4.2.7 ; 8, 10 et 11 juin 2005). Il est intéressant de comparer la variation de ces marqueurs l'un par rapport à l'autre pour déterminer si ces propriétés sont conservatrices (importance égale) ou non (un des marqueurs serait meilleur). Les relations entre les deux variables dans la couche de surface (de 0,15 à 0,5 m) ont été tracées pour les plus longs transects (10 et 11 juin 2005) et détaillées par transect pour une des journées de mesures (11 juin 2005). Durant les mesures, le débit de la rivière Romaine a varié de 425 à 570 m³/s. La distribution des points met en évidence une relation très nette, mais qui ne semble pas linéaire (figure 4.2.15). La relation suit une fonction sinus ($r^2 = 0,86$) :

$$Y = 30,02 [\sin(-0,0173 * X + 1,4312)]^{(2/3)}$$

où y = salinité et x = CDOM

La couleur de l'eau demeure plutôt stable à la sortie de la zone de l'embouchure (T1 : figure 4.2.15) et l'augmentation de la salinité jusqu'à environ 10 psu et serait donc attribuable à la diffusion du sel dans la couche du panache. Jusqu'au moment d'atteindre une salinité d'environ 28 psu, le mélange des masses d'eau est graduel et proportionnel pour les deux variables ; les points erratiques pouvant être causés par un mélange turbulent ou s'expliquer par le passage de fronts (T1 et plus particulièrement T2 ; figure 4.2.15 et carte 4.2.7). À partir d'une distance d'environ 12 à 14 km de l'embouchure de la rivière (calculée à la chute de l'Auberge), la salinité demeure stable alors que le CDOM continue à varier (T3 : figure 4.2.15) Par conséquent, le suivi du panache à l'aide d'un critère de salinité aurait permis de déterminer une influence maximale d'au plus 10 km (salinité : 24 psu = 80 %) alors que la couleur de l'eau, associée à la matière organique dissoute, continue à varier et témoigne encore de l'influence de la rivière Romaine.

En considérant la portée (de 14 à 16 km) du panache pour des conditions de débits importants mais néanmoins inférieurs au débit maximal de crue par un facteur de 2 à 3, celui-ci peut vraisemblablement s'étendre au-delà des îles de l'archipel et possiblement remonter jusqu'à l'embouchure de la rivière Mingan (environ 13 km). D'ailleurs, les observations visuelles en témoignent (carte 4.2.7, 7 juin 2005 ; photo 4.2.5). Par ailleurs, les mesures prises le 10 juin 2005 suggèrent fortement que le panache de la rivière Mingan peut aussi se déplacer dans le chenal de Mingan et il est possible que les deux panaches se mélangent parfois. Il est probable que les apports d'eau douce de la rivière Mingan au chenal ne soient pas négligeables même si le débit de la rivière est inférieur à celui de la Romaine. Enfin, les mesures de CDOM du 8 juin 2005 au moment de la marée haute mettent en évidence l'effet du vent sur le panache alors que celui-ci se dirigeait vers l'est au moment de la marée haute, poussé par un vent de l'ouest (carte 4.2.7).

FIGURE 4.2.1 Relation entre la salinité moyenne de la couche de surface et la couche de fond en fonction du débit dans la zone de l'embouchure

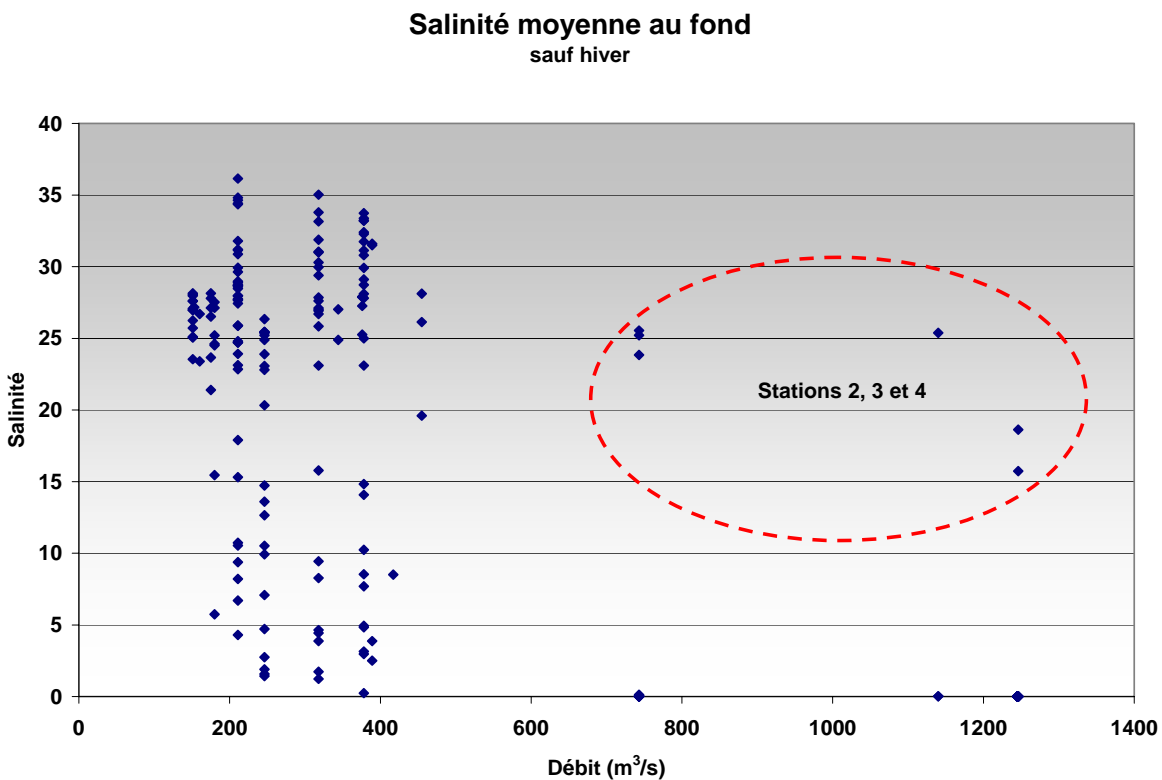
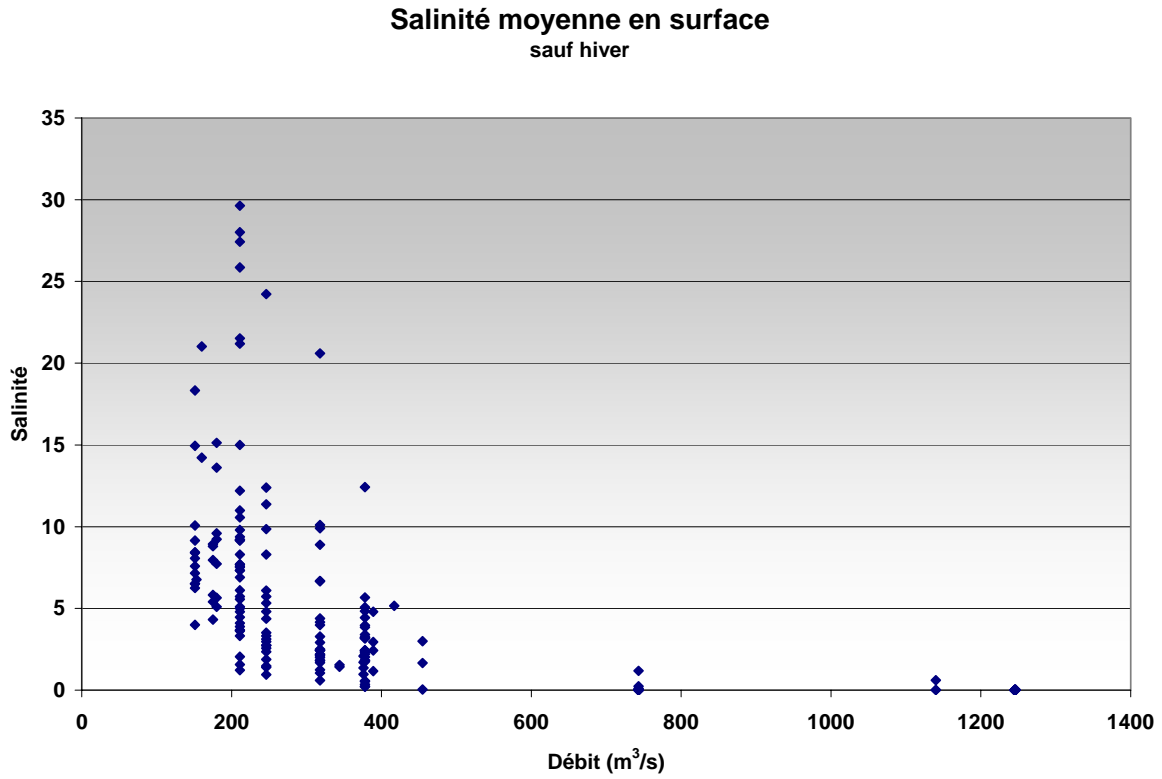


FIGURE 4.2.2 Distribution de la salinité moyenne dans la couche de fond en fonction des saisons dans la zone de l'embouchure

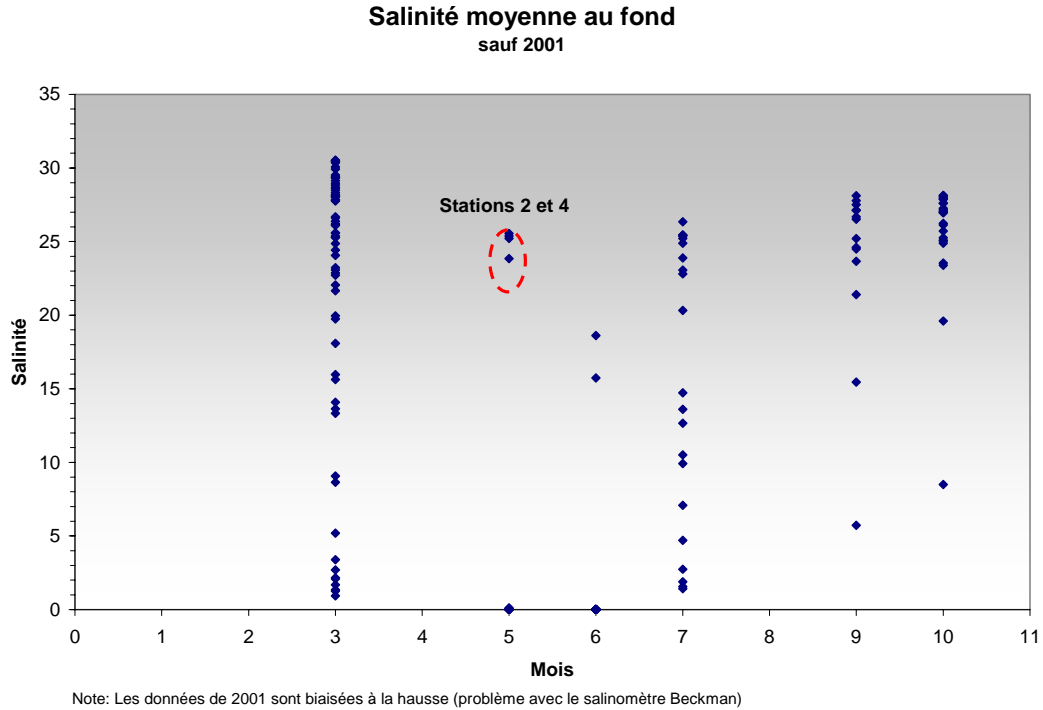


FIGURE 4.2.3 Distribution de l'épaisseur de la couche de surface en fonction des saisons dans la zone de l'embouchure

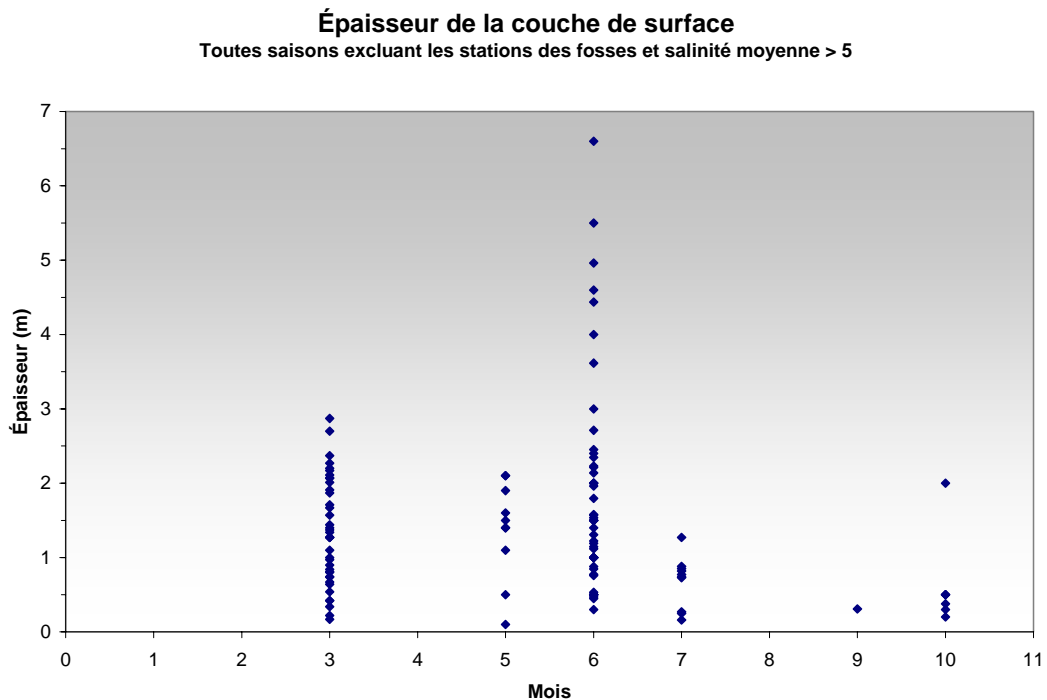
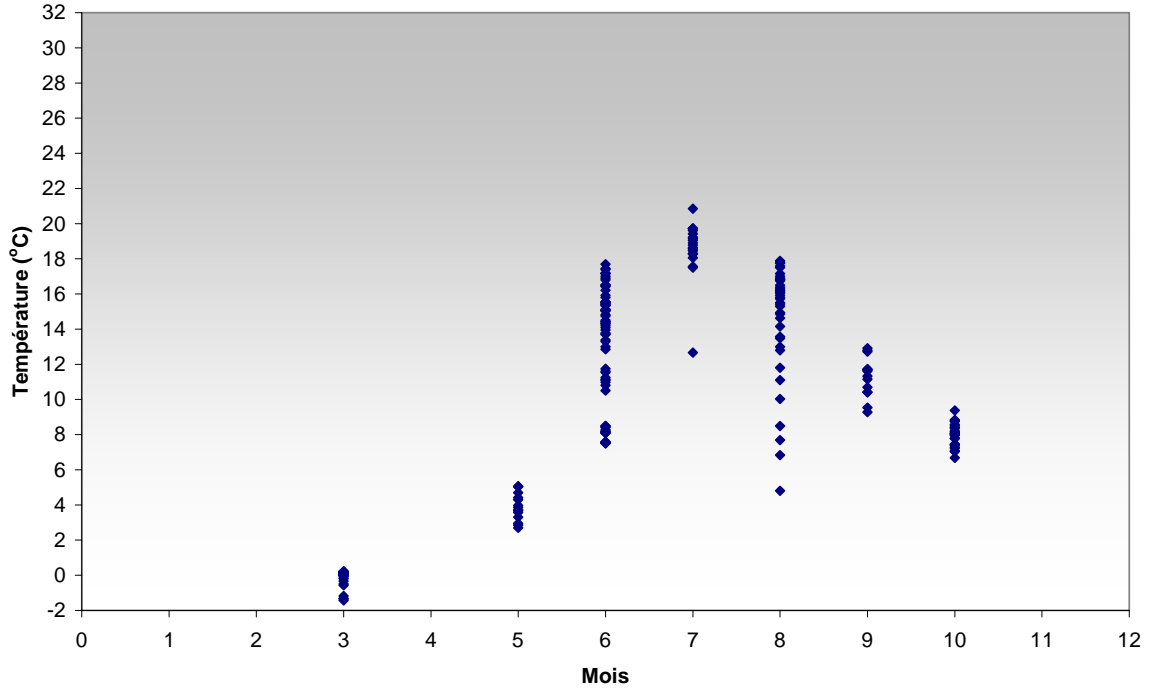


FIGURE 4.2.4 Distribution de la température moyenne de la couche de surface et de la couche de fond dans la zone de l'embouchure

Température moyenne en surface



Température moyenne au fond

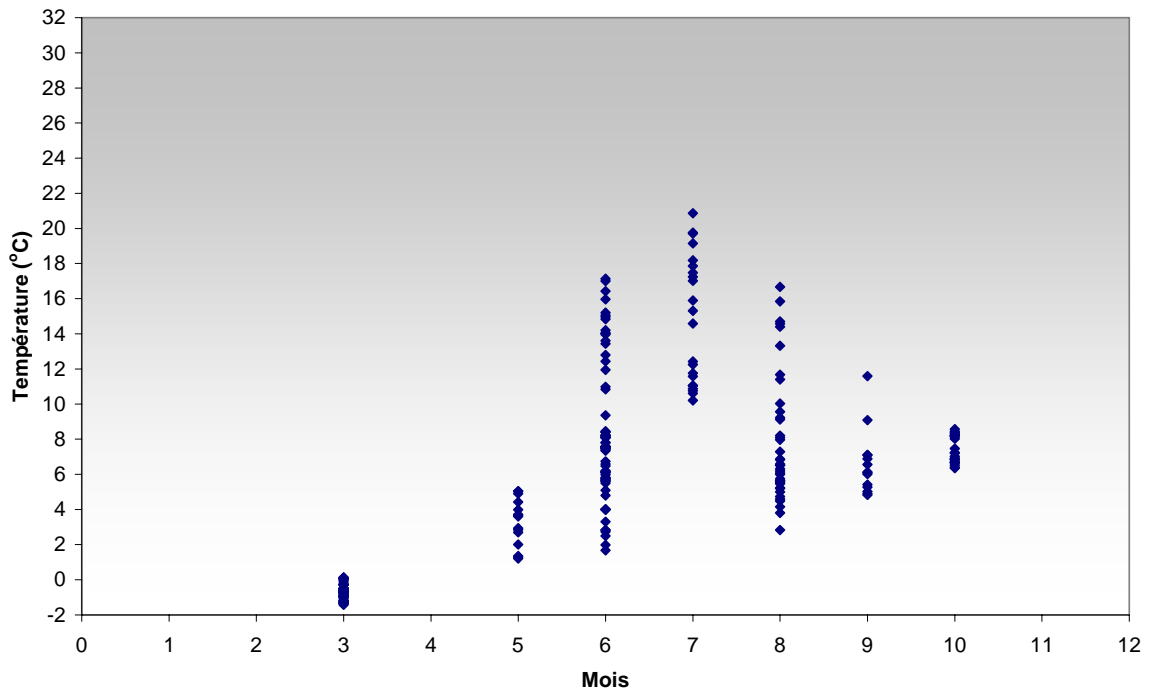


FIGURE 4.2.5 Relation entre l'élévation de la pycnocline et l'épaisseur de la couche de surface en fonction du stade de marée en mortes-eaux

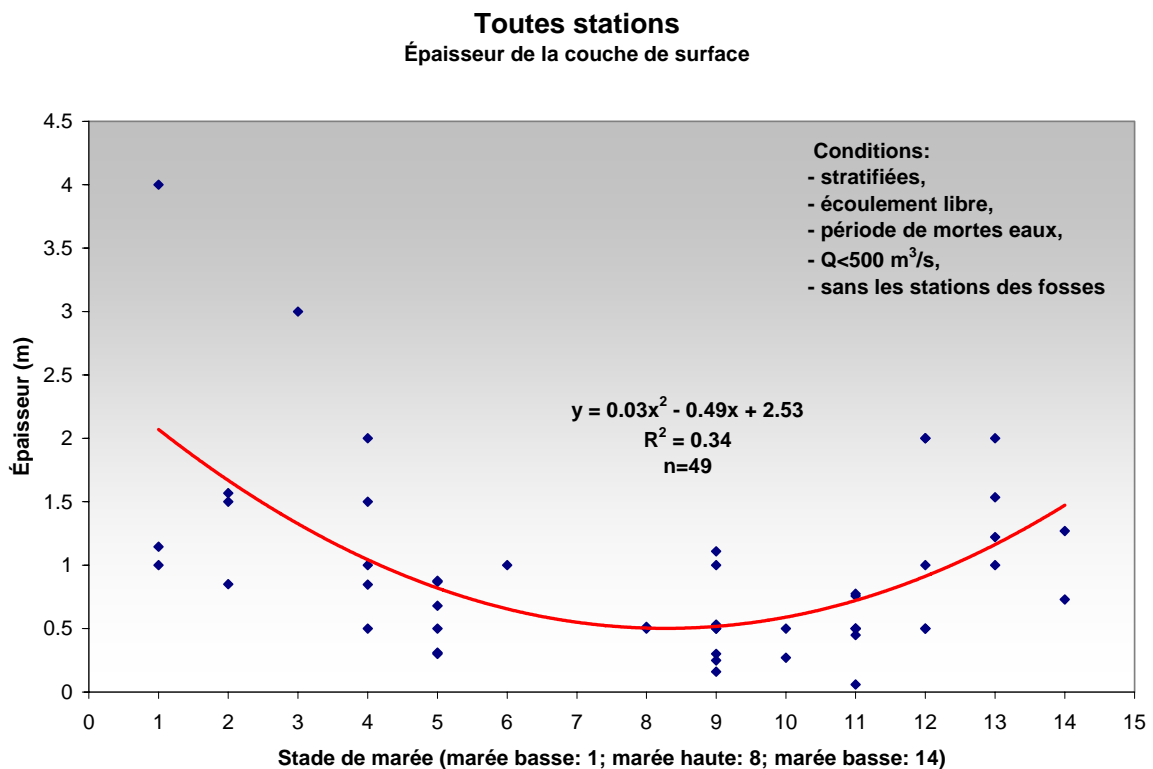
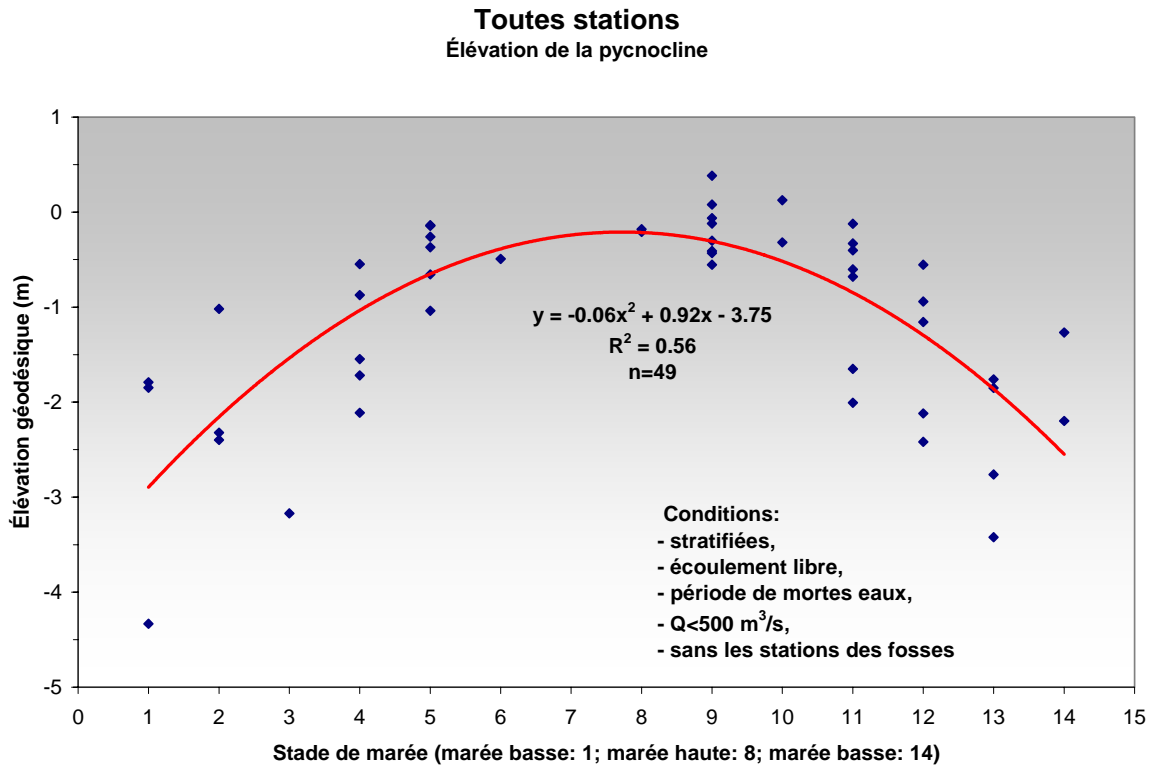


FIGURE 4.2.6 Relation entre l'élévation de la pycnocline et l'épaisseur de la couche de surface en fonction du stade de marée en vives-eaux

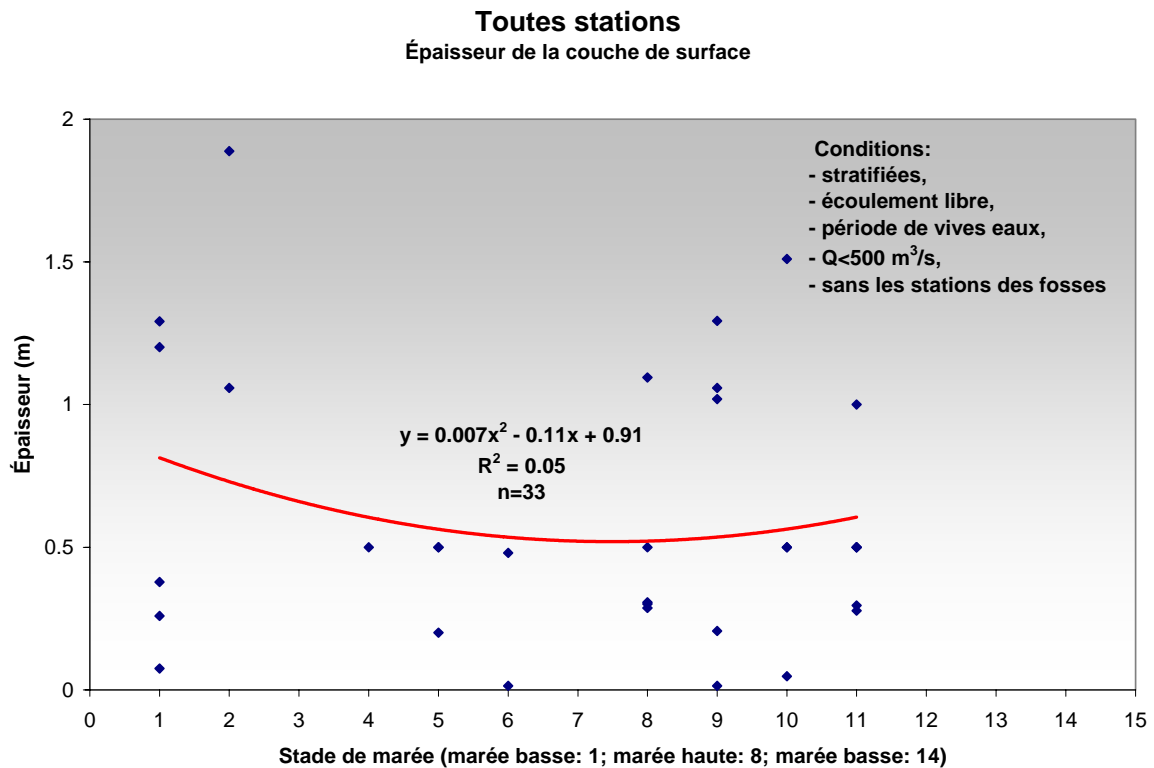
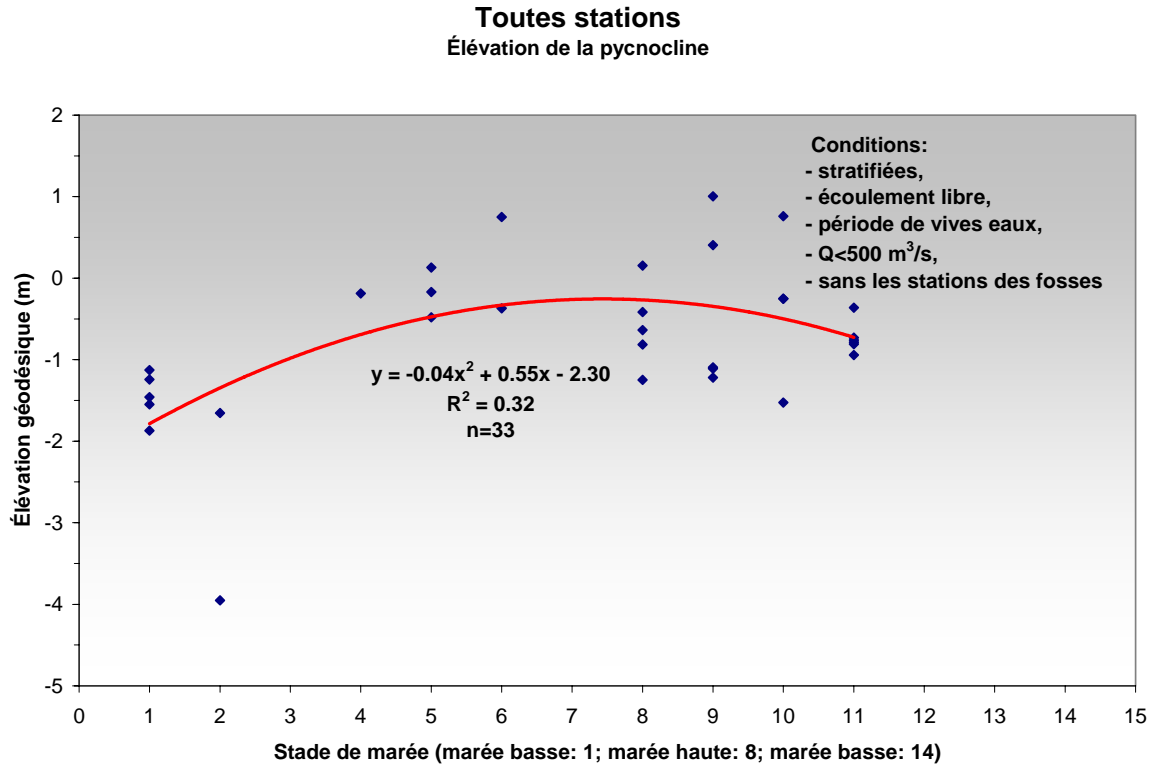


FIGURE 4.2.7 Profils de salinité à la station 8 (chenal central) en hiver et à différents stades de la marée pour des périodes de vives eaux et de mortes-eaux

Station 8, hiver 2005

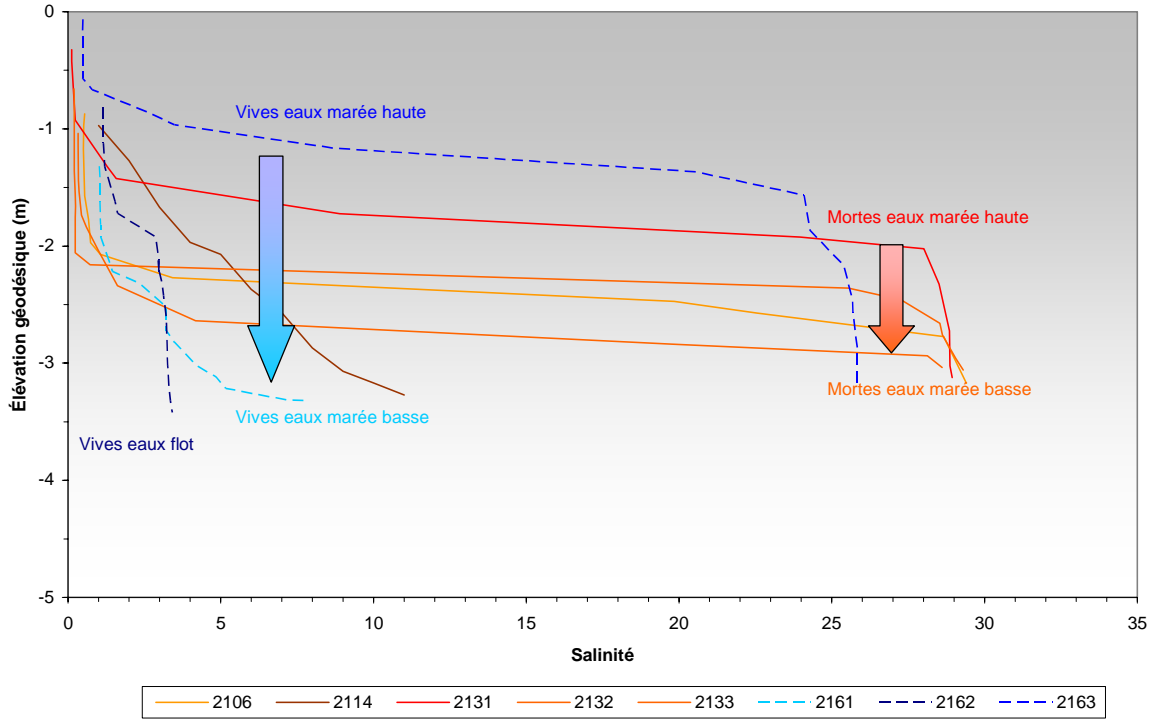


FIGURE 4.2.8 Profils de salinité, température et σ_t dans la fosse de l'Auberge en hiver à différents stades de marée pour des périodes de vives-eaux et de mortes-eaux

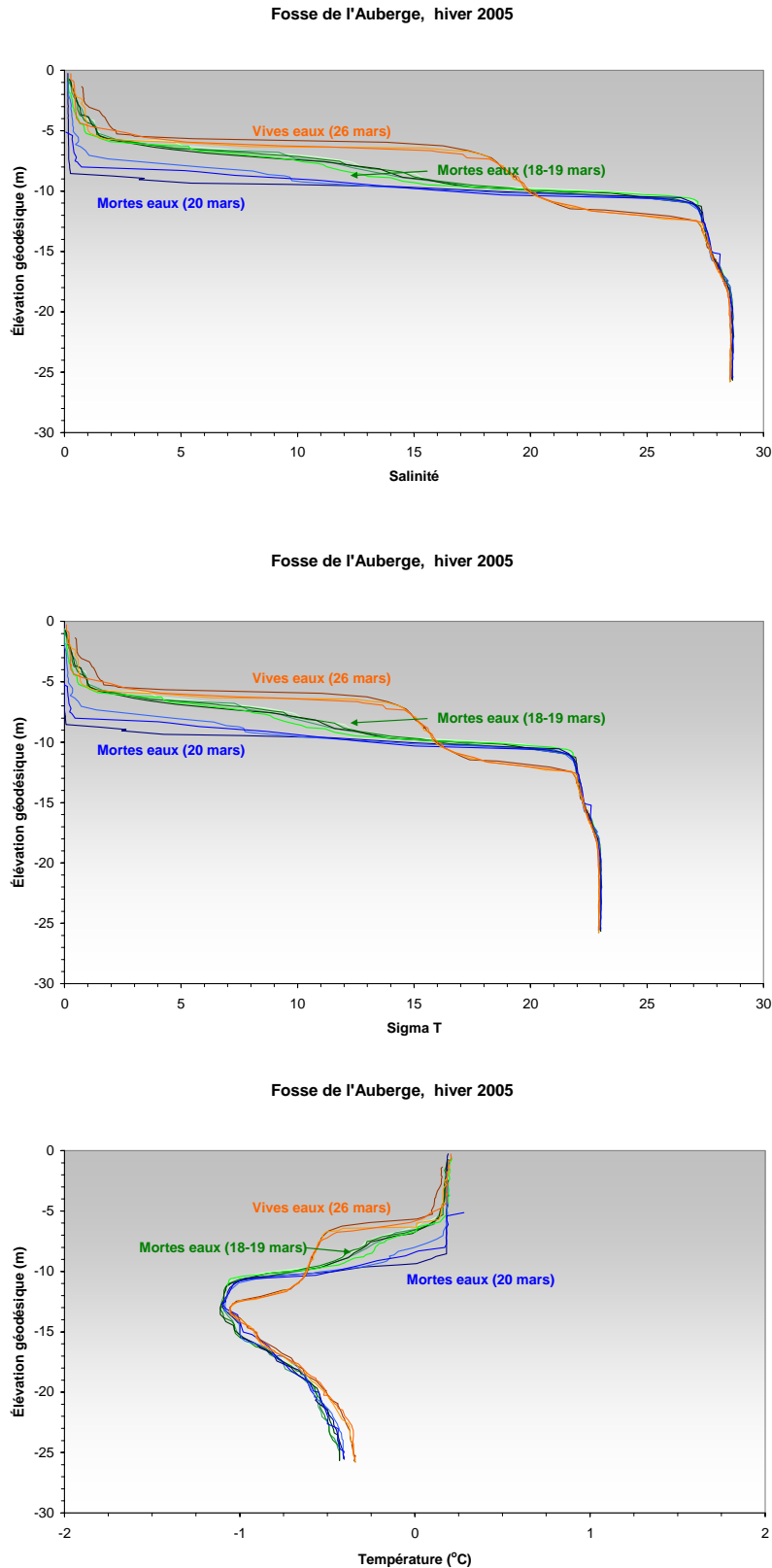


FIGURE 4.2.9 Profils de salinité, température et σ_t dans la fosse aux pieds de la Fausse Chute en hiver à différents stades de marée pour des périodes de vives-eaux et de mortes-eaux

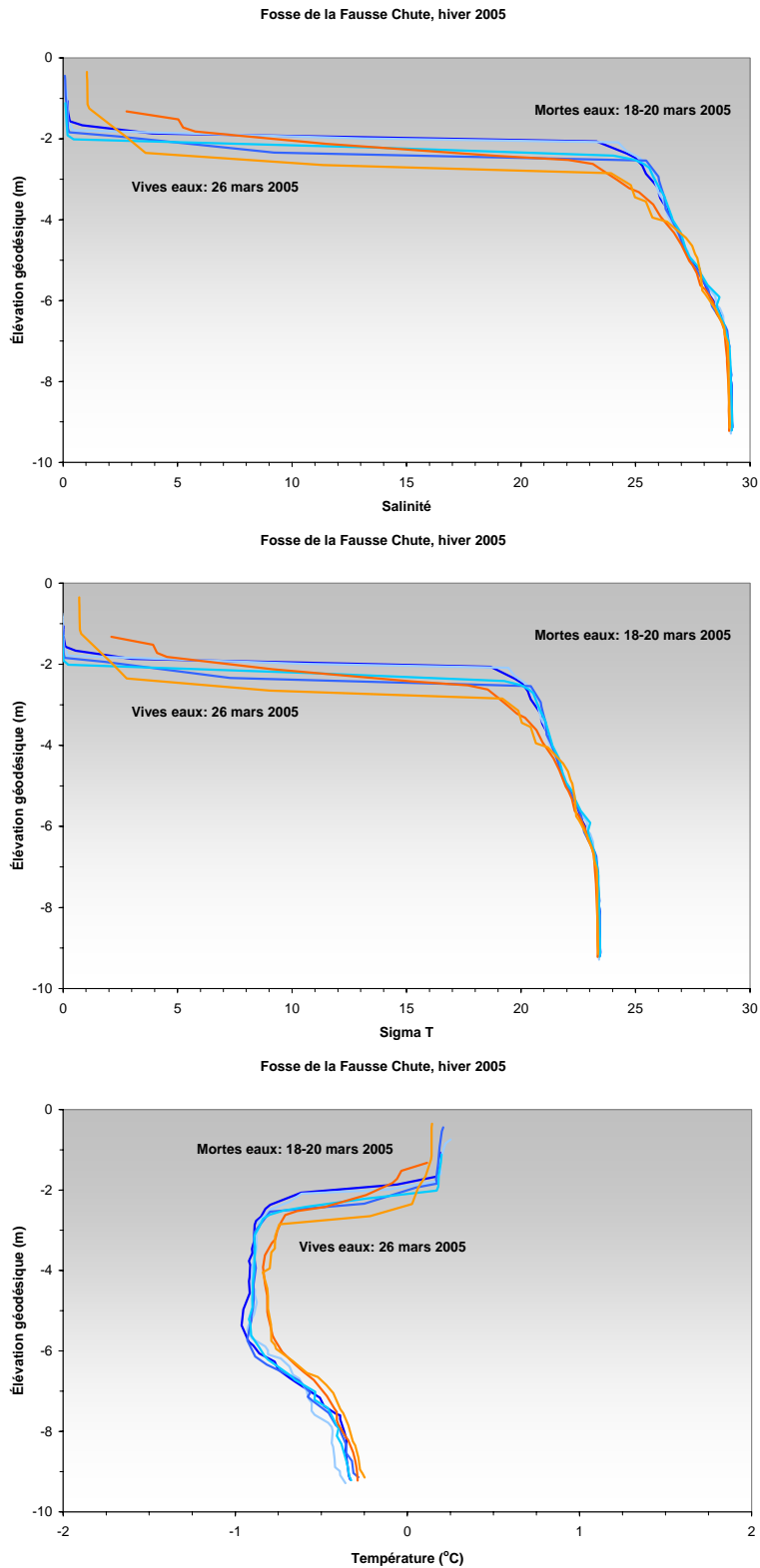


FIGURE 4.2.10 Caractéristiques moyennes de salinité et température dans la couche de surface du chenal de Mingan en fonction de la distance à l'embouchure de la rivière Romaine durant la période de crue

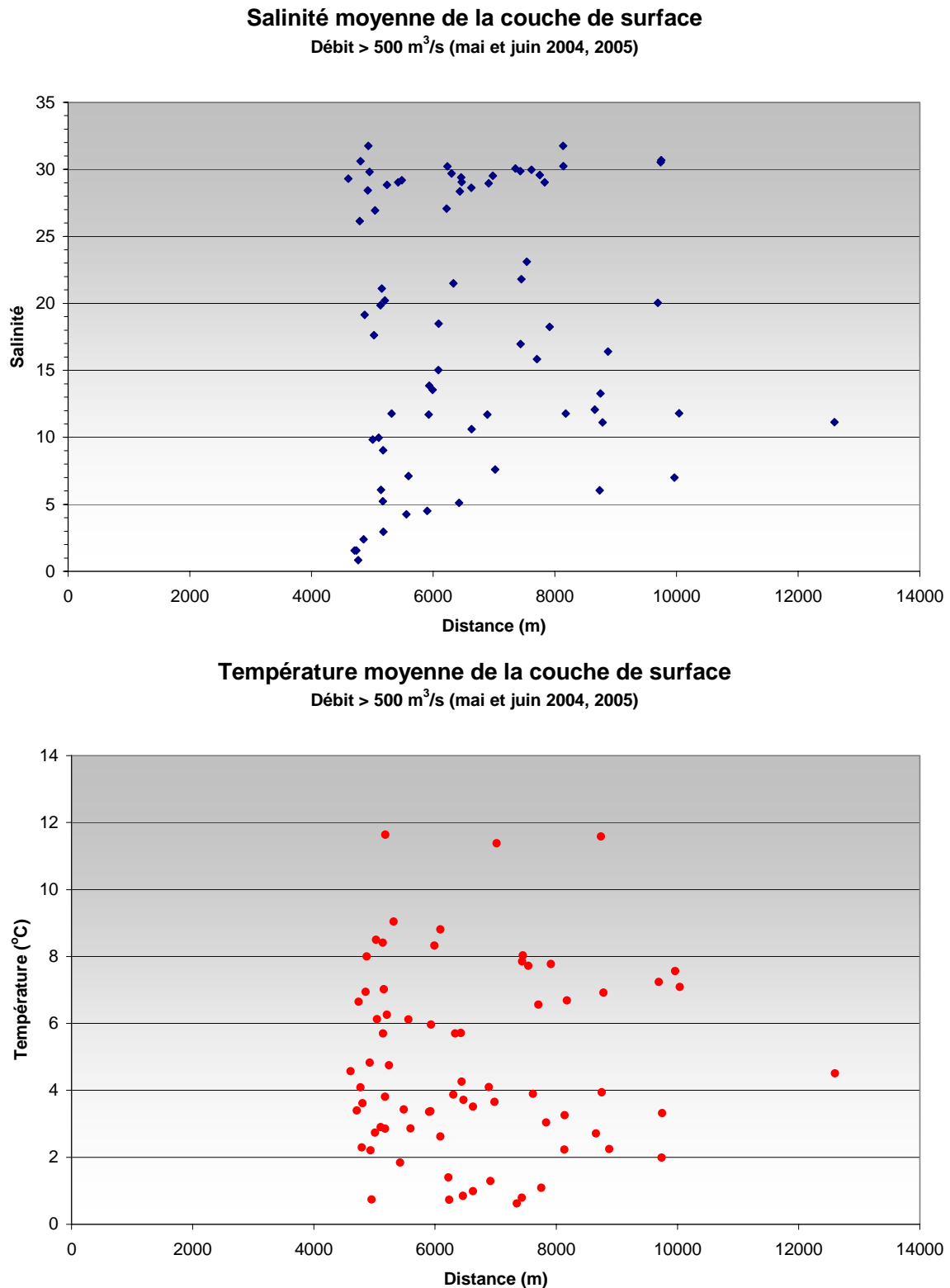


FIGURE 4.2.11 Épaisseur de la couche de surface associée au panache de la rivière Romaine dans le chenal de Mingan en fonction de la distance à l'embouchure

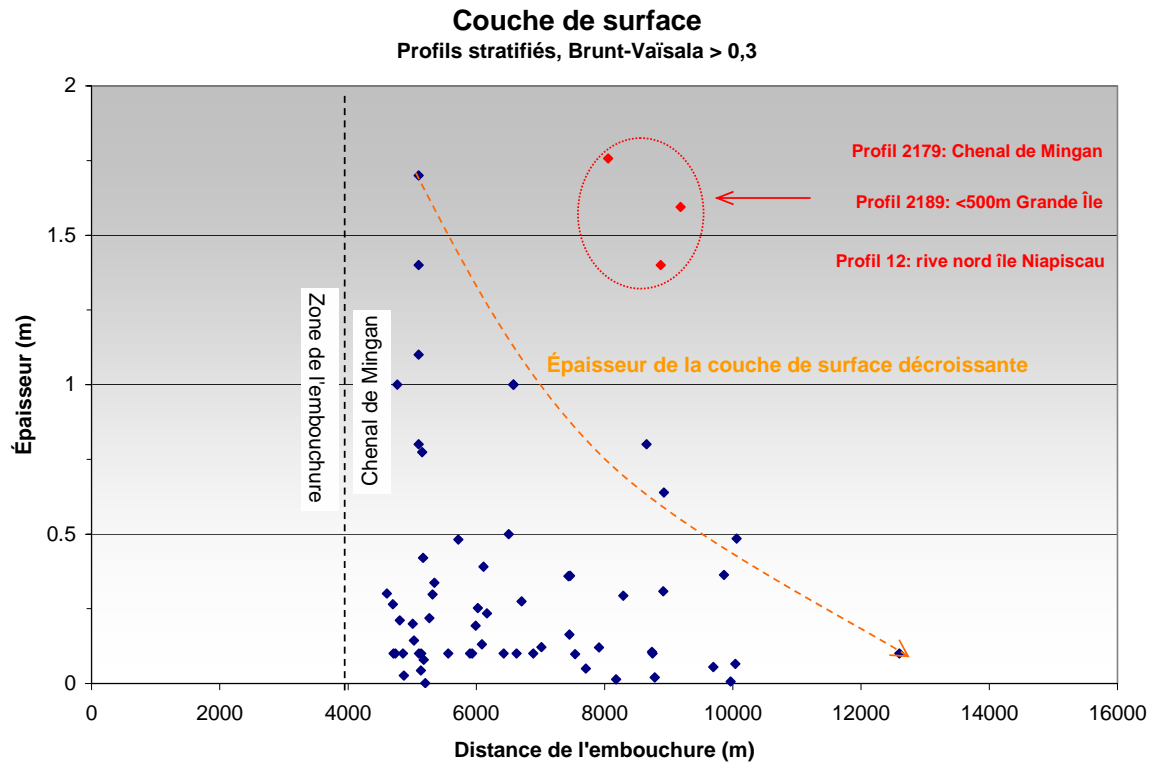
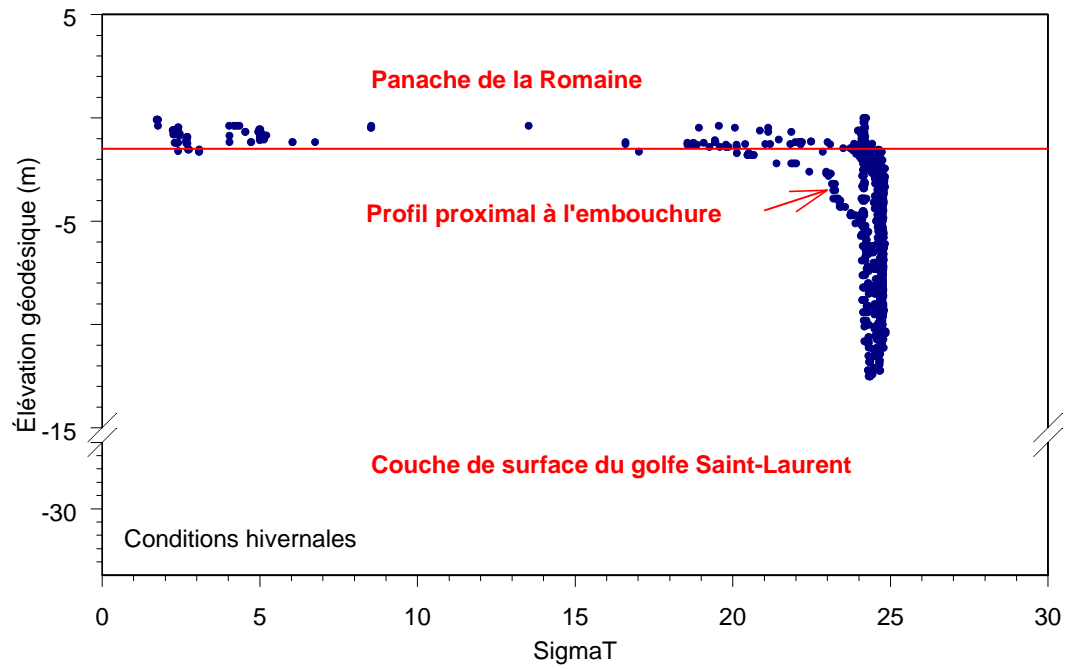
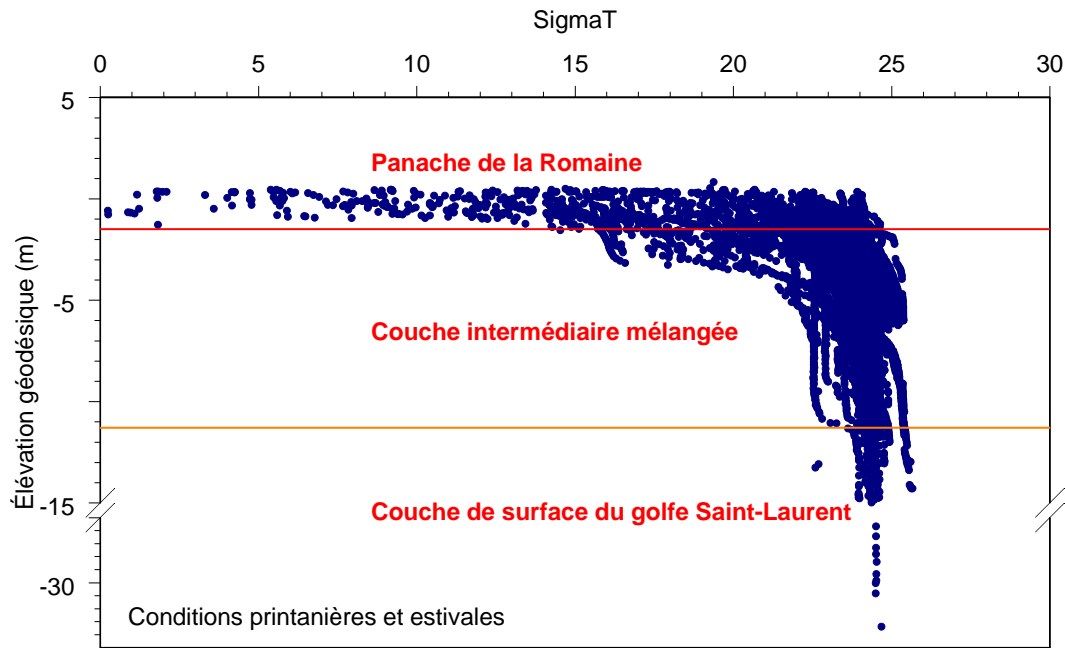


FIGURE 4.2.12 Profils σ_t dans le chenal de Mingan en conditions d'écoulement libre et sous couvert de glace (2004-2005)



panache_sigma

FIGURE 4.2.13 Profils σ_t dans le chenal de Mingan choisis pour mettre en évidence la structure verticale de la colonne d'eau au printemps 2005

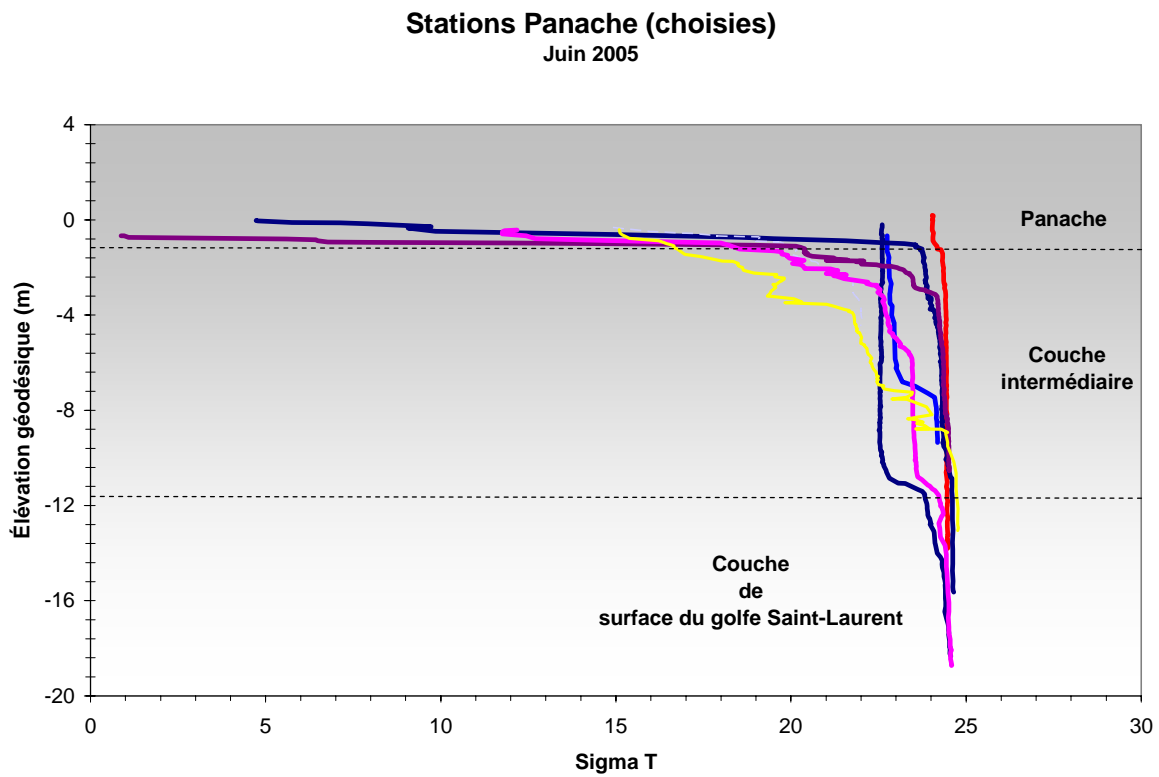


FIGURE 4.2.14 Profils synthèses des caractéristiques physiques (salinité, température) de la colonne d'eau dans le chenal de Mingan pour toutes les périodes de mesures

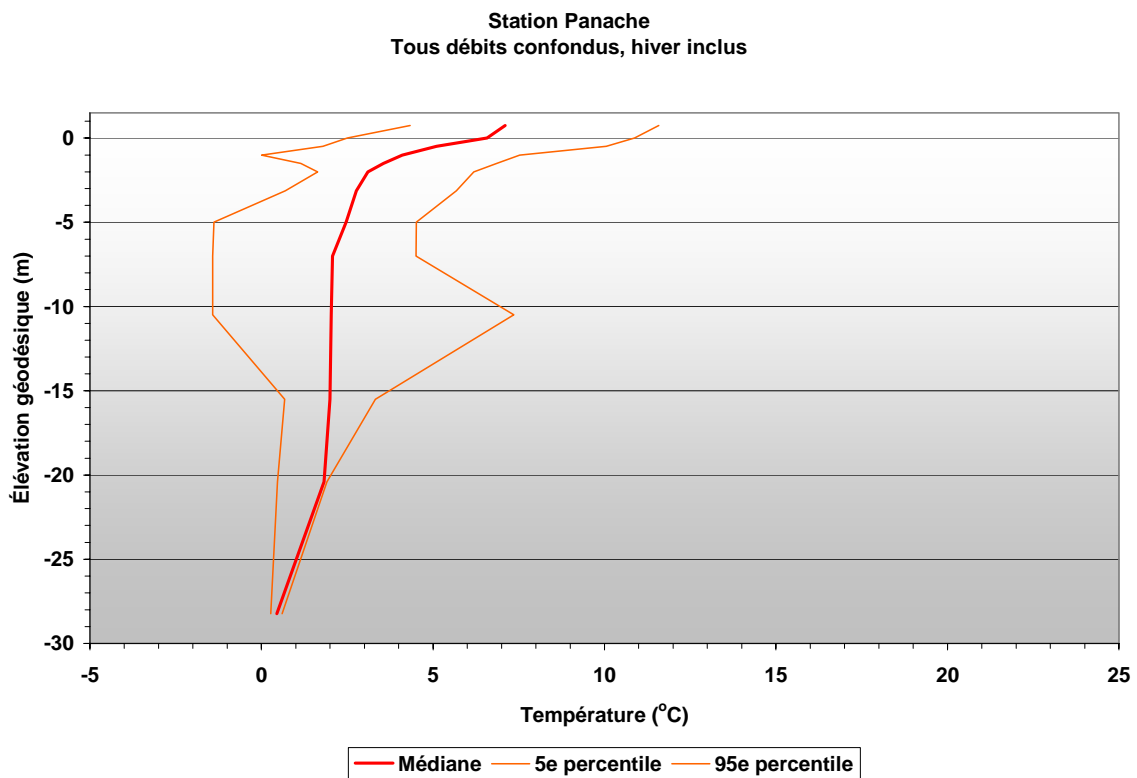
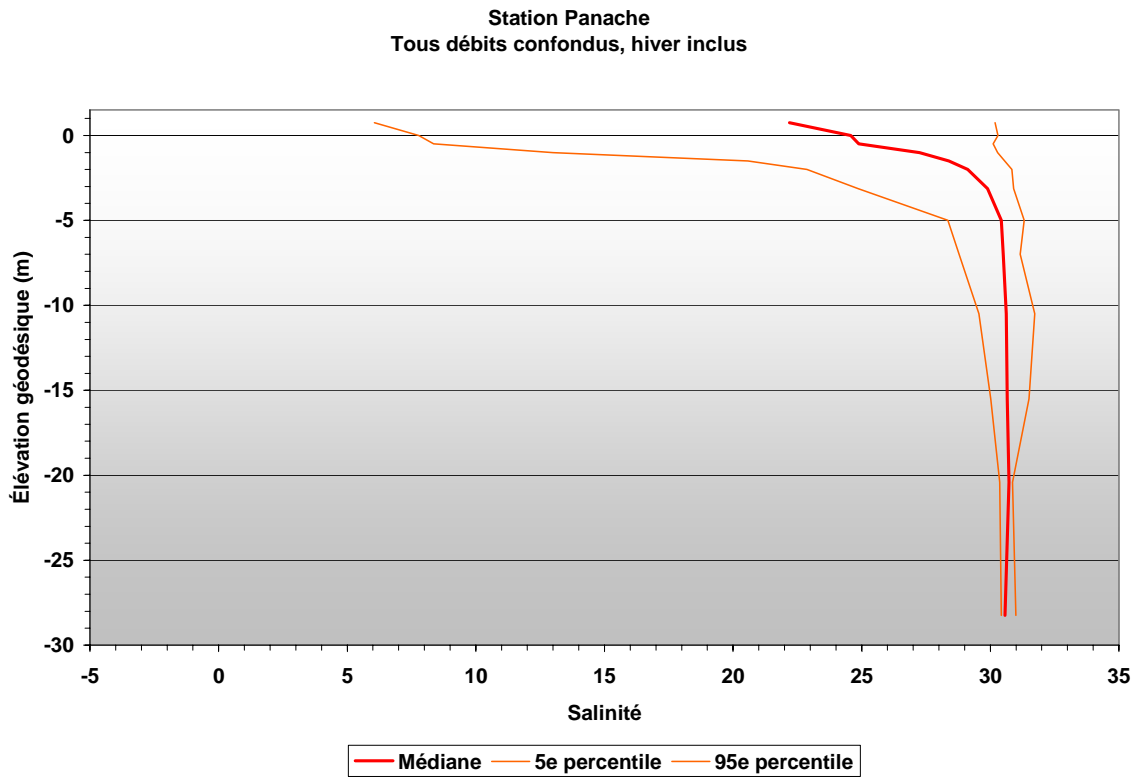
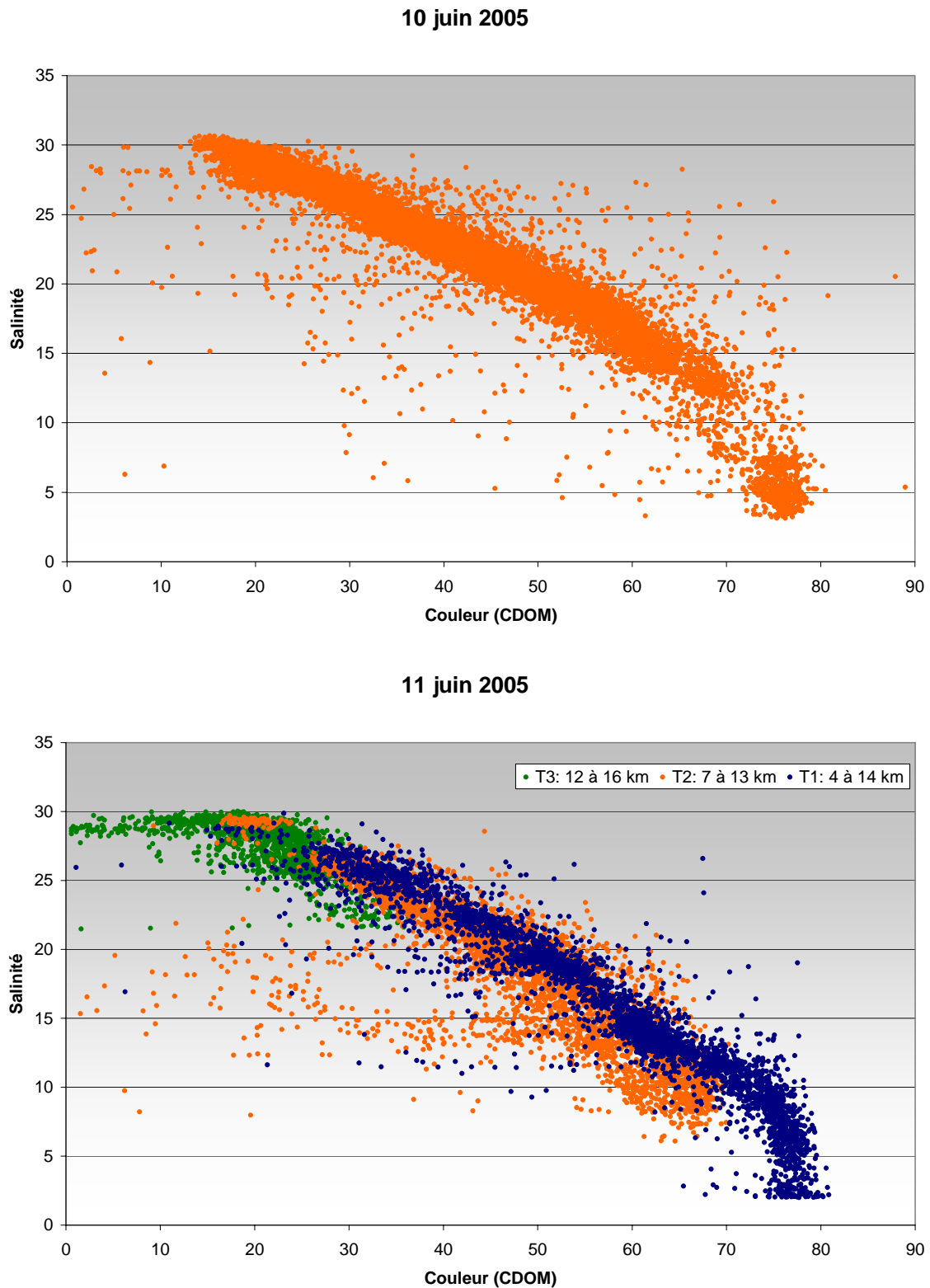


FIGURE 4.2.15 Relation entre la salinité et la couleur de l'eau (CDOM) dans la couche de surface (0,15 à 0,5 m) du chenal de Mingan en juin 2005 (débits de la Romaine : 425 à 570 m³/s)



Conditions de salinité et de température pour un débit supérieur à 500 m³/s dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine

Sources :
 Orthomosaïque : 1 : 15 000, GRTGD Hydro-Québec, 2001 (réalisée à partir de photos aériennes, 1 : 15 000, MRN Québec, 1999), complétée avec les photographies aériennes de 1960
 Inventaires : Environnement Illimité inc., 2001, 2004 et 2005
 Cartographie : Carto-Média
 Fichier : 0344_cm_080_c4-2-1_060330.fh9

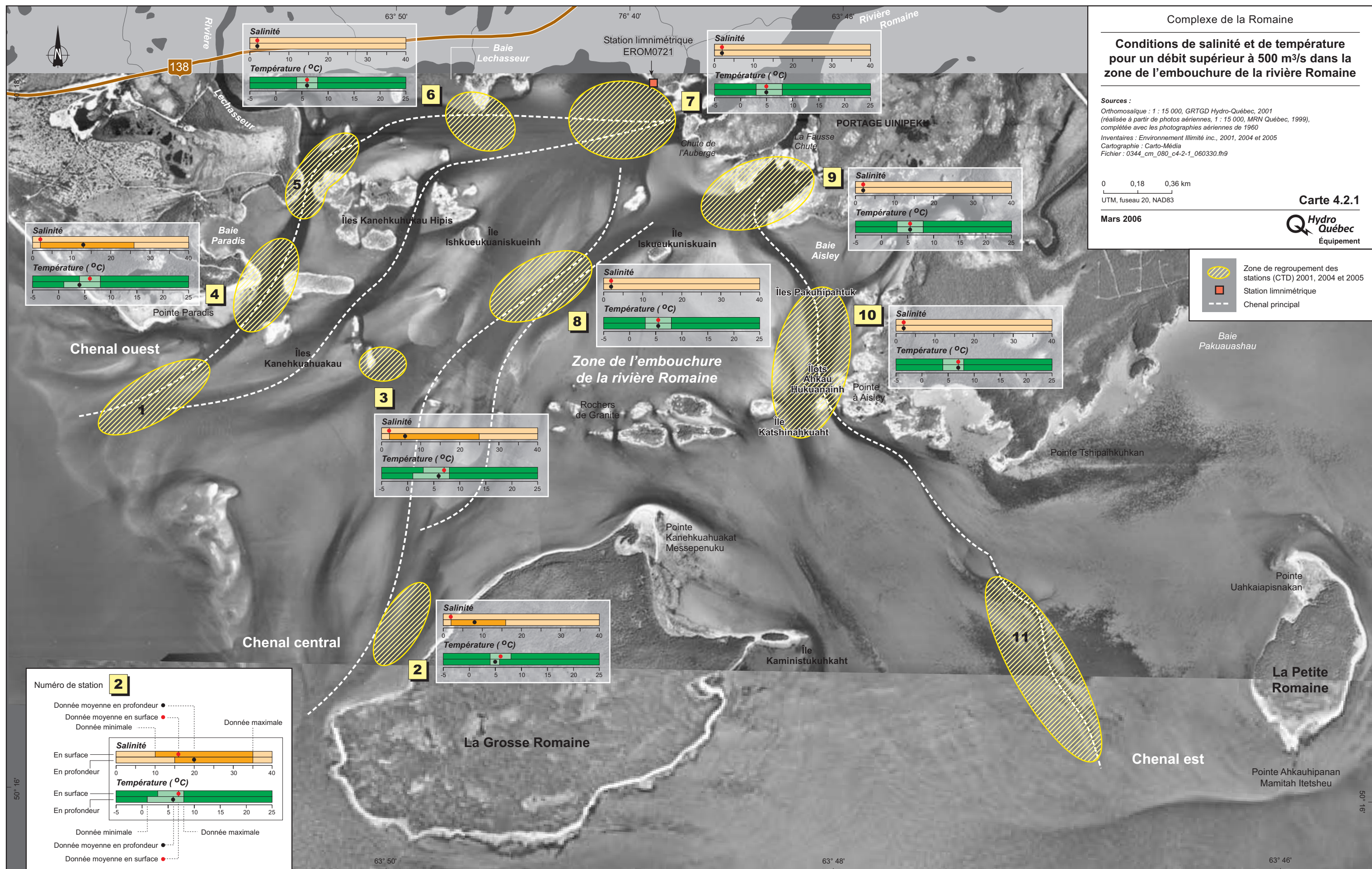
0 0,18 0,36 km
 UTM, fuseau 20, NAD83

Carte 4.2.1



Mars 2006

- Zone de regroupement des stations (CTD) 2001, 2004 et 2005
- Station limnimétrique
- Chenal principal



Numéro de station 2

Donnée moyenne en profondeur ●
 Donnée moyenne en surface ●
 Donnée minimale ●
 Donnée maximale ●

En surface
 En profondeur

Salinité

Température (°C)

En surface
 En profondeur

Donnée minimale ●
 Donnée maximale ●
 Donnée moyenne en profondeur ●
 Donnée moyenne en surface ●

Conditions de salinité et de température pour un débit compris entre 200 et 500 m³/s dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine

Sources :
 Orthomosaïque : 1 : 15 000, GRTGD Hydro-Québec, 2001 (réalisée à partir de photos aériennes, 1 : 15 000, MRN Québec, 1999), complétée avec les photographies aériennes de 1960
 Inventaires : Environnement Illimité inc., 2001, 2004 et 2005
 Cartographie : Carto-Média
 Fichier : 0344_cm_082_c4-2-2_060330.fh9

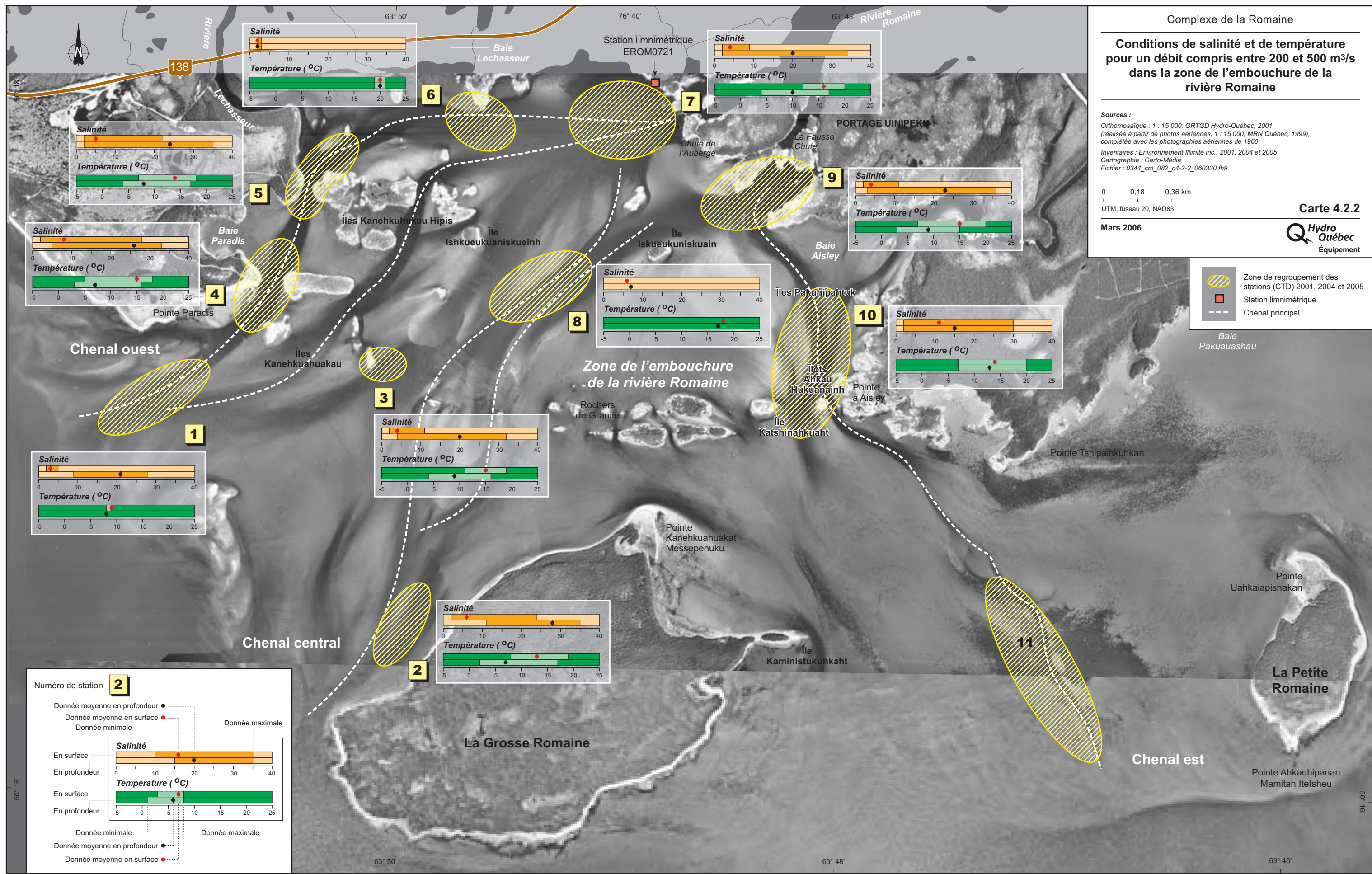
0 0,18 0,36 km
 UTM, fuseau 20, NAD83

Carte 4.2.2

Mars 2006



- Zone de regroupement des stations (CTD) 2001, 2004 et 2005
- Station limnimétrique
- Chenal principal



Numéro de station **2**

Donnée moyenne en profondeur ●
 Donnée moyenne en surface ●
 Donnée minimale ●
 Donnée maximale ●

En surface
 En profondeur

Salinité

Température (°C)

En surface
 En profondeur

Donnée minimale ●
 Donnée maximale ●
 Donnée moyenne en profondeur ●
 Donnée moyenne en surface ●

Conditions de salinité et de température sous couvert de glace dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine

Sources :
 Orthomosaïque : 1 : 15 000, GRTGD Hydro-Québec, 2001 (réalisée à partir de photos aériennes, 1 : 15 000, MRN Québec, 1999), complétée avec les photographies aériennes de 1960
 Inventaires : Environnement Illimité inc., 2001, 2004 et 2005
 Cartographie : Carto-Média
 Fichier : 0344_cm_083_c4-2-3_060330.fh9

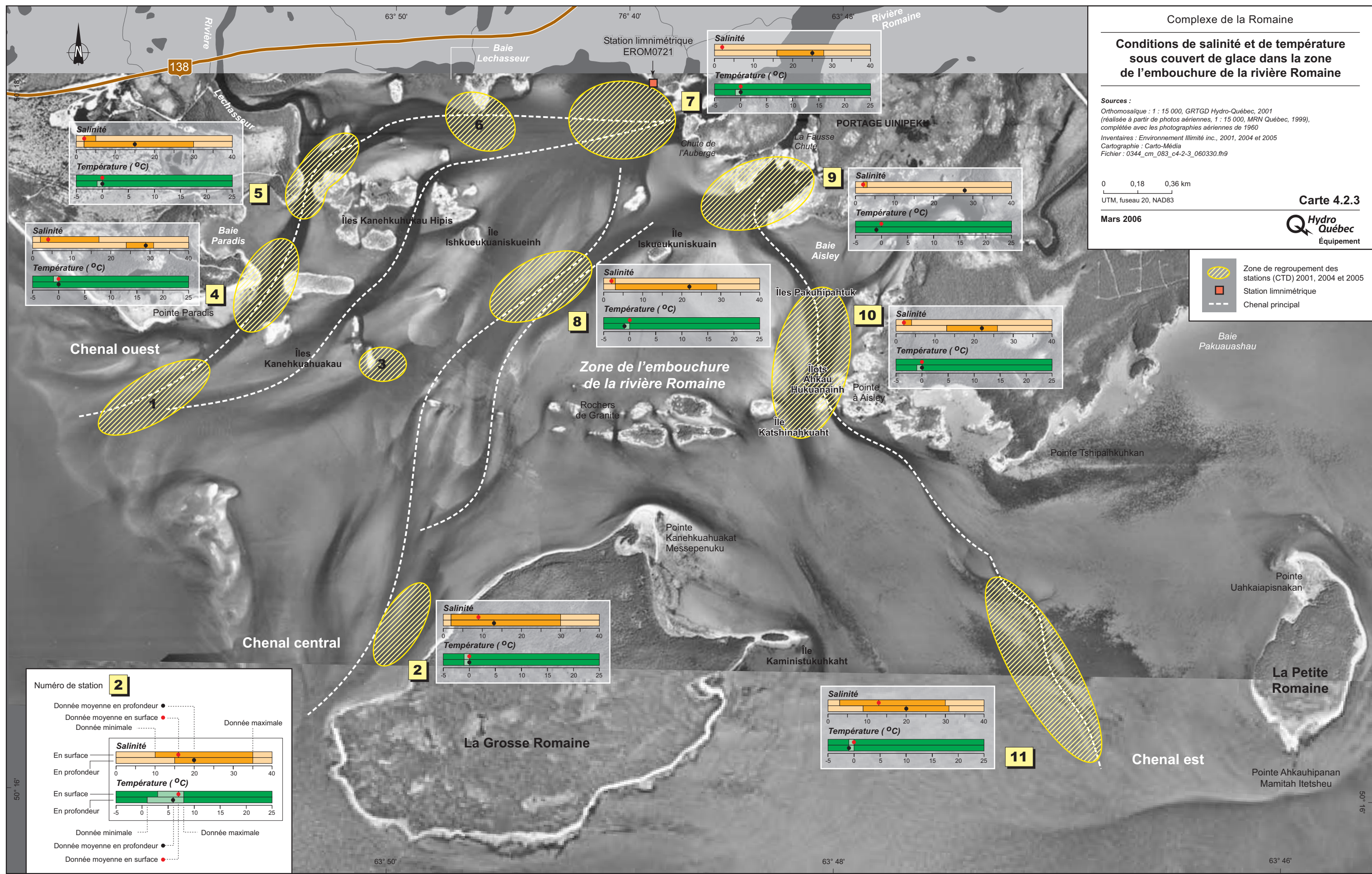
0 0,18 0,36 km
 UTM, fuseau 20, NAD83

Carte 4.2.3



Mars 2006

- Zone de regroupement des stations (CTD) 2001, 2004 et 2005
- Station limnimétrique
- Chenal principal



Numéro de station **2**

Donnée moyenne en profondeur ●
 Donnée moyenne en surface ●
 Donnée minimale ●
 Donnée maximale ●

En surface
 En profondeur

Salinité

Température (°C)

En surface
 En profondeur

Donnée minimale ●
 Donnée maximale ●
 Donnée moyenne en profondeur ●
 Donnée moyenne en surface ●

Variations globales de salinité et de température dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine

Sources :
 Orthomosaïque : 1 : 15 000, GRTGD Hydro-Québec, 2001 (réalisée à partir de photos aériennes, 1 : 15 000, MRN Québec, 1999), complétée avec les photographies aériennes de 1960
 Inventaires : Environnement Illimité inc., 2001, 2004 et 2005
 Cartographie : Carto-Média
 Fichier : 0344_cm_081_c4-2-4_060330.fh9

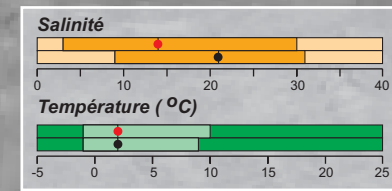
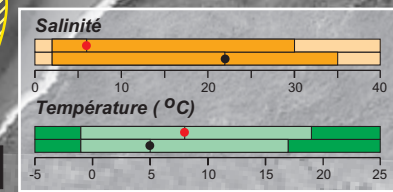
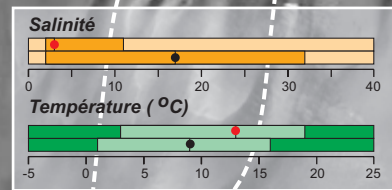
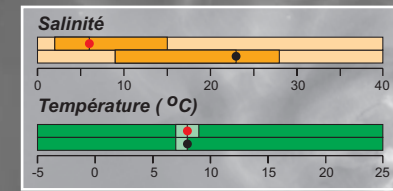
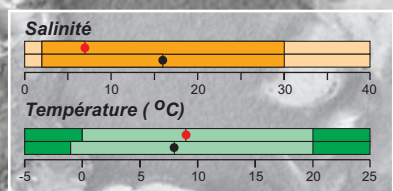
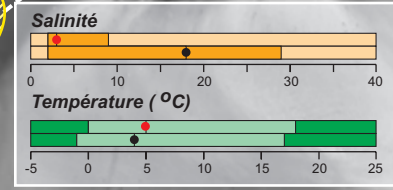
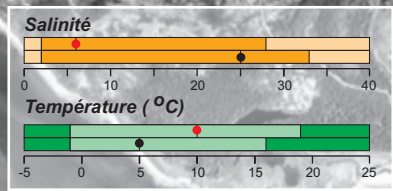
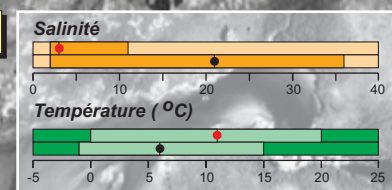
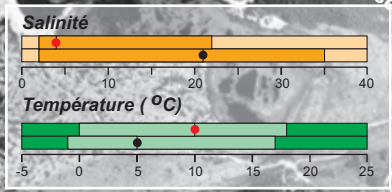
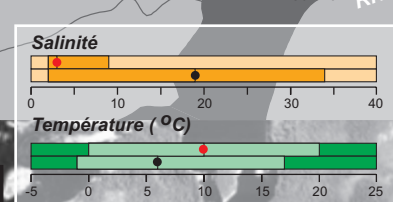
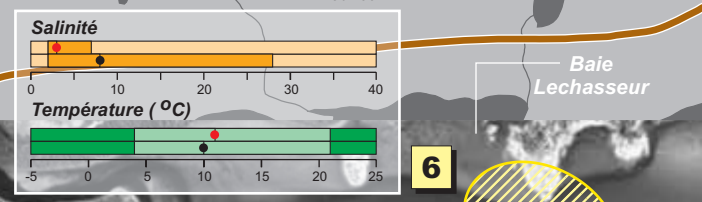
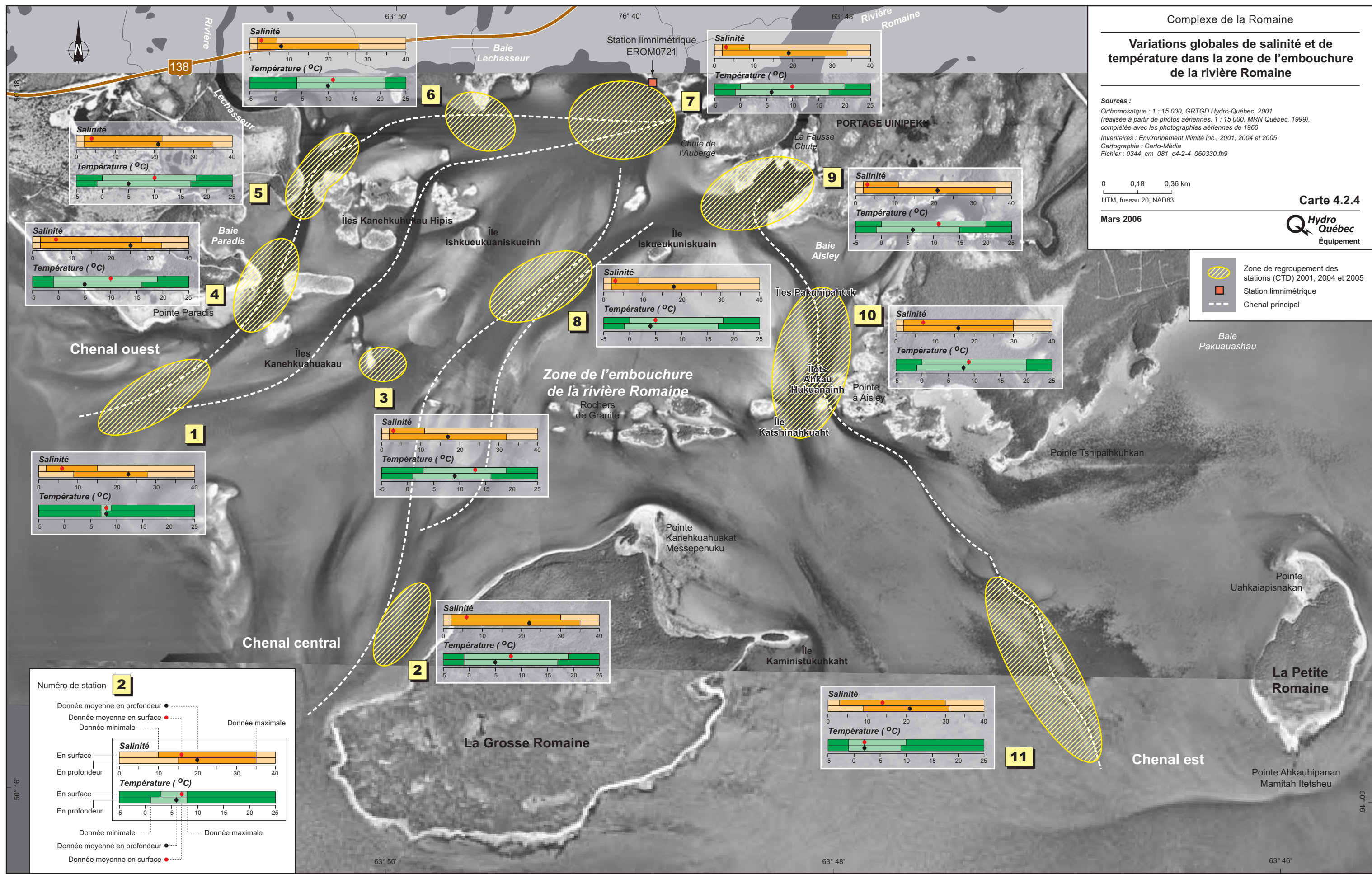
0 0,18 0,36 km
 UTM, fuseau 20, NAD83

Carte 4.2.4



Mars 2006

- Zone de regroupement des stations (CTD) 2001, 2004 et 2005
- Station limnimétrique
- Chenal principal



Numéro de station 2

Donnée moyenne en profondeur ●
 Donnée moyenne en surface ●
 Donnée minimale ●
 Donnée maximale ●

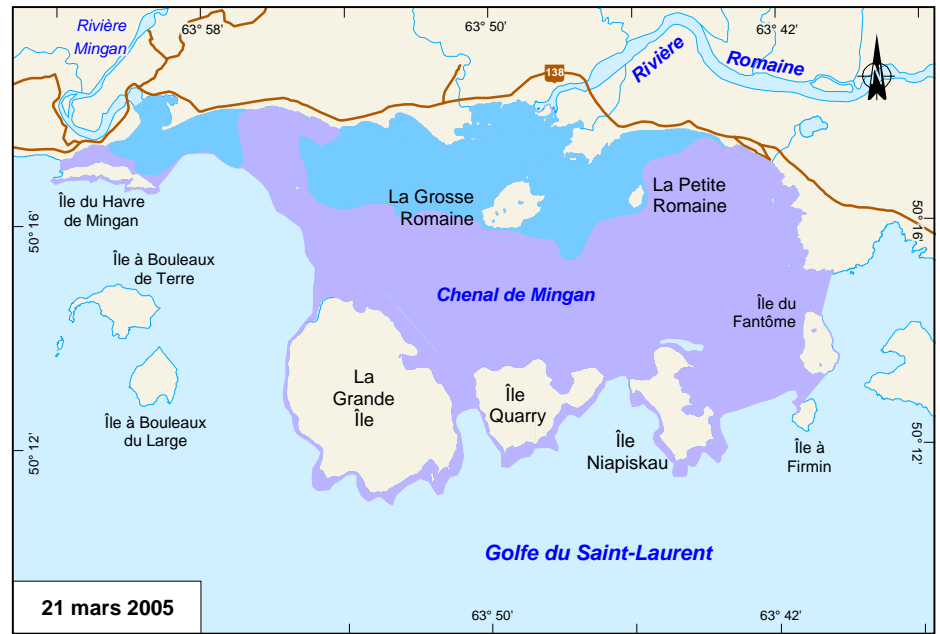
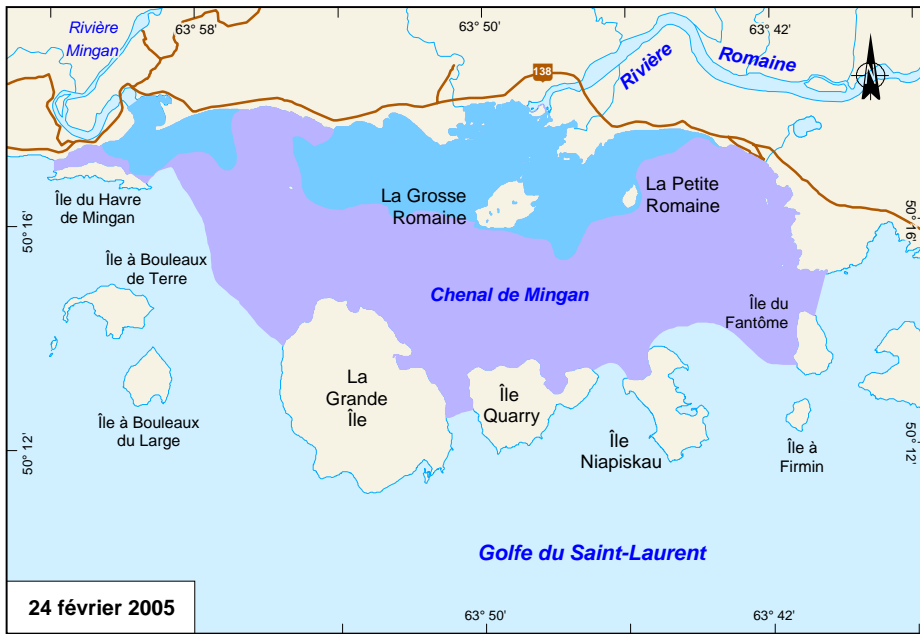
En surface

En profondeur

En surface

En profondeur

Donnée minimale ●
 Donnée maximale ●
 Donnée moyenne en profondeur ●
 Donnée moyenne en surface ●



Complexe de la Romaine

Couvert de glace dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine et le chenal de Mingan, hiver 2005


Couvert de glace
 Couvert de glace avec neige

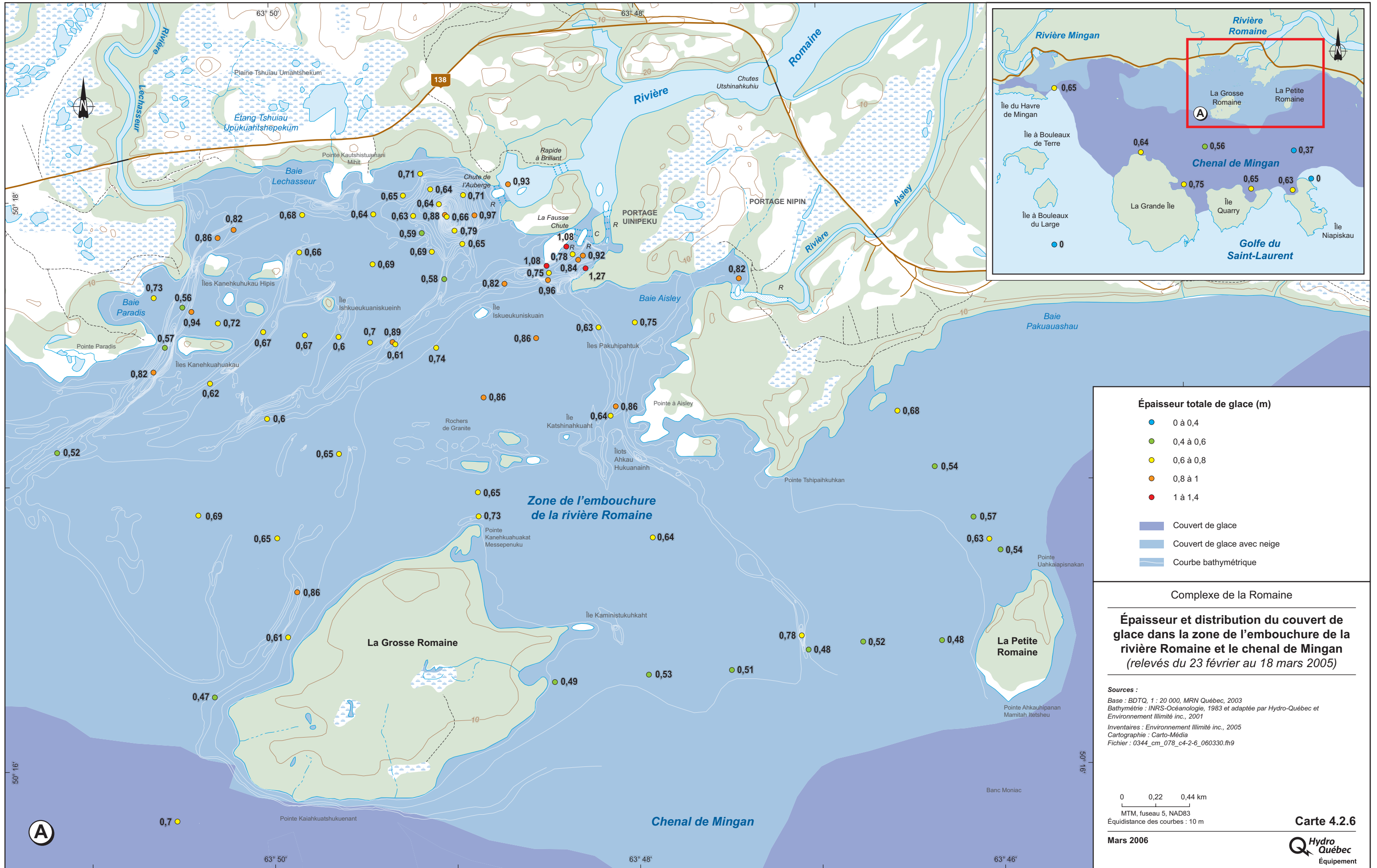
Sources :
 Base : BDTA, 1 : 250 000, MRN Québec, 2002
 Inventaires : Environnement Illimité inc., 2005
 Cartographie : Carto-Média
 Fichier : 0344_cm_085_c4-2-5_060330.wor

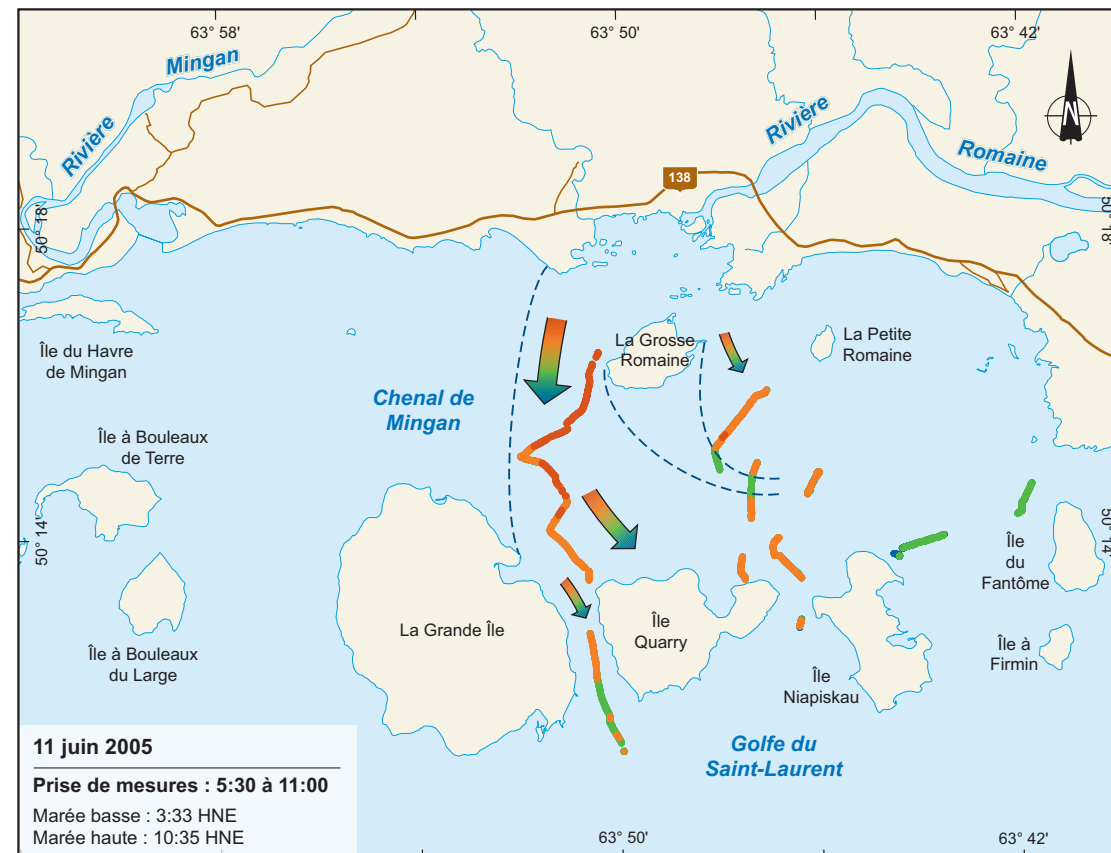
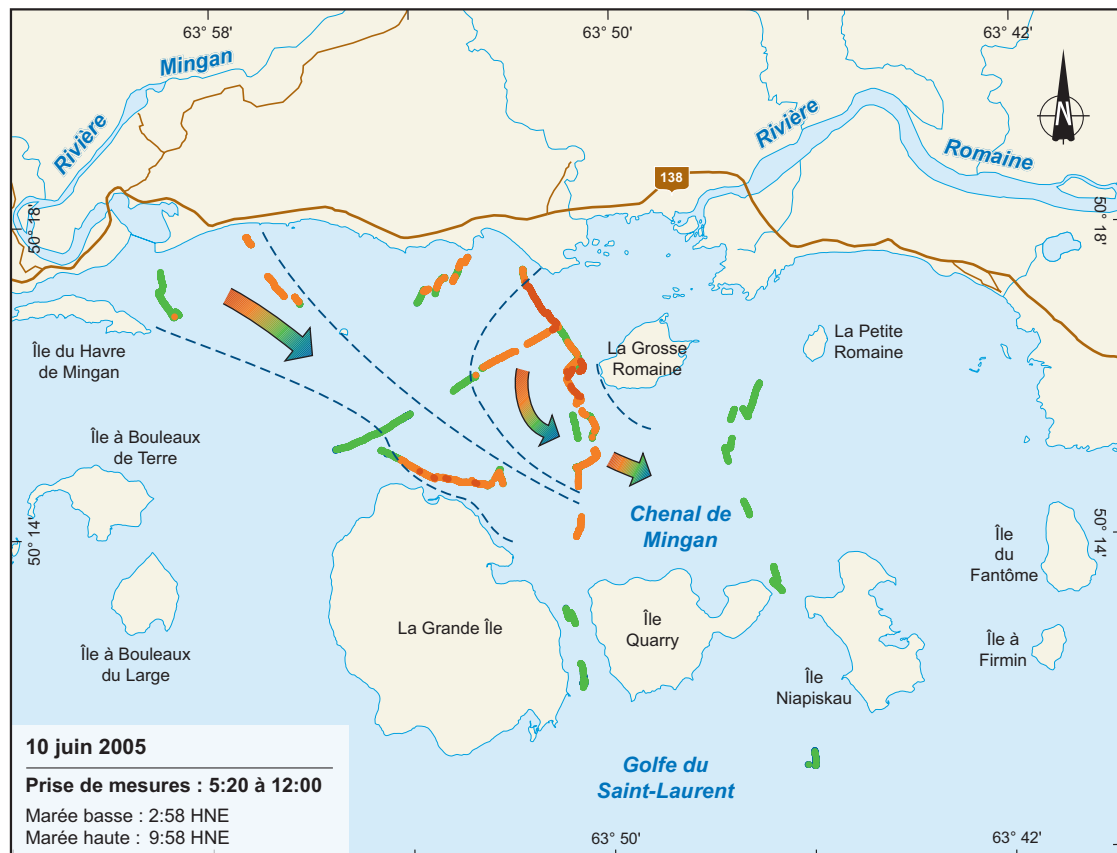
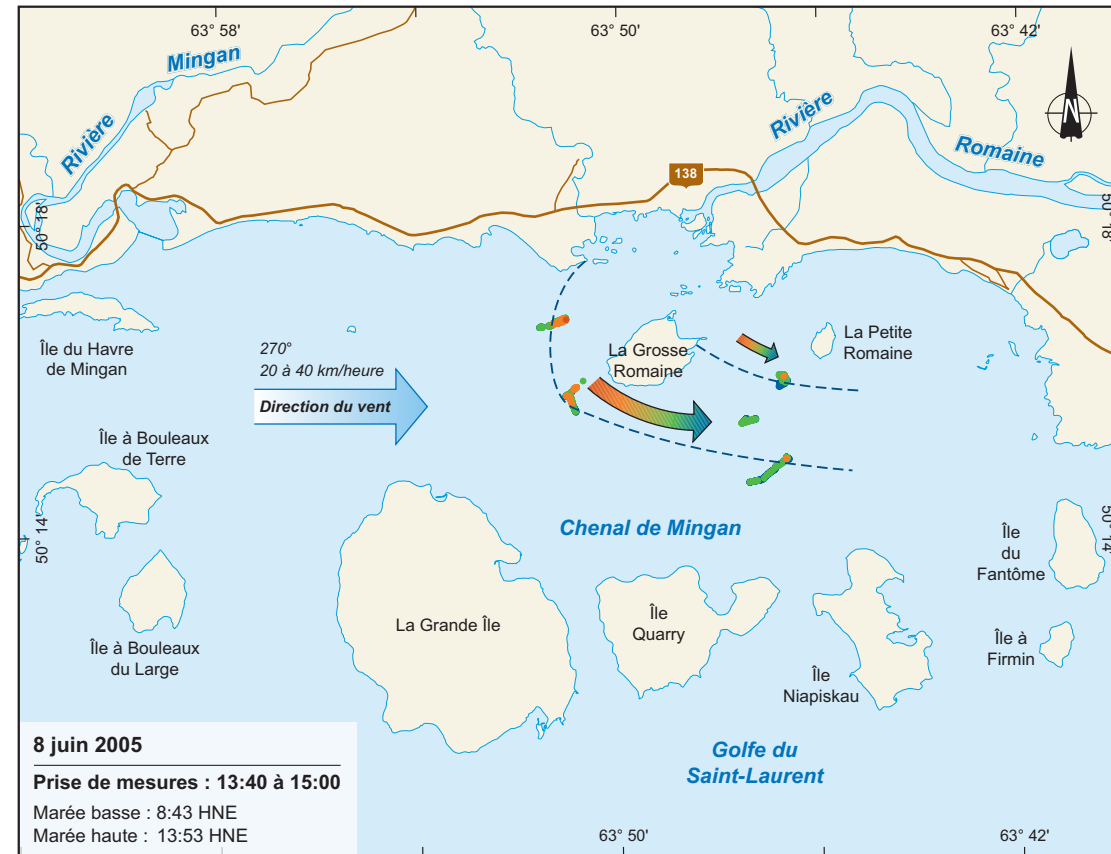
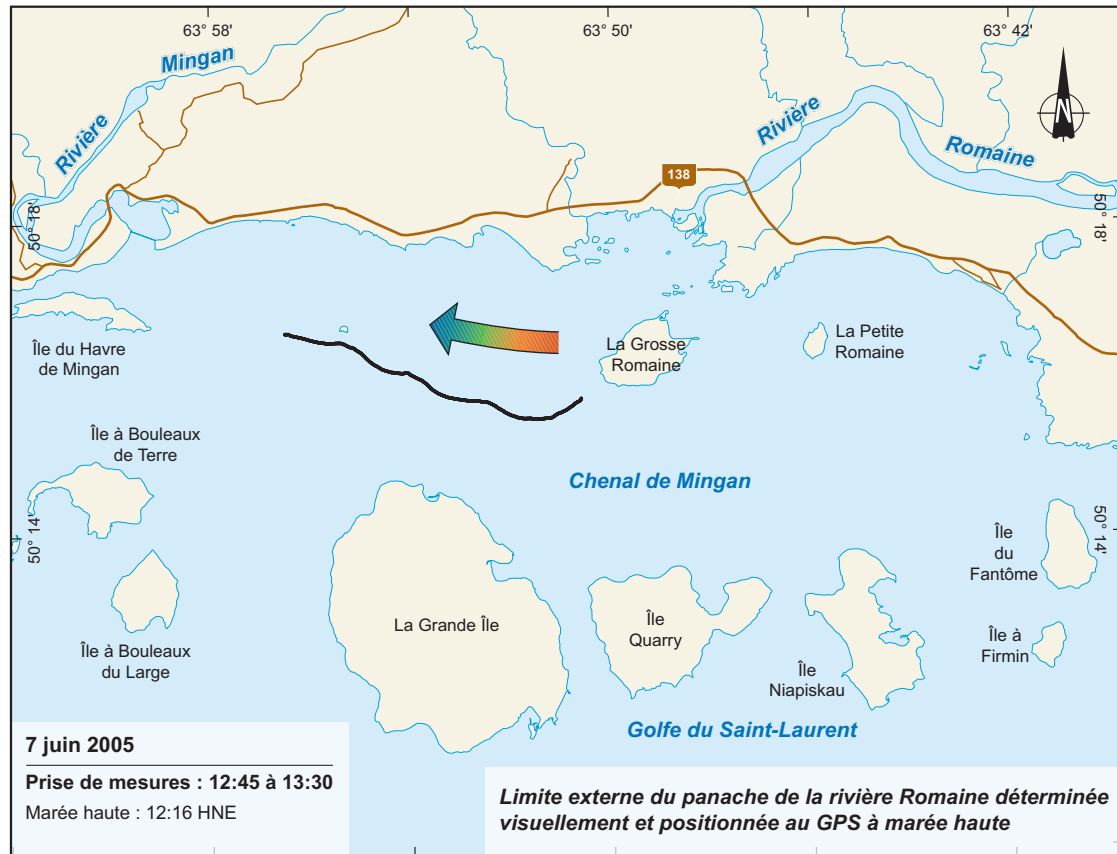
0 2,5 5 km
 MTM, fuseau 5, NAD83

Mars 2006

Carte 4.2.5

 **Hydro Québec**
Équipement





Couleur mesurée par fluorescence X
 (CDOM : Matière organique dissoute colorée)

- Station d'échantillonnage
- 0 à 20 (unité arbitraire)
- 20 à 45
- 45 à 70
- 70 à 100

Panache

- Limite approximative
- Direction

Note : L'instrument calibré en usine, mais non-étalonné au terrain, avait une échelle de lecture de 0 à 270. La couleur de l'eau au pont de la route 138 était d'environ 78.

Complexe de la Romaine

Distribution spatiale de la couleur de l'eau de surface (0,15 à 0,5 m) et délimitation approximative du panache de la rivière Romaine en juin 2006

Sources :
 Base : BDTA, 1 : 250 000, MRN Québec, 2002
 Données climatiques : www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climatedata/hourlydata_f.html
 Inventaires : Environnement Illimité inc., 2005
 Cartographie : Carto-Média
 Fichier : 0344_cm_095_c4-2-7_060330.th9

0 2 4 km
 MTM, fuseau 5, NAD83

Mars 2006

Carte 4.2.7



4.3 Circulation

4.3.1 Zone de l'embouchure

4.3.1.1 Conditions d'eau libre

Les données courantométriques disponibles couvrent une courte période du cycle hydrologique de la rivière Romaine (du 11 juin au 12 septembre 2001). Les mesures avaient commencé tardivement par rapport à la crue ($Q < 455 \text{ m}^3/\text{s}$) et les données disponibles pour des valeurs de débit plus grandes ont été obtenues lors d'une crue subite, le 14 juillet 2001 qui avait atteint $906 \text{ m}^3/\text{s}$. Même si le débit maximal atteint durant la période de mesure des courants est inférieur au débit maximal de la crue ($1\,402 \text{ m}^3/\text{s}$, le 16 mai 2001), il est inclus néanmoins dans la classe supérieure des débits ($Q > 500 \text{ m}^3/\text{s}$) utilisée pour qualifier les conditions de crue. Les données disponibles permettent donc de discuter des courants dans la zone de l'embouchure pour toutes les classes de débit, même si la classe des débits forts aurait pu être plus étendue.

Les mouillages avaient été positionnés dans le chenal ouest (RO-7), en bordure de la zone de l'embouchure près de la surface (RO-2) et près du fond (RO-1), et dans le chenal central (RO-3, RO-4). Ce dernier regroupe plusieurs chenaux secondaires qui migrent en fonction du déplacement des dunes de sable (Lorrain et coll., 2005). Cette partie de la zone de l'embouchure correspond au secteur le plus dynamique et où l'influence des apports fluviaux est la plus grande.

Un trait commun observé à toutes les stations est que le plus fort courant de jusant, généralement orienté vers le sud et le sud-ouest, est supérieur au flot d'environ 10 à 20 cm/s pour toutes les conditions de débit (figure 4.3.1). Par ailleurs, une tendance saisonnière en fonction du débit décroissant met en évidence un ralentissement des vitesses de courant, en particulier en condition d'étiage ($Q < 200 \text{ m}^3/\text{s}$). L'influence du débit de la rivière se fait particulièrement ressentir dans le chenal centre (station RO-3), où le flot est négligeable ($Q > 500 \text{ m}^3/\text{s}$) ou nettement plus faible ($200 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 500 \text{ m}^3/\text{s}$) que le jusant (figure 4.3.1). D'ailleurs, la combinaison du courant de jusant avec le courant fluvial à la station RO-3 génère des vitesses qui atteignent 2 m/s, et plus régulièrement de 0,75 à 1 m/s pour des débits supérieurs à $200 \text{ m}^3/\text{s}$ (figure 4.3.1). Ailleurs, la vitesse du courant est généralement inférieure à 0,5 m/s dans les mêmes conditions.

Dans l'ensemble, la direction des courants de flot et de jusant est cohérente avec l'orientation des chenaux aux emplacements des différentes stations, sauf aux stations RO-1 et RO-2 (carte 4.3.1). À cet emplacement, situé en périphérie de la zone de l'embouchure, la direction du courant est orientée N.O.–S.E. (figure 4.3.1) et est caractéristique du courant de marée qui est parallèle à la côte (carte 4.3.1). L'influence du débit fluvial se fait néanmoins ressentir dans la couche de surface (RO-2) avec une distribution des vecteurs de courant vers le sud et le sud-ouest qui vient masquer la distribution bimodale attribuable à la marée (figure 4.3.1).

4.3.1.2 Conditions sous couvert de glace

Les conditions de débits inférieurs à 200 m³/s sont aussi observées en hiver. Par contre, l'ensemble de la zone de l'embouchure est recouvert par la glace (photo 4.3.1) de telle sorte qu'il n'y a plus de circulation en surface libre (carte 4.1.5)⁷. L'épaisseur de la glace est en moyenne de 0,7 m et varie entre 0,37 et 1,27 m (carte 4.1.6). Compte tenu du fait que la profondeur sur les hauts-fonds et les battures est du même ordre de grandeur que l'épaisseur de la glace, celle-ci peut se retrouver à proximité ou en contact avec le fond à marée basse durant des périodes plus ou moins longues, selon le stade synodique (photo 4.3.2). Les profils de glace décrits à l'hiver 2004 ont été transformés en élévations géodésiques, à partir desquelles la tranche d'eau libre sous le couvert de glace a été calculée pour une marée basse d'une élévation de -0,6 m (5^e percentile). Une valeur négative signifie que la glace est en contact avec le fond d'autant plus longtemps que le chiffre négatif est grand (carte 4.3.2). Le contact prolongé de la glace avec le fond est démontré par la présence de débris végétaux ou animaux (coquilles) sur le pied de glace (photos 4.3.3 à 4.3.6). Dans certaines carottes, les sédiments forment des horizons qui témoignent d'une périodicité dans le cycle de contact de la glace avec le fond (photo 4.3.6). Cette périodicité pourrait être attribuable au cycle synodique de la marée.

La tranche d'eau libre sous le couvert de glace est particulièrement mince ou absente sur la grande batture située au sud de la Fausse Chute, sur les battures situées près de la Pointe-Paradis et sur la zone peu profonde entre les îles La Grosse Romaine et La Petite Romaine et la pointe Aisley (carte 4.3.2). L'écoulement est aussi restreint dans la baie Aisley et dans la partie amont du chenal est (carte 4.3.2).

Nous ne disposons pas de données de courant sous couvert de glace, mais la description des profils de salinité mesurés à l'hiver 2004 permet de déduire certains traits de la circulation des masses d'eau en hiver. Tout d'abord, l'apport principal d'eau douce dans la zone de l'embouchure se fait probablement par la chute de l'Auberge, comme en témoigne la plus basse élévation de la couche d'eau douce (-7 m) à la station n° 7 (figure 4.3.2a) par rapport à la fosse de la Fausse Chute (station n° 9, figure 4.3.2b), où la couche d'eau douce de surface ne s'abaisse pas sous -2 m. Dans les deux cas, le faible écart entre la salinité minimale et maximale signifie que les conditions de stratification sont stables, quel que soit le stade de marée. Ainsi, un plus grand volume doit transiter par la chute de l'Auberge et il est probable que l'écoulement par la Fausse Chute est nul ou négligeable. En effet, en dessous d'un débit d'environ 300 m³/s, l'élévation du seuil de la rivière Aisley empêche l'écoulement de la Romaine (I. Therriault, comm. pers., 24 mars 2006) dans la partie est de la zone de l'embouchure, favorisant d'autant l'intrusion saline.

L'écoulement d'eau douce de la rivière Romaine dans la zone de l'embouchure doit se faire autant par le chenal ouest (stations n° 5 et n° 4, figures 4.3.2c et 4.3.2d) que par le chenal central (stations n° 8 et n° 2, figures 4.3.2e et 4.3.2f), parce que l'élévation à laquelle de l'eau douce est observée dans la couche de surface est comparable (entre -2,5 m et -3 m).

7. La couverture de glace durant la saison 2006 était moins développée et ne couvrait que partiellement la zone de l'embouchure. Le chenal de Mingan était libre de glace tout l'hiver, contrairement à la saison 2005.

L'eau salée du chenal de Mingan pénètre dans la zone de l'embouchure jusqu'à une élévation supérieure d'environ -1,5 m aux stations du chenal ouest (figures 4.3.2c et 4.3.2d) et se mélange plus ou moins fortement de l'aval à l'amont (de 0 à 11) dans la couche de surface. Dans le chenal central, l'eau salée affecte toute la colonne d'eau à la station aval (figure 4.3.2f), alors qu'à la station amont, l'eau salée est limitée à une élévation de -3 m (figure 4.3.2e) et qu'au-dessus l'eau est rapidement mélangée avec la présence perpétuelle d'une strate d'eau douce à faiblement salée (moins de 5) de la surface à une élévation de -1 m (figure 4.3.2e). Cette stratification permanente n'est pas observée dans le chenal ouest et sa présence indique que l'écoulement principal de la rivière se fait par le chenal central avant de se diffuser dans la partie aval du chenal, moins profonde.

Il est intéressant de noter que certains profils homogènes d'eau douce ont été mesurés à toutes les stations des chenaux ouest et central (figures 4.3.2c à 4.3.2f). Dans la mesure où le débit en hiver est faible, cette caractéristique aussi observée au printemps ne peut s'expliquer que par un écoulement contraint à passer par les chenaux autour de la marée basse, puisque les glaces limitent le passage de l'eau sur les hauts-fonds et chenaux secondaires.

Dans le chenal est, les conditions de salinité au fond sont toujours supérieures à 13 psu et toujours supérieures à 5 psu à partir d'une élévation de -1,5 m (station 11, figure 4.3.2h) à -2 m (station 10, figure 4.3.2g) des conditions stratifiées sont observées à la station amont (station 10), avec une couche de surface d'eau douce à faiblement salée (moins de 5) et de l'eau saumâtre (moins de 15) jusqu'à une élévation de -1,5 m. Dans la mesure où les caractéristiques sont similaires à celles observées à la station de la Fausse Chute (figure 4.3.2b), cela signifie qu'il y a probablement une partie du débit de la rivière qui continue à être évacué par le chenal est.

4.3.2 Chenal de Mingan

4.3.2.1 Circulation

La description de la circulation dans le chenal de Mingan repose sur des données anciennes provenant de mouillages de courantomètres en août et en septembre 1980 (carte 4.3.3) et des résultats du modèle hydrodynamique de l'atlas des courants dans l'archipel de Mingan. Celui-ci permet d'illustrer le patron des courants à différents stades de la marée (figure 4.3.3). Ce modèle ne tient pas compte de l'effet du vent ni des apports d'eau douce des rivières. Les séries temporelles de courantométrie obtenue en 1980 couvre une période d'un peu plus d'un mois (d'août à la mi-septembre 1980) pour des profondeurs de 15 à 52 m (Bilodeau, 1983).

Les séries temporelles des courants et des caractéristiques des masses d'eau (salinité, température) montrent une variation semi-diurne de la température et de la salinité qui met en évidence le jeu d'une masse d'eau côtière légèrement moins salée et de la couche de surface du golfe du Saint-Laurent (figure 4.3.4). L'augmentation générale de la salinité et la diminution de l'amplitude des variations semi-diurnes en fonction de la saison témoignent du mélange graduel de la masse d'eau côtière qui est moins affectée par la crue printanière maintenant terminée

(figure 4.3.4). L'effet des apports d'eau douce est plus marqué pour les stations moins profondes (jusqu'à environ 15 m) et plus proches de la zone de l'embouchure (stations 4 et 5, carte 4.3.3). Les conditions de température se stabilisent à la hausse vers la fin du mois d'août, avec un refroidissement graduel par la suite, attribuable aux conditions météorologiques (figure 4.3.4). Les conditions de salinité se stabilisent à la hausse vers la mi-septembre. Le passage d'une crue automnale précoce ou à des pluies abondantes est nettement observable à la fin de septembre (figure 4.3.4). Bien que notable, l'effet de la crue automnale est faible, avec une diminution de la salinité de moins de 2 psu aux stations observées (de 31,5 à 30 psu).

La configuration générale de la circulation peut être déduite de l'analyse des vecteurs progressifs (figure 4.3.5). Ceux-ci indiquent une entrée d'eau nette vers le chenal de Mingan par le chenal au sud de l'île du Havre de Mingan (station 8) et un écoulement stratifié dans le chenal de Niapiskau avec une entrée d'eau au fond et une sortie en surface vers le détroit de Jacques-Cartier (station 4). Dans Le Grand Chenal à l'ouest de La Grande Île, l'écoulement est aussi stratifié. La vitesse moyenne durant la période de mesure s'établit entre 3 cm/s et 11 cm/s (figure 4.3.5).

Afin d'estimer les volumes d'eau déplacés durant un cycle de marée, nous avons calculé le débit à différents stades de la marée semi-diurne en multipliant la vitesse moyenne (chaque vecteur est estimé au 0,5 m/s) déduite du modèle hydrodynamique par l'aire des sections choisies (figure 4.3.3). Bien qu'approximatif, ce calcul permet d'établir l'importance relative des volumes d'eau transitant par les différents chenaux sur un cycle de marée (figure 4.3.6). Les résultats sont présentés dans le tableau 4.3.1. Le volume le plus important transite par le chenal de Niapiskau et Le Grand Chenal dans l'ordre. Le débit total sur le cycle de marée indique un écoulement hors du chenal de Mingan à l'est (chenal de Niapiskau) comme à l'ouest (chenal de La Grande Île).

4.3.2.2 Régime de la houle et des vagues

La région de l'archipel de Mingan est soumise à la houle qui provient principalement de l'ouest-sud-ouest (fetch : 230 km) et du sud-ouest (120 km) dont la hauteur atteint 2 m en moyenne (Ross et Long, 1989). Lors des périodes de tempêtes, elle peut atteindre 4 à 5 m de hauteur, mais ces événements sont peu fréquents : une fois en été et deux fois en automne (Long et coll., 1986). La hauteur des vagues moyennes est généralement inférieure à 1 m (Entraco, 1991). Dans le détroit de Jacques-Cartier à la hauteur de l'archipel de Mingan, la fréquence des vagues de plus de 2 m est de 20 à 30 % en avril et en octobre, de 30 % en décembre et de 30 à 40 % en novembre. Le reste du temps, elle est inférieure à 20 %. C'est donc au printemps et en automne que les vagues les plus grosses sont observées. Par contre, l'activité littorale marine est fortement atténuée à la hauteur de la zone de l'embouchure de la rivière Romaine qui présente une forme classique de milieu de faible énergie (Lupien et coll., 1979). La protection de la zone de l'embouchure par les îles de Mingan contre la houle du large, principal agent de remobilisation littorale, fait en sorte que les matériaux fluviaux sont peu remaniés par le mouvement des vagues (Lupien et coll., 1979). Dans l'ensemble, la zone de l'embouchure de la rivière Romaine est un milieu stable à l'échelle décennale (Laroche, 1983).

TABLEAU 4.3.1 Calculs du débit moyen sur un cycle semi-diurne de marée de vives-eaux à différentes sections dans le chenal de Mingan

Stade de marée (m ³ /s)	Grand Chenal	Chenal de Mingan	Chenal de Niapiskau
MH	0	-9 563	-1 958
MH+1	30 141	55 436	68 596
MH+2	36 651	77 729	157 775
MH+3	92 217	87 423	154 838
MH+4	92 217	87 423	154 838
MH+5	104 621	70 270	180 318
MB	119 997	45 629	154 838
MB+1	95 755	6 653	142 098
MB+2	73 302	-17 598	63 700
MB+3	59 716	-79 382	-94 076
MB+4	25 425	-75 494	-68 596
MB+5	7 095	-53 464	-43 316
Total	737 137	195 063	869 055

FIGURE 4.3.1 Distribution de la direction du courant en fonction de la vitesse aux différentes stations en fonction des tranches de débits

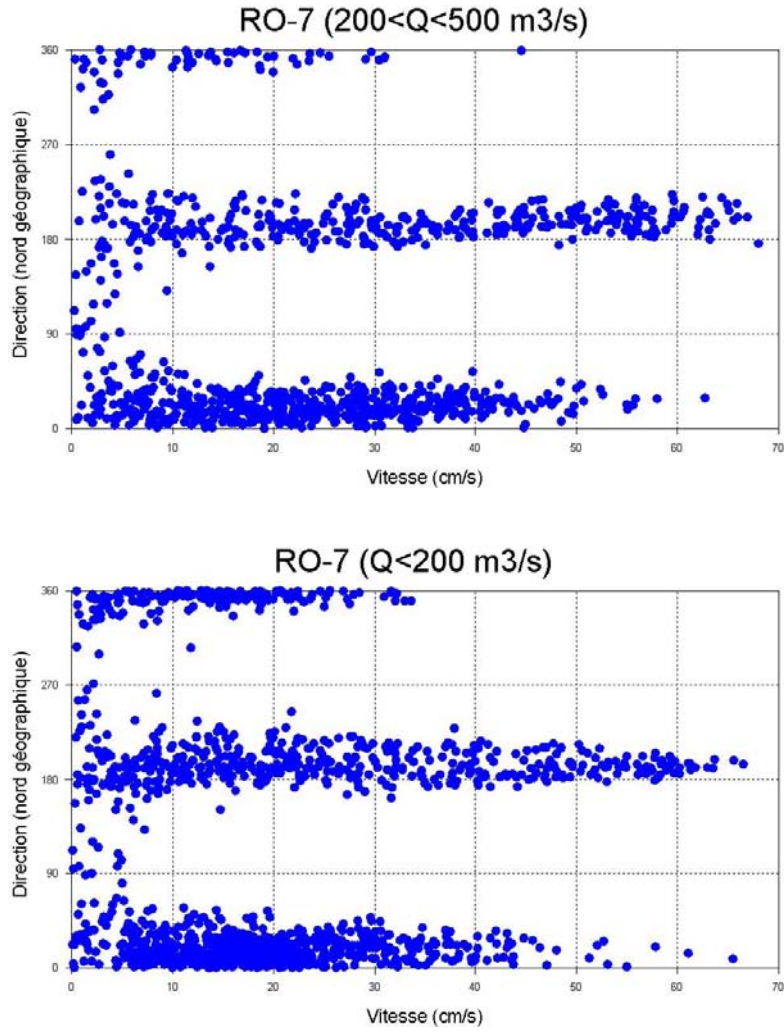


FIGURE 4.3.1 Distribution de la direction du courant en fonction de la vitesse aux différentes stations en fonction des tranches de débits (suite)

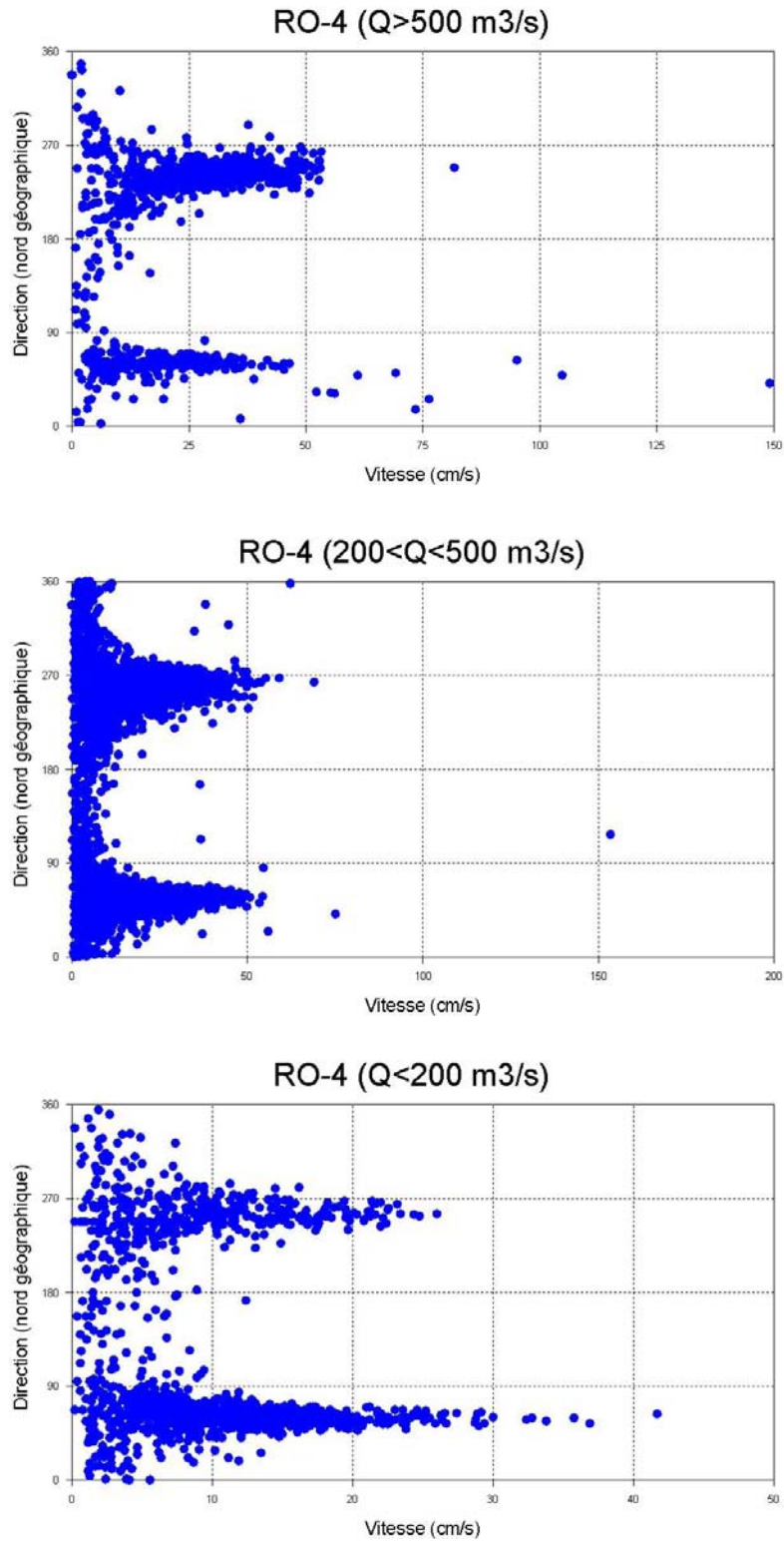


FIGURE 4.3.1 Distribution de la direction du courant en fonction de la vitesse aux différentes stations en fonction des tranches de débits (suite)

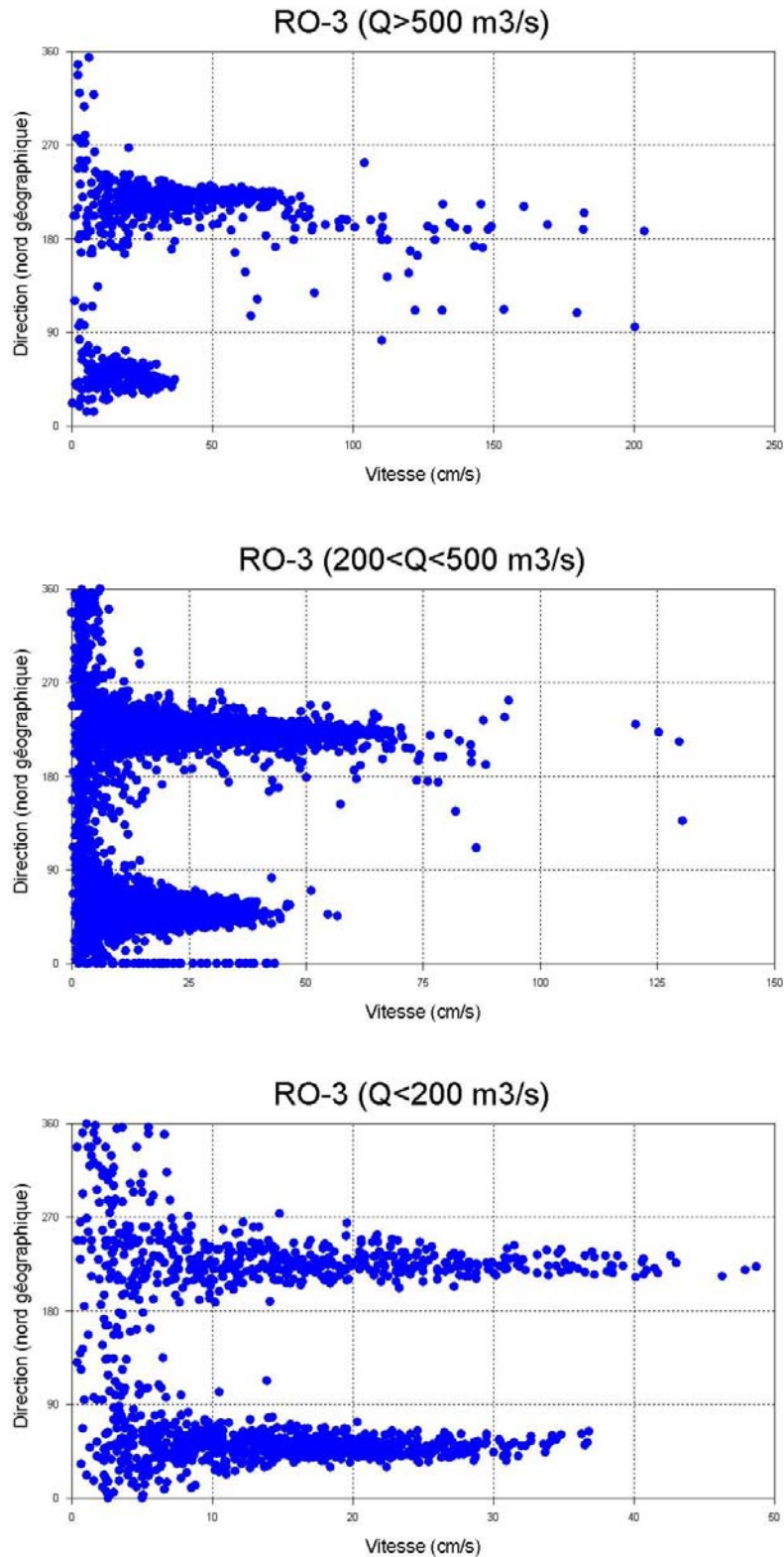


FIGURE 4.3.1 Distribution de la direction du courant en fonction de la vitesse aux différentes stations en fonction des tranches de débits (suite)

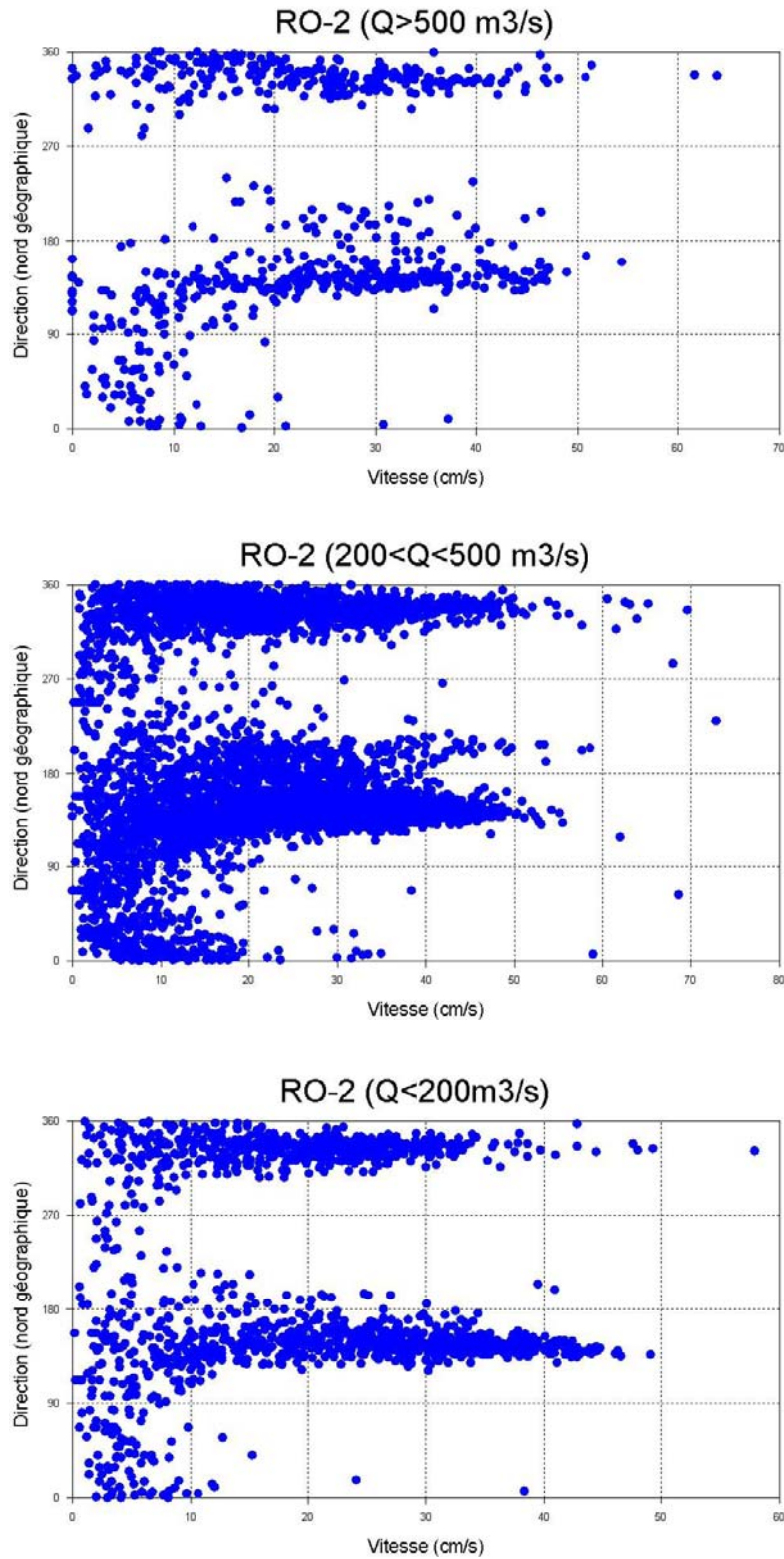


FIGURE 4.3.1 Distribution de la direction du courant en fonction de la vitesse aux différentes stations en fonction des tranches de débits (suite)

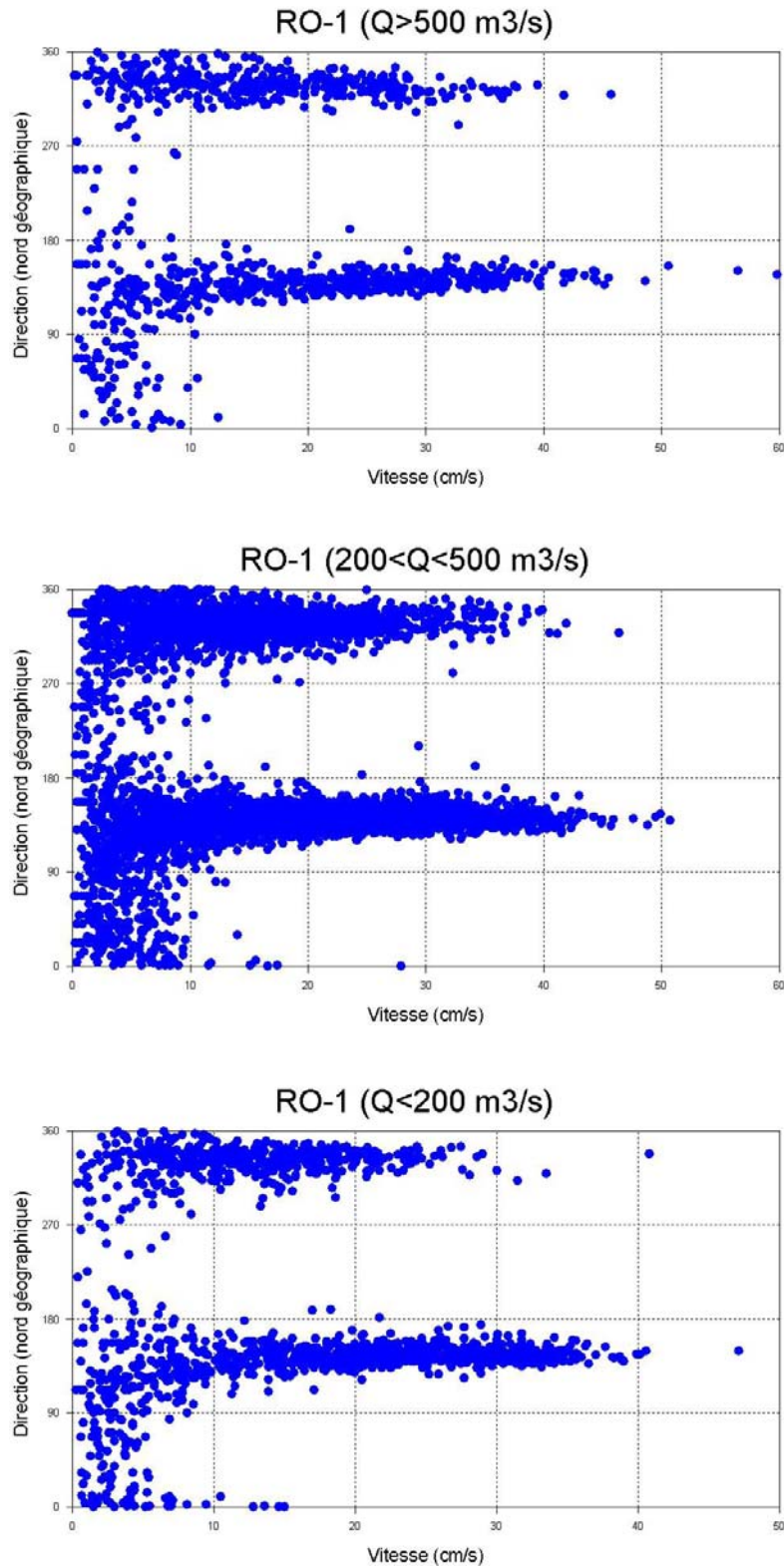


FIGURE 4.3.2 Profils synthèses de salinité dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine (hiver 2004)

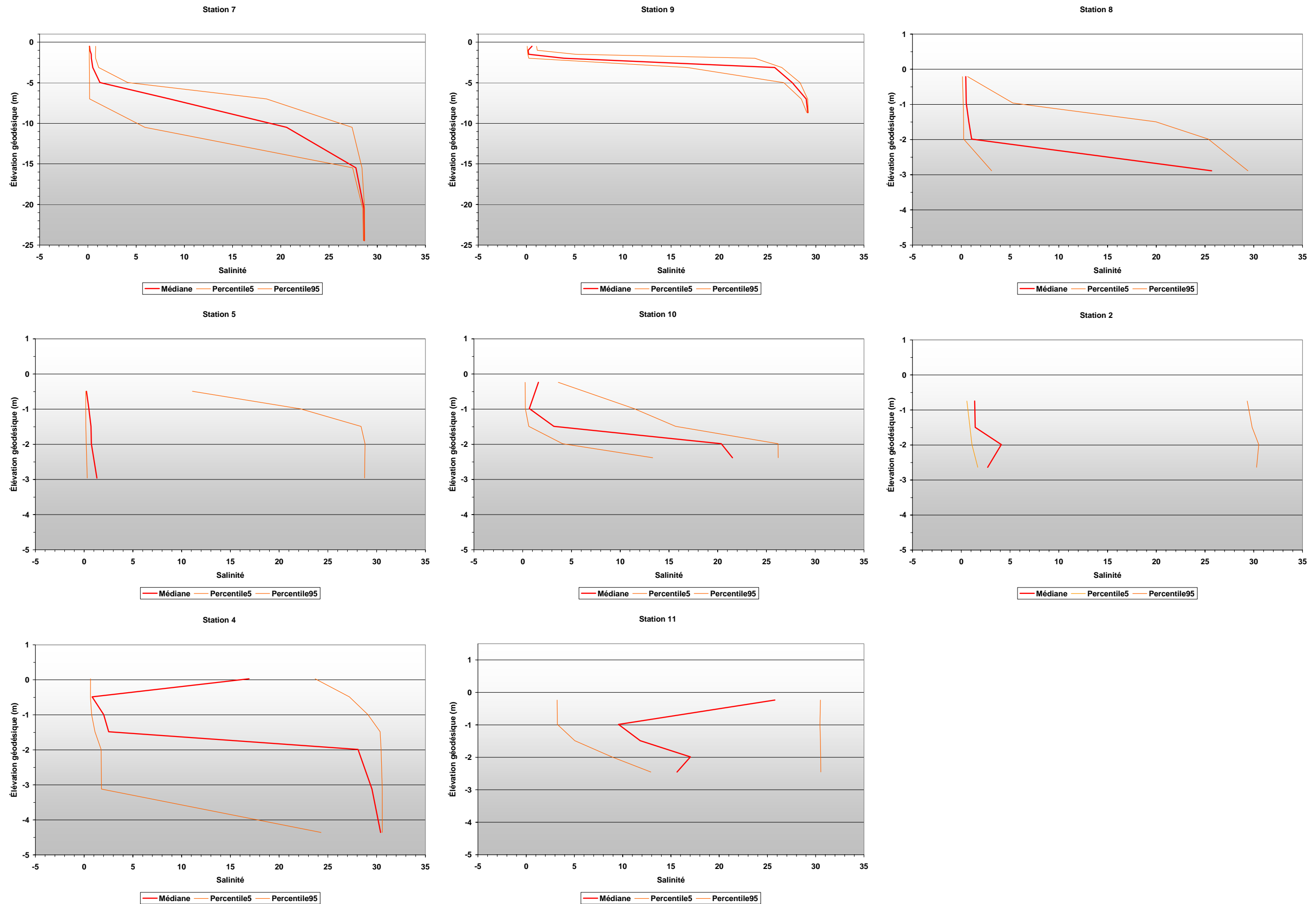
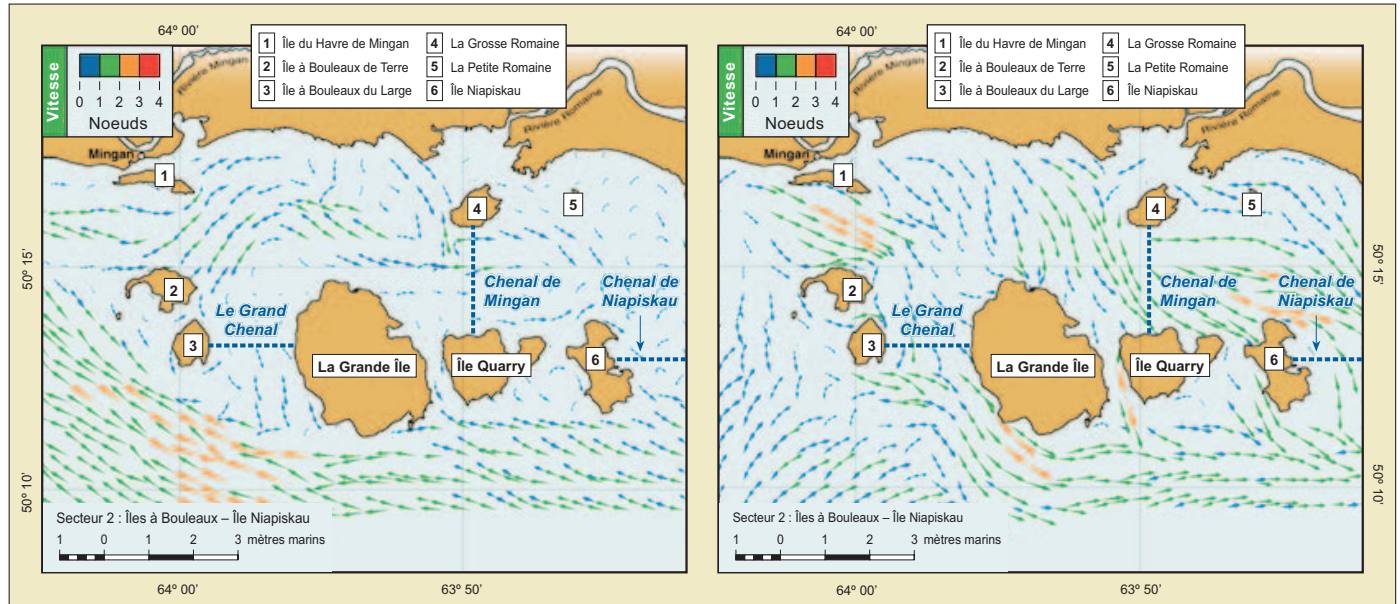


FIGURE 4.3.3 Patterns des courants moyens à différents stades d'une marée de vives-eaux (4 juin 2004) et emplacement des sections de calcul de débit

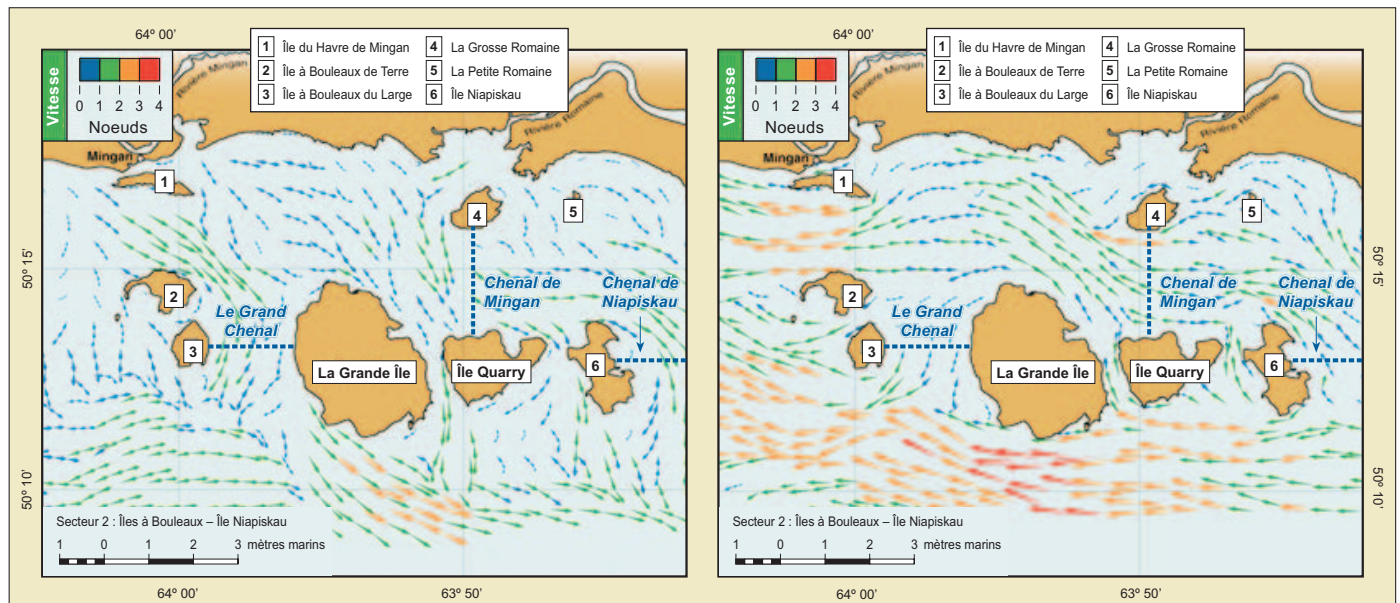
Vives-eaux : Marée haute – 1:34 (2,1 m)

Marée haute – + 3 heures



Vives-eaux : Marée basse –08:17 (0,1 m)

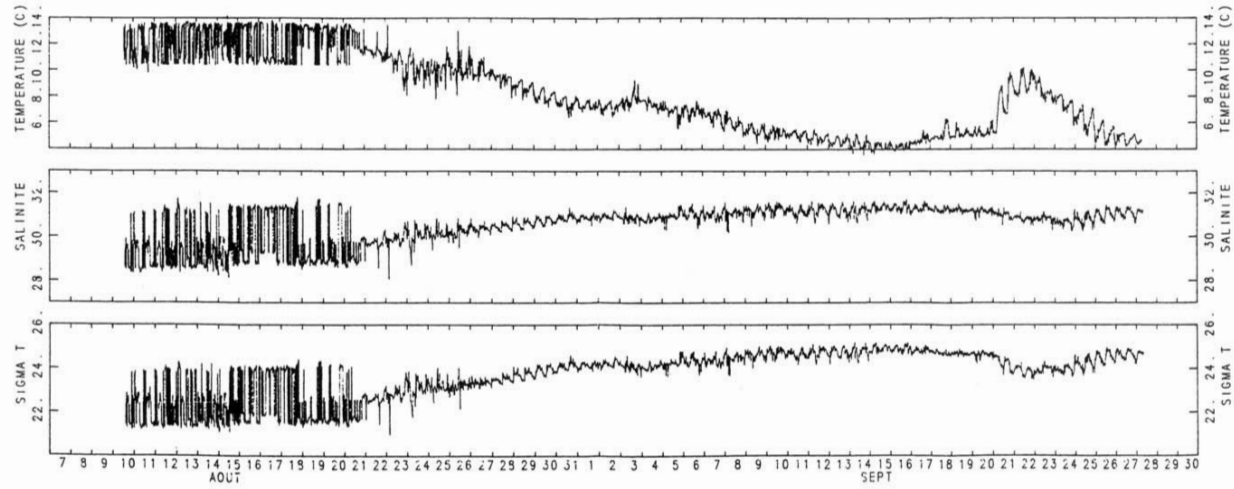
Marée basse – + 3 heures



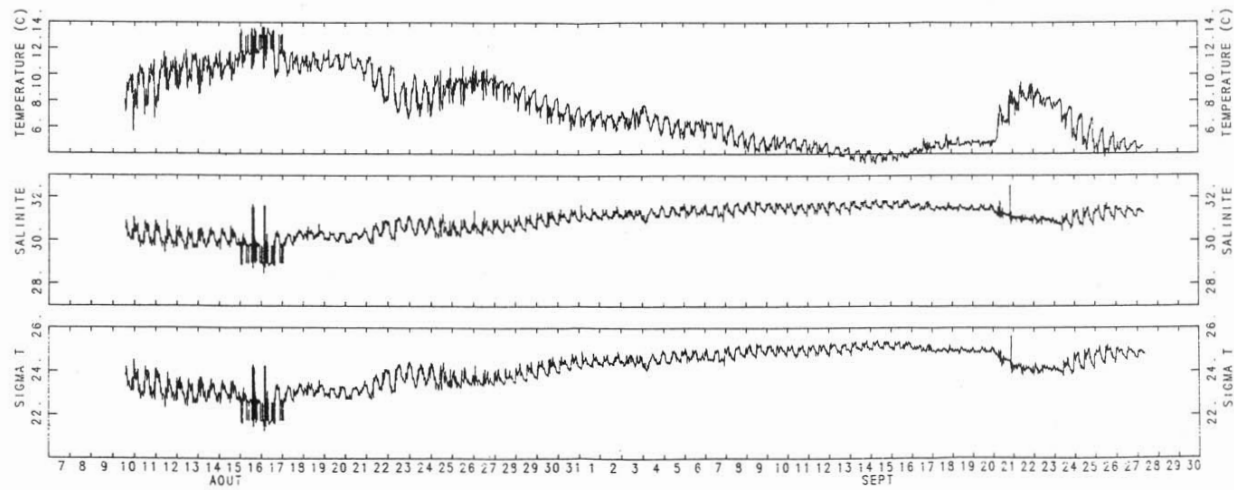
0344_cm_094_f4-3-3_060331.fh9

Tirés de l'Atlas des courants de marée dans l'archipel de Mingan
(observatoire du Saint-Laurent : http://www.osl.gc.ca/atlas_mingan/fr/Accueil.htm)

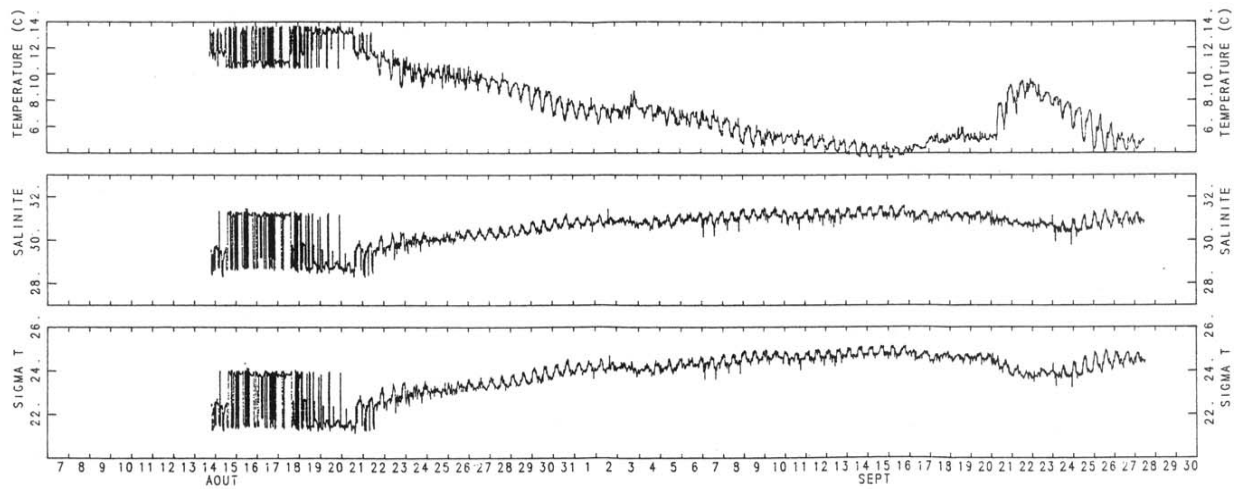
Station 4 (16 m)



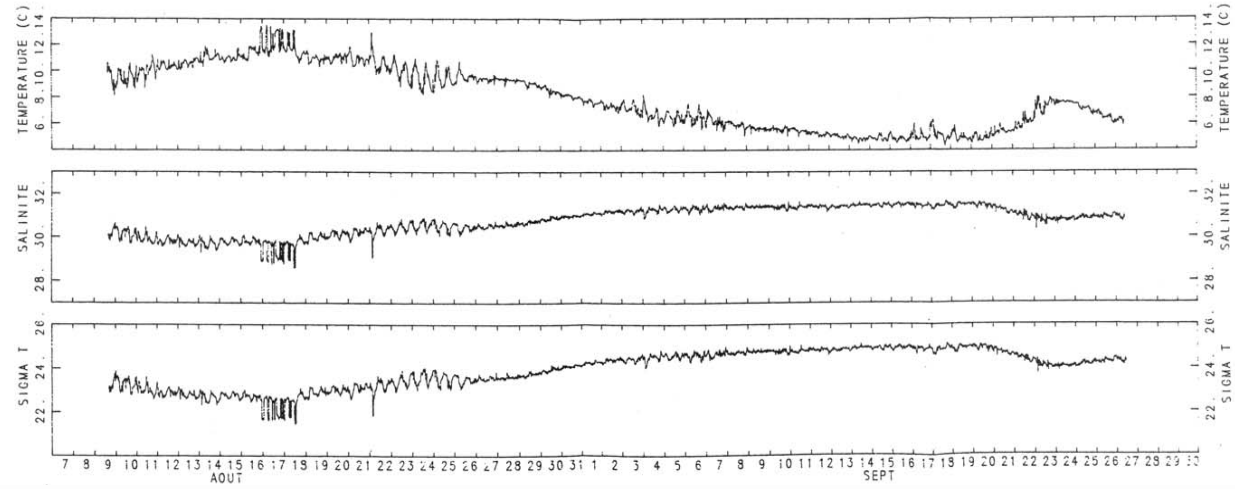
Station 4 (36 m)



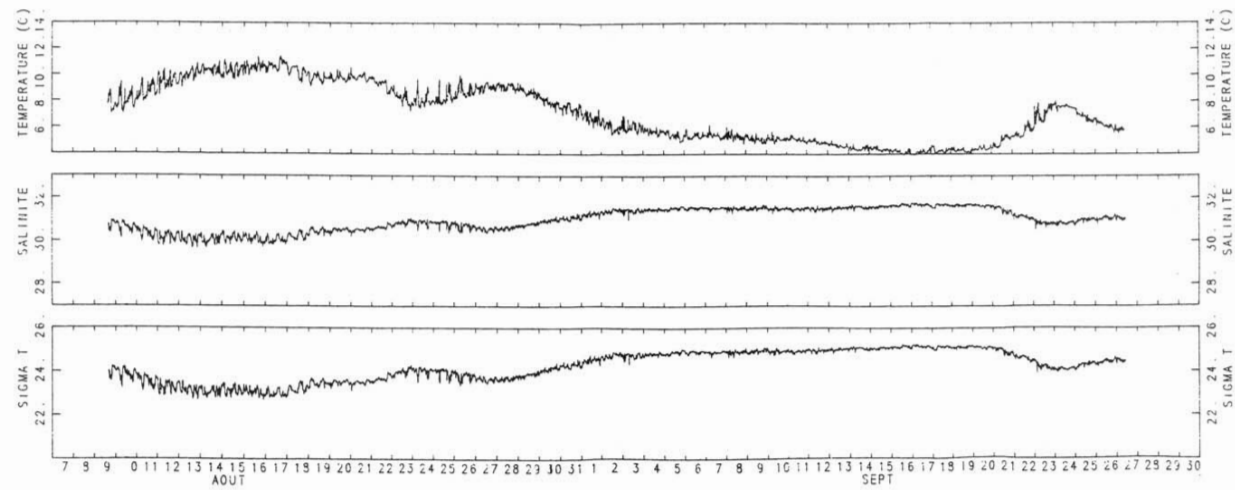
Station 5b (13 m)



Station 9 (32 m)



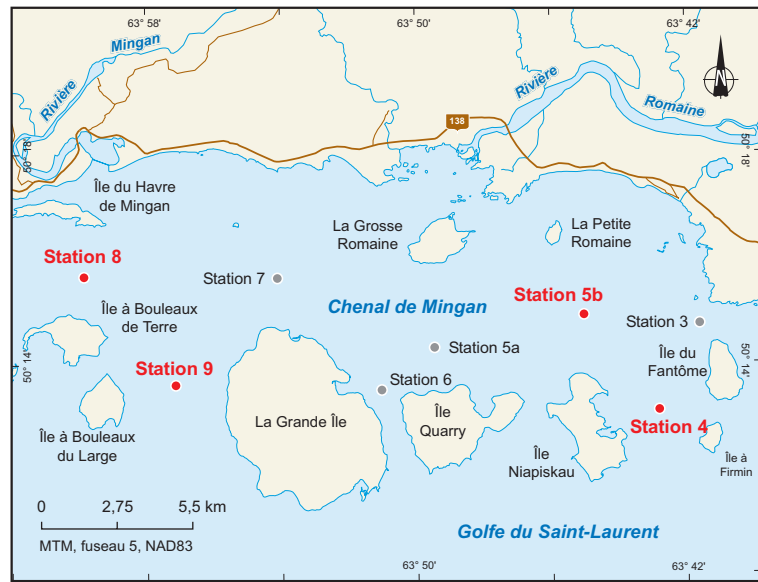
Station 9 (52 m)



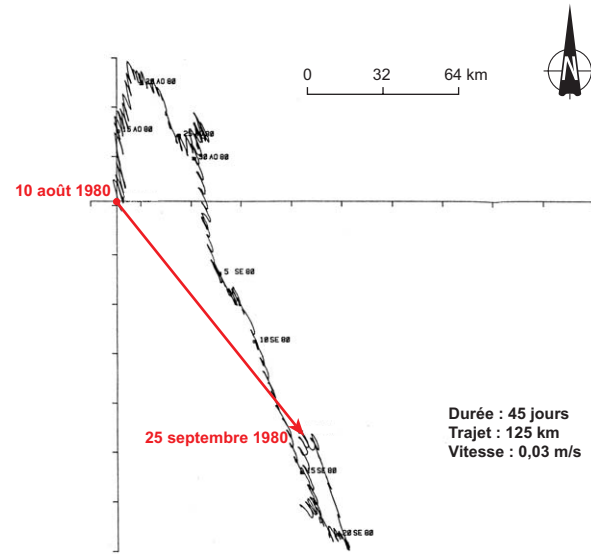
Complexe de la Romaine

Séries temporelles de la température, salinité et sigma T aux stations 4 (16 et 36m), 5b (13 m) et 9 (32 et 52 m) à l'été 1980 dans le chenal de Mingan

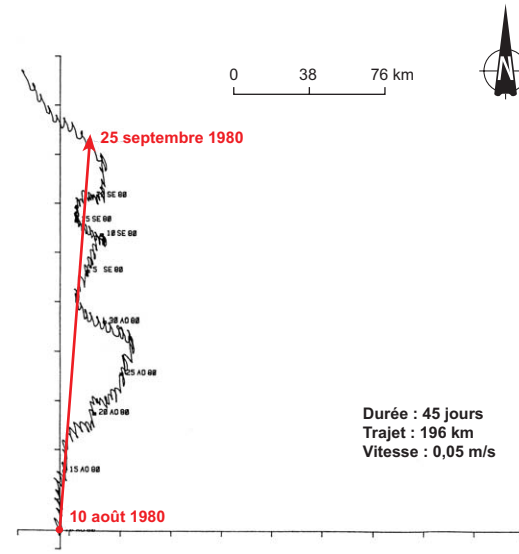
Sources :
 Hydro-Québec, Ingénierie de centrales, service hydraulique, Rapport : Projet Romaine Courantométrie et marégraphie dans le chenal Mingan en août 1980, séries chronologiques, juin 1983
 Cartographie : Carto-Média
 Fichier : 0344_cm_112_f4-3-4_060329.fth



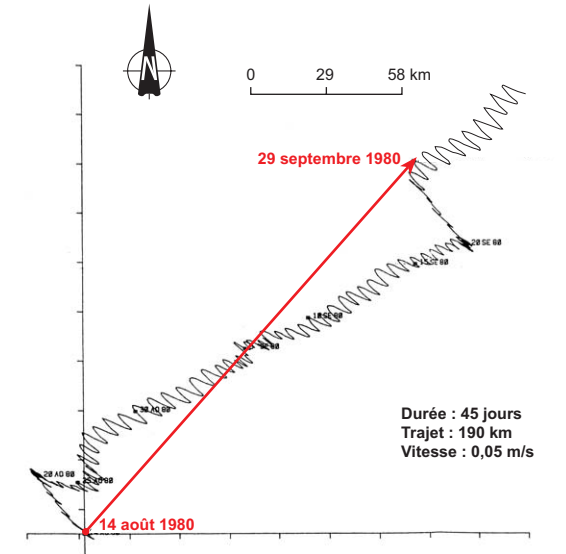
Station 4 (16 m)



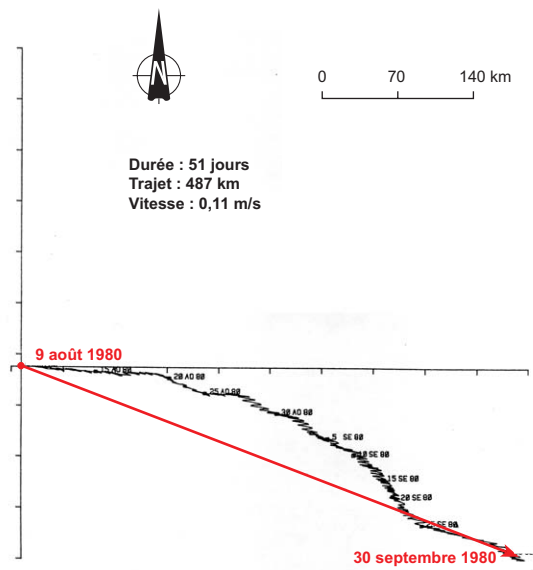
Station 4 (36 m)



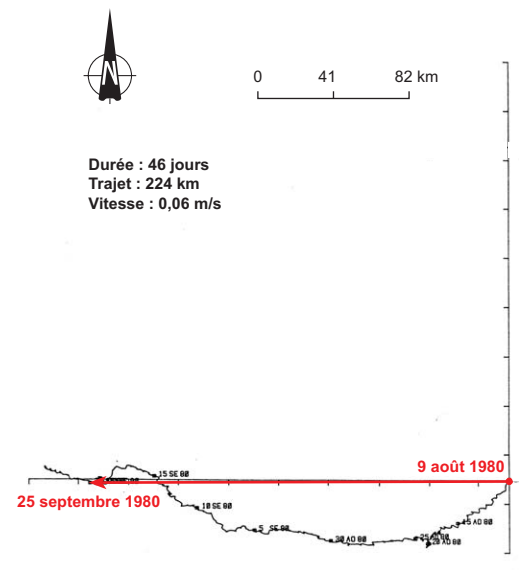
Station 5b (13 m)



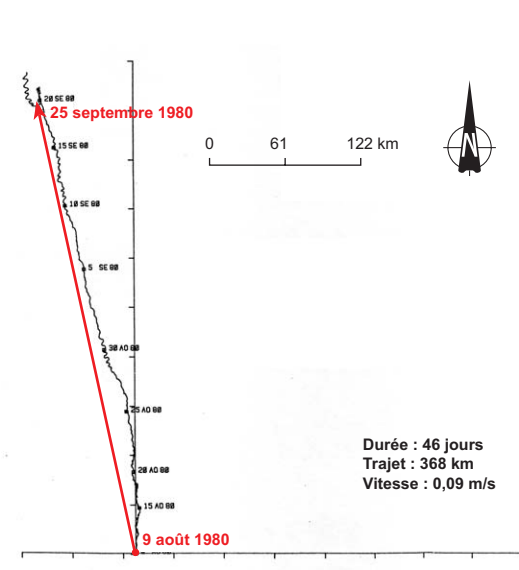
Station 8 (13 m)



Station 9 (32 m)



Station 9 (52 m)

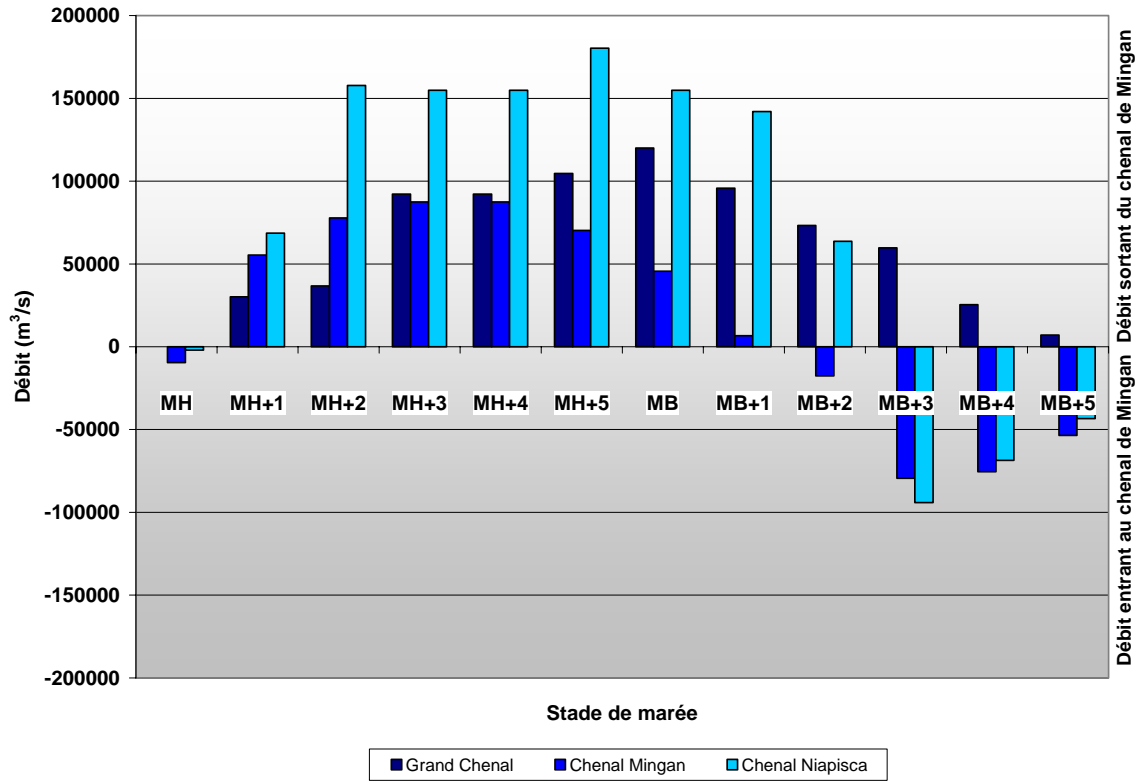


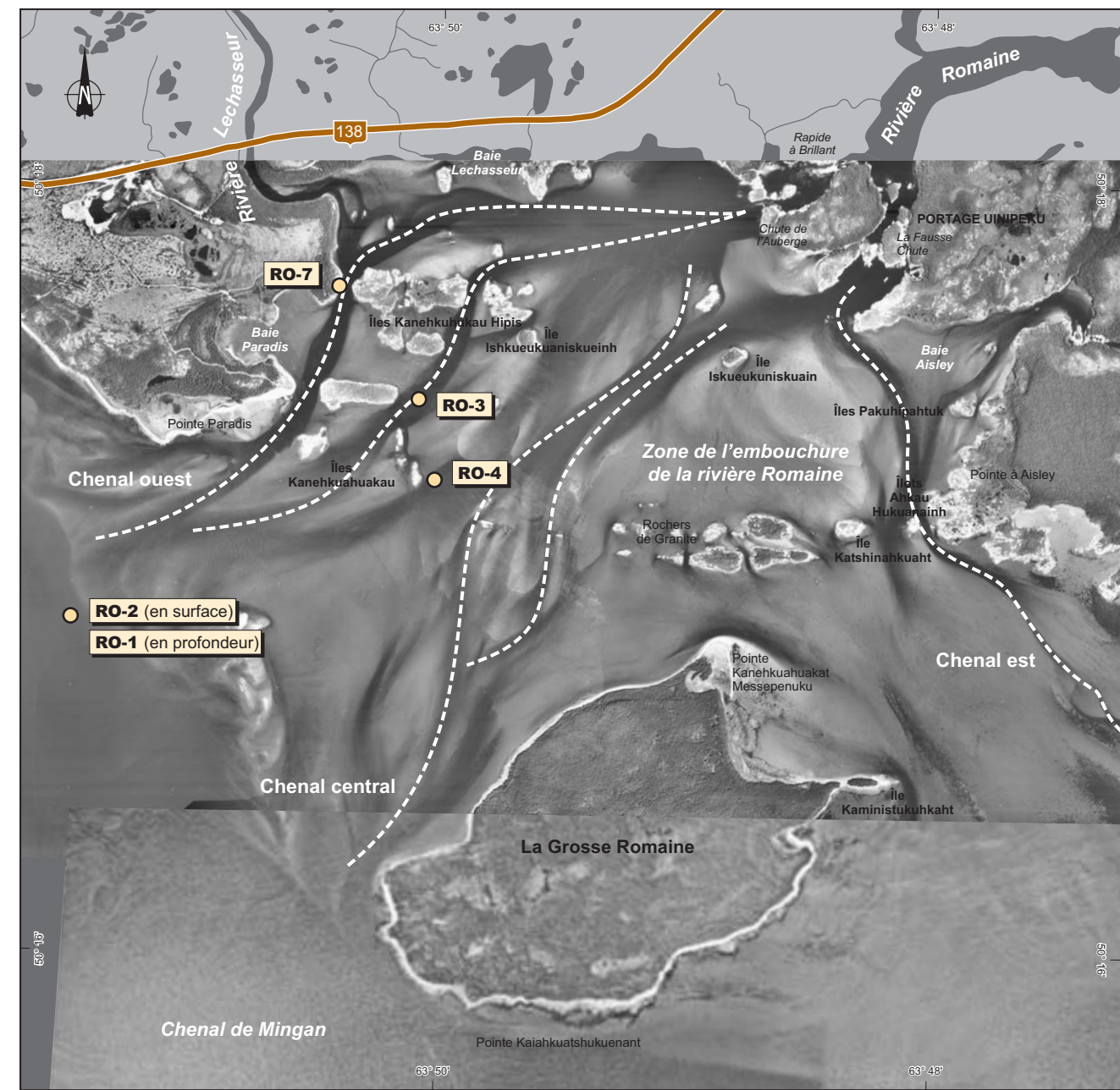
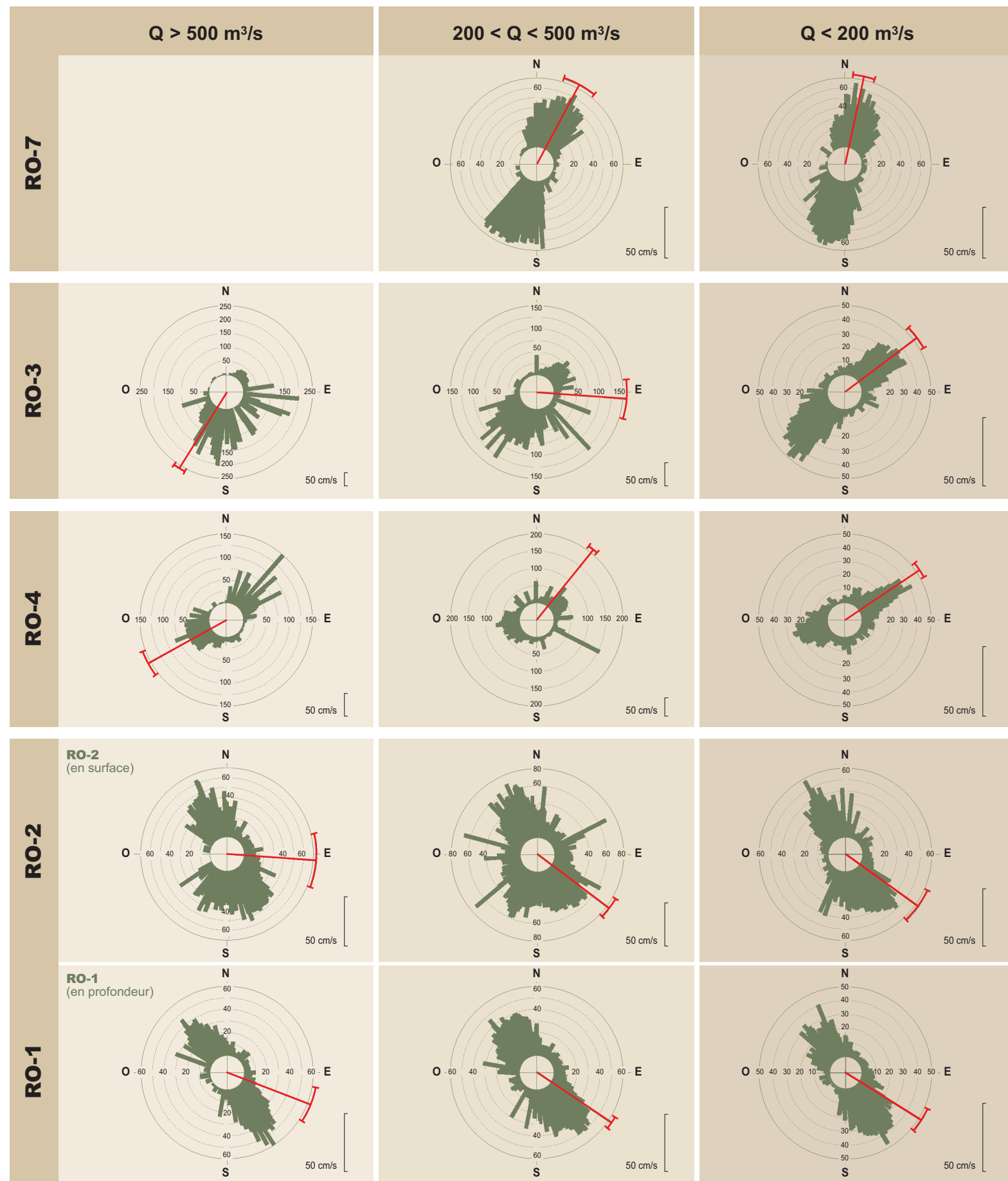
Complexe de la Romaine
Vecteur progressif aux stations 4 (16 et 36m),
5b (13 m), 8 (17 m) et 9 (32 et 52 m)
à l'été 1980 dans le chenal de Mingan

Sources :
INRS-Océanologie, Rimouski, Tome VI : Observations de courants dans le chenal de Mingan à l'aide de courantographes : août 1980, décembre 1981
Cartographie : Carto-Média
Fichier : 0344_cm_113_f4-3-5_060331.fh9

Figure 4.3.5

FIGURE 4.3.6 Débits calculés à partir de simulations numériques des courants sur un cycle semi-diurne de marée en vives-eaux





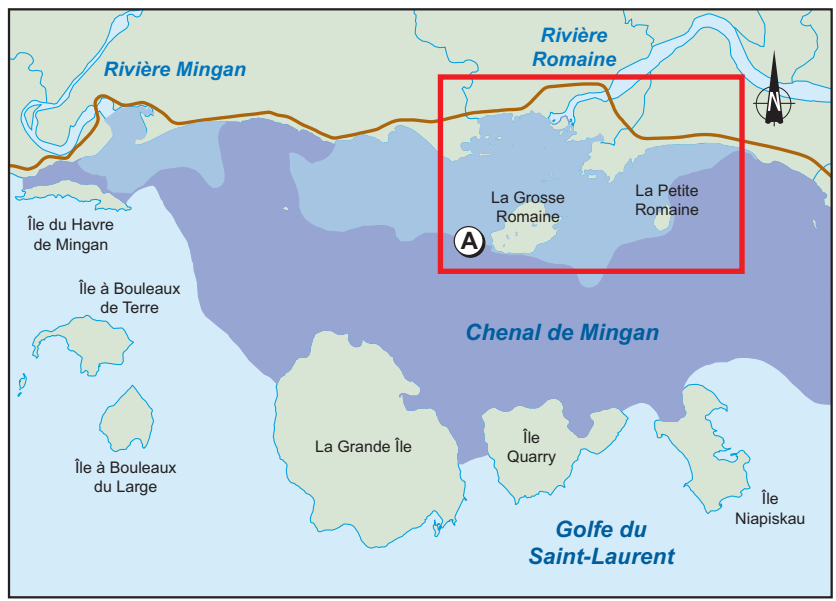
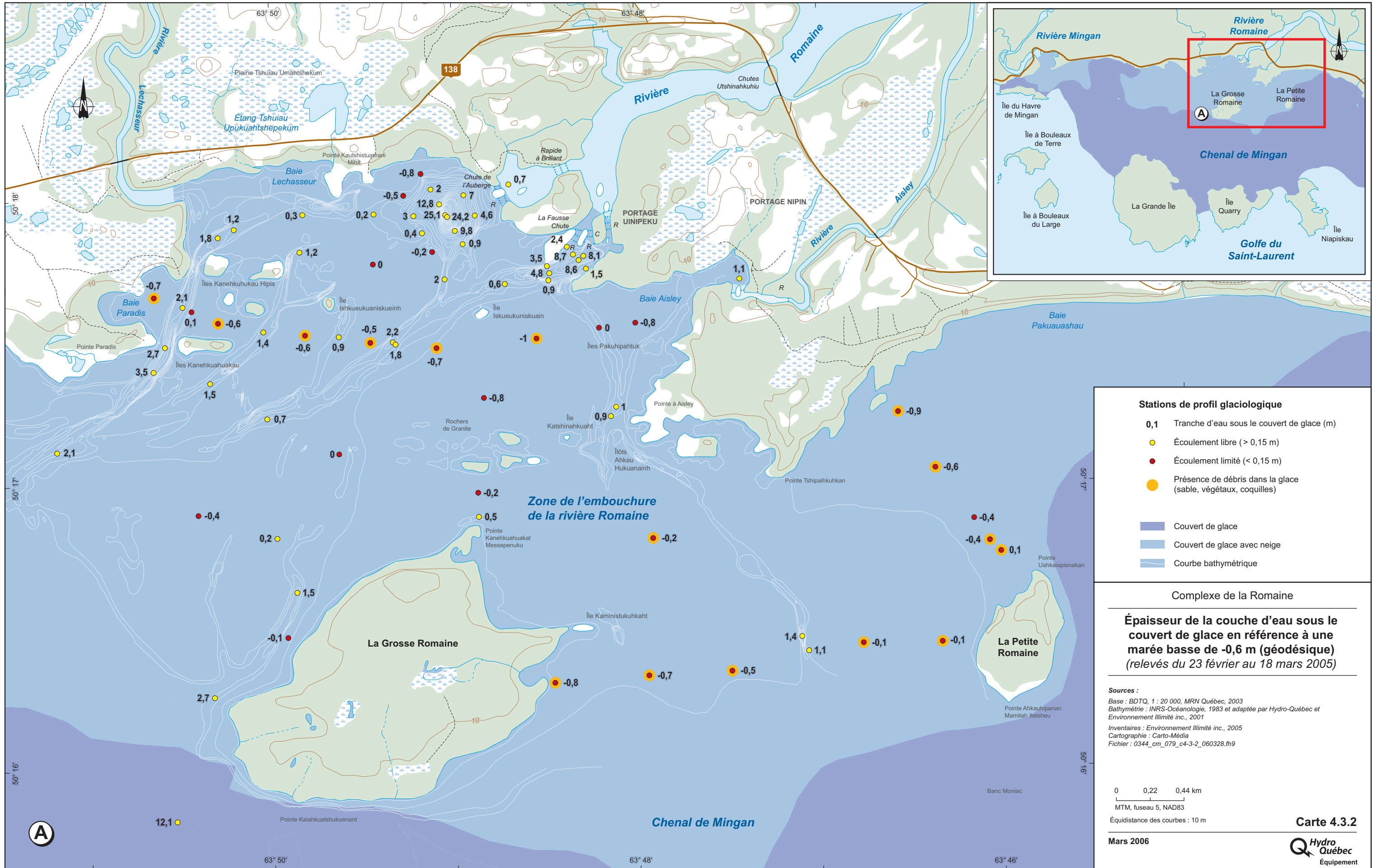
Complexe de la Romaine

Roses des courants dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine (11 juin au 12 septembre 2001)

Sources :
 Base : Orthomosaïque, 1 : 15 000, GRTGD Hydro-Québec, 2001 (réalisée à partir de photos aériennes, 1 : 15 000, MRN Québec, 1999), complétée avec les photographies aériennes de 1960
 Cartographie : Carto-Média
 Fichier : 0344_cm_070_c4-3-1_060328.th9

0 0,3 0,6 km
 UTM, fuseau 20, NAD83

Carte 4.3.1
 Mars 2006



Stations de profil glaciologique

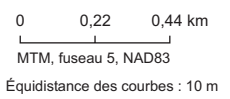
- 0,1 Tranche d'eau sous le couvert de glace (m)
- Écoulement libre (> 0,15 m)
- Écoulement limité (< 0,15 m)
- Présence de débris dans la glace (sable, végétaux, coquilles)

- Couvert de glace
- Couvert de glace avec neige
- Courbe bathymétrique

Complexe de la Romaine

Épaisseur de la couche d'eau sous le couvert de glace en référence à une marée basse de -0,6 m (géodésique) (relevés du 23 février au 18 mars 2005)

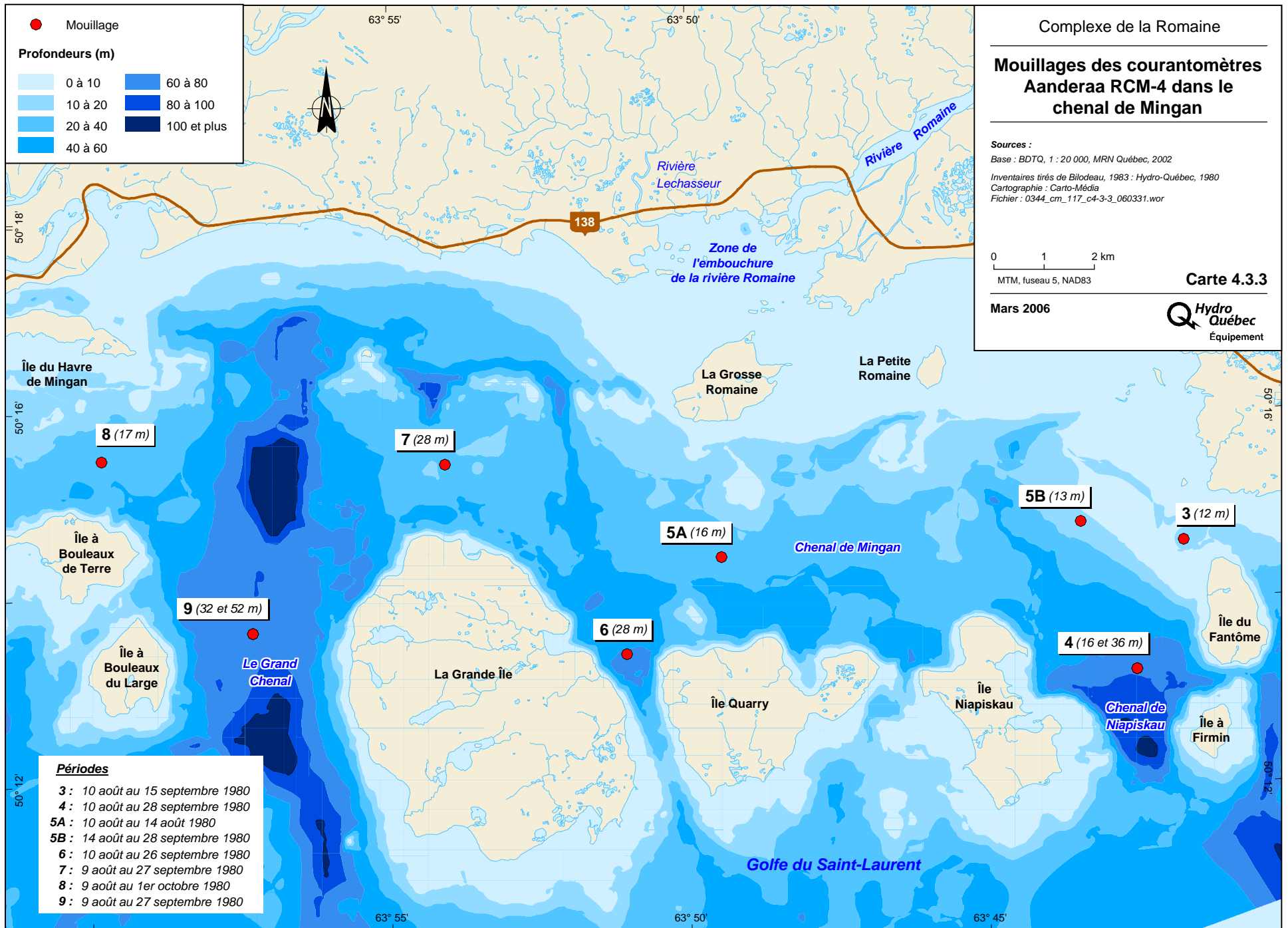
Sources :
 Base : BDTQ, 1 : 20 000, MRN Québec, 2003
 Bathymétrie : INRS-Océanologie, 1983 et adaptée par Hydro-Québec et Environnement Illimité inc., 2001
 Inventaires : Environnement Illimité inc., 2005
 Cartographie : Carto-Média
 Fichier : 0344_cm_079_c4-3-2_060328.fh9



Mars 2006

Carte 4.3.2





4.4 Marégraphie dans la zone de l'embouchure

La marée dans le golfe du Saint-Laurent est du type mixte, surtout semi-diurne (Forrester, 1983), caractérisée par deux cycles de marée haute–marée basse par jour lunaire qui sont marqués par des inégalités en hauteur et des espacements irréguliers. Les hauteurs (marégraphiques) caractéristiques de la marée moyenne et de la grande marée à Havre-Saint-Pierre témoignent d'un milieu plutôt microtidal ($h < 2$ m) ou faiblement mésotidal en grande marée (tableau 4.4.1).

TABLEAU 4.4.1 Caractéristiques de la marée à Havre-Saint-Pierre

Stade		Marégraphique (m)	Géodésique (m)
Marnage	M.M	1,5	1,5
	G.M.	2,3	2,3
Hauteur	PMSGM	2,3	1,3
	PMSMM	1,8	0,8
	BMSMM	0,3	-0,7
	BMSGM	0,0	-1
Niveau moyen		1	0

Source : Tables des marées et courants du Canada, Volume 2, Pêches et Océans Canada.

L'élévation du niveau d'eau dans la zone de l'embouchure varie habituellement entre 1,0 m (95 %) et -0,5 m (5 %) pour la période de données disponibles (stations EROM 0721 : 2001, 2003 à 2005). L'élévation médiane et moyenne (2001, 2003 à 2005) est de 0,1 m et 0,2 m respectivement et les élévations maximales sont de 2,2 m (janvier 2004) et -1,1 m (septembre 2001) (figure 4.4.1). Les valeurs maximales rapportées ici sont des valeurs extrêmes qui sont provoquées par la combinaison des forçages marégraphiques et météorologiques, ce qui génère des surcotes et des décotes lorsque le stade de marée haute en vives-eaux coïncide avec une haute pression (102,22 kPa : 19 septembre 2001⁸). Les élévations maximales pour des pourcentages de non-dépassement de 1 % et 99 % sont respectivement de -0,7 m et 1,3 m (figure 4.4.1). En général, la pleine mer supérieure en vives-eaux ne dépasse pas l'élévation de 1,5 m, alors que la pleine mer inférieure ne dépasse pas -0,9 m (figure 4.4.2). Les élévations correspondantes en périodes de mortes-eaux sont approximativement de 0,8 m et de -0,3 m (figure 4.4.2).

La distribution cumulative des données de niveaux d'eau dans la zone de l'embouchure (EROM0721) est comparée aux données mesurées au quai de Havre-Saint-Pierre (EROM0691) pour une période équivalente (figure 4.4.3). Dans l'ensemble, les niveaux d'eau dans la zone de l'embouchure sont légèrement plus hauts. La différence est de l'ordre de 10 cm lorsque l'on considère les pourcentages de non-dépassement entre 1 % et 99 %. Cette différence pourrait être attribuable à la précision du rattachement. Les marnages observés (de l'ordre de 2 m) sont

8. Source des données climatiques : http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climateData/Canada_f.html.

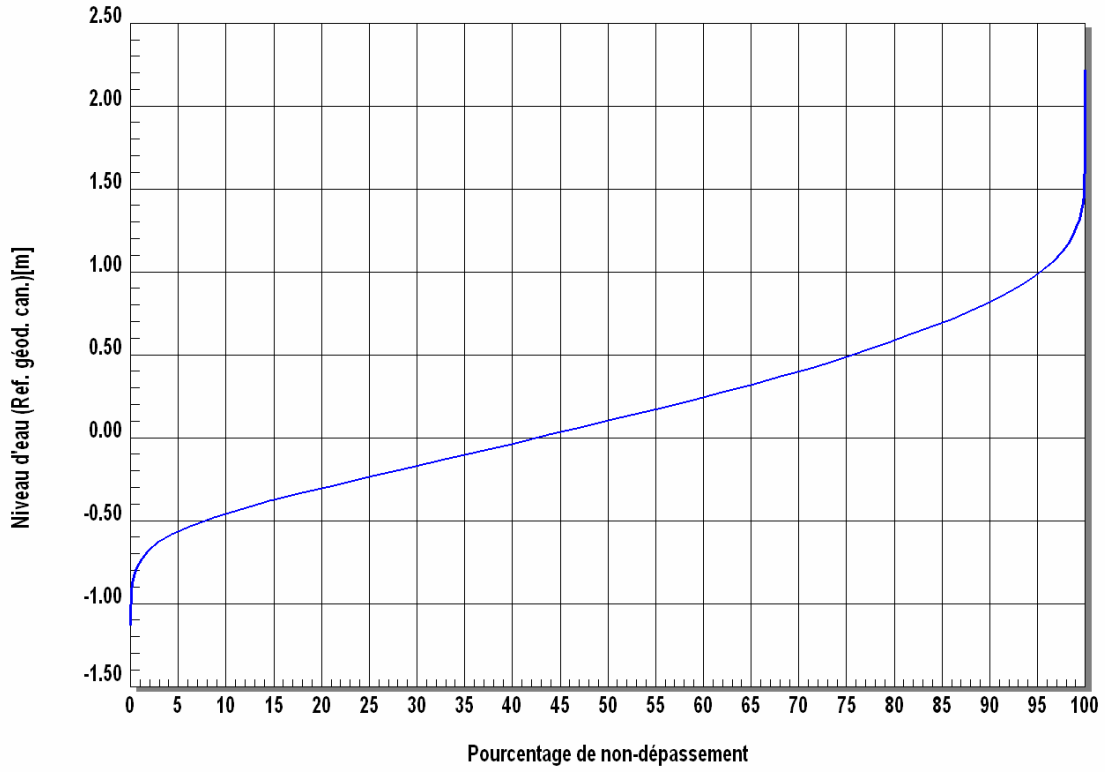
comparables aux données de la marée prédite par le service hydrographique du Canada (tableau 4.4.1).

Le marnage de type microtidal n'engendre pas de variation importante du volume dans le chenal de Mingan, compte tenu de la superficie et de la profondeur. Par contre, le passage de l'onde de marée provoque de profonds changements dans la zone de l'embouchure avec l'exondation de larges battures et la présence de nombreux hauts-fonds (carte 3.1.2). À marée haute ($z = 1,15$ m ; 95^e percentile 2004), la superficie est d'environ 14 km^2 . Elle diminue d'environ 5 km^2 à marée basse ($z = -0,6$; 5^e percentile 2005). La variation de volume associée au passage de la marée sur une période de six heures est d'environ $22,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ (marée haute : $32,2 \times 10^6 \text{ m}^3$; marée basse : $9,7 \times 10^6 \text{ m}^3$). Ce volume est inférieur au volume d'eau apportée par la rivière en période de crue ($1\,500 \text{ m}^3/\text{s}$) qui s'élève à $32 \times 10^6 \text{ m}^3$ pendant une période d'environ six heures. Dans la mesure où le volume de la zone de l'embouchure à marée basse est nettement inférieur au volume d'eau transporté par la rivière, les caractéristiques physiques du milieu seront dominées par le flot d'eau douce en période de crue.

En période d'étiage ($200 \text{ m}^3/\text{s}$), l'intrusion saline aura probablement un effet dominant sur les caractéristiques du milieu alors que le volume d'eau douce ($4,3 \times 10^6 \text{ m}^3$) apporté par la rivière sur une période de six heures n'est que le septième du volume de la marée. L'influence fluviale va probablement rapidement diminuer alors que pour un débit intermédiaire ($500 \text{ m}^3/\text{s}$), le volume d'eau douce apporté par la rivière ($10,8 \times 10^6 \text{ m}^3$) ne représente que la moitié du volume de marée. En considérant le régime hydrologique nival de la rivière Romaine, l'influence du débit d'eau douce est de durée limitée mais néanmoins importante au printemps, comme en témoigne l'évolution saisonnière des communautés benthiques d'un milieu peu diversifié et dominé par des espèces tolérantes et colonisatrices vers un milieu plus riche en été (Desrosiers et coll., 1983).

Le passage de la crue printanière aura aussi un effet sur les variations quotidiennes du niveau de l'eau dans la zone de l'embouchure. En effet, les bas niveaux d'eau de la mi-avril à la fin de juin sont généralement plus élevés que durant le reste de l'année (figure 4.4.2). Cette influence est mise en évidence à la figure 4.4.4. Une relation niveau-débit peut clairement être tracée en considérant les bas niveaux d'eau qui s'abaissent graduellement jusqu'à ce que l'on atteigne un débit minimal d'environ $500 \text{ m}^3/\text{s}$ (2004) à $600 \text{ m}^3/\text{s}$ (2003, 2005), en dessous duquel la rivière n'aurait plus d'influence sur le niveau d'eau, maintenant entièrement contrôlé par la marée (figure 4.4.4). Cette limite inférieure de l'influence de la rivière Romaine dans la zone de l'embouchure correspond bien à la classe de débits qui définit les conditions de crue, utilisée dans l'interprétation des profils CTD ($Q > 500 \text{ m}^3/\text{s}$) dans le contexte de cette étude.

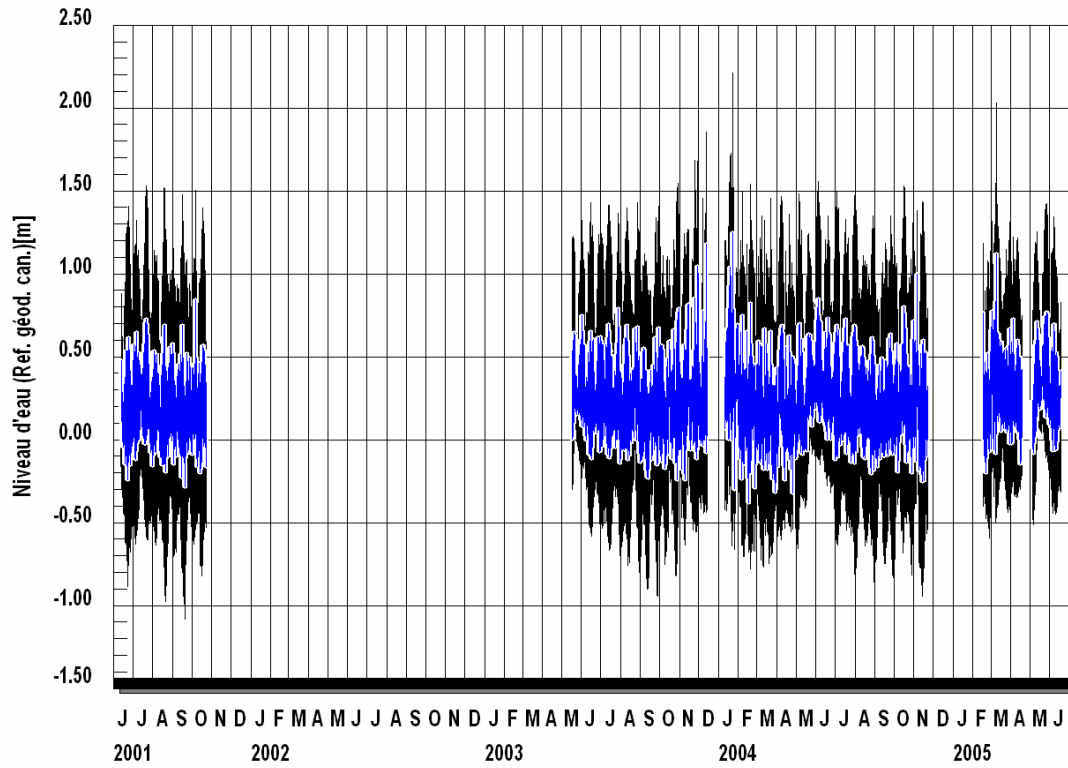
FIGURE 4.4.1 Distribution cumulative des niveaux d'eau dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine (2001, 2003 à 2005)



Niveau d'eau - station EROM0721

Rapport: Océanographie physique - Estuaire de la rivière Romaine 0721 (romain) - EROM072102
2006-03-14 11:02

FIGURE 4.4.2 Sommaire des élévations du niveau d'eau dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine (2001, 2003 à 2005)



Niveau d'eau - station EROM0721

Région de l'Est de la Rivière Romaine - Station de mesure du niveau d'eau - EROM0721.02
2006-12-14 17:20

FIGURE 4.4.3 Comparaison des distributions cumulatives des niveaux d'eau dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine (EROM0721 : 2001, 2003 à 2005) et au quai de Havre-Saint-Pierre (EROM0681 : 2001 à 2005)

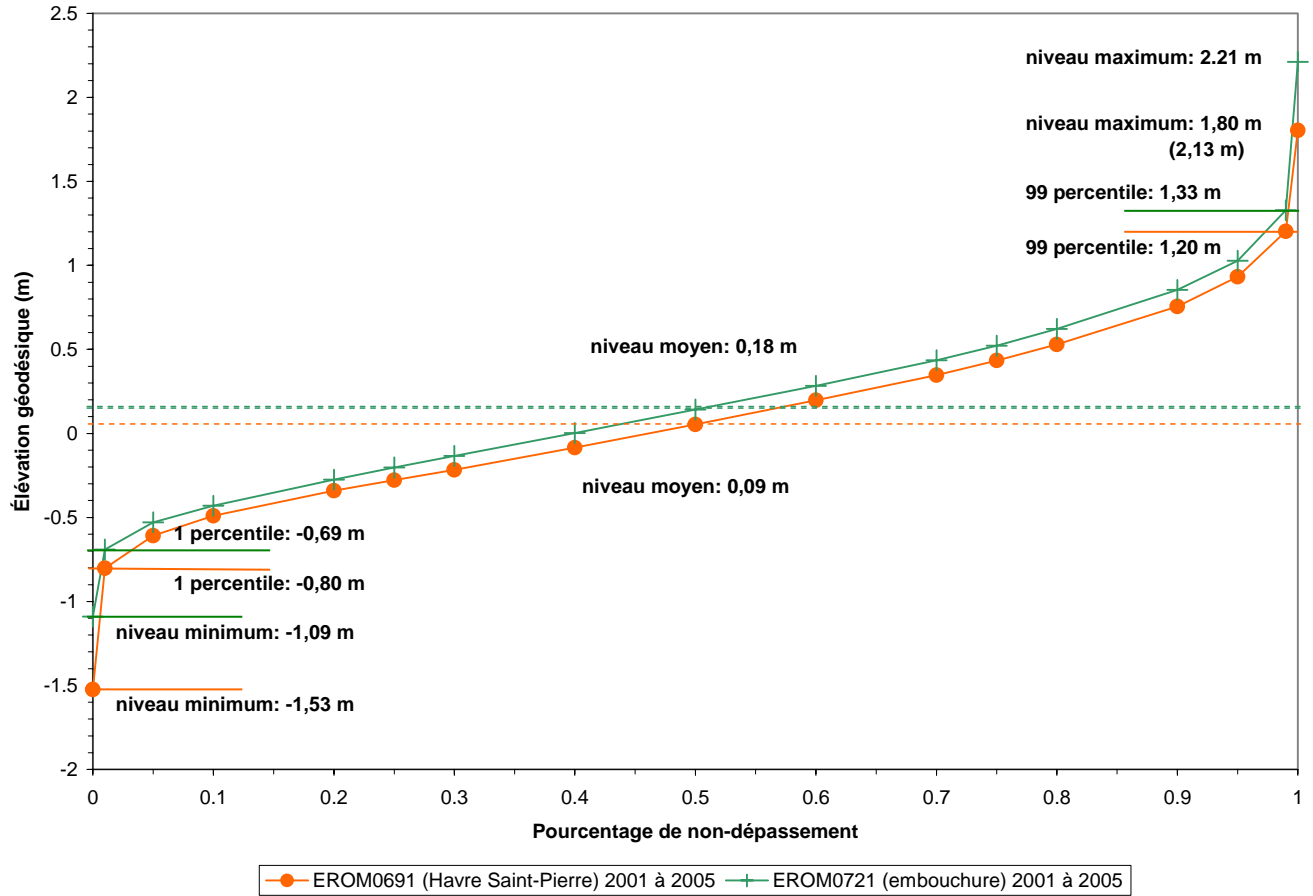
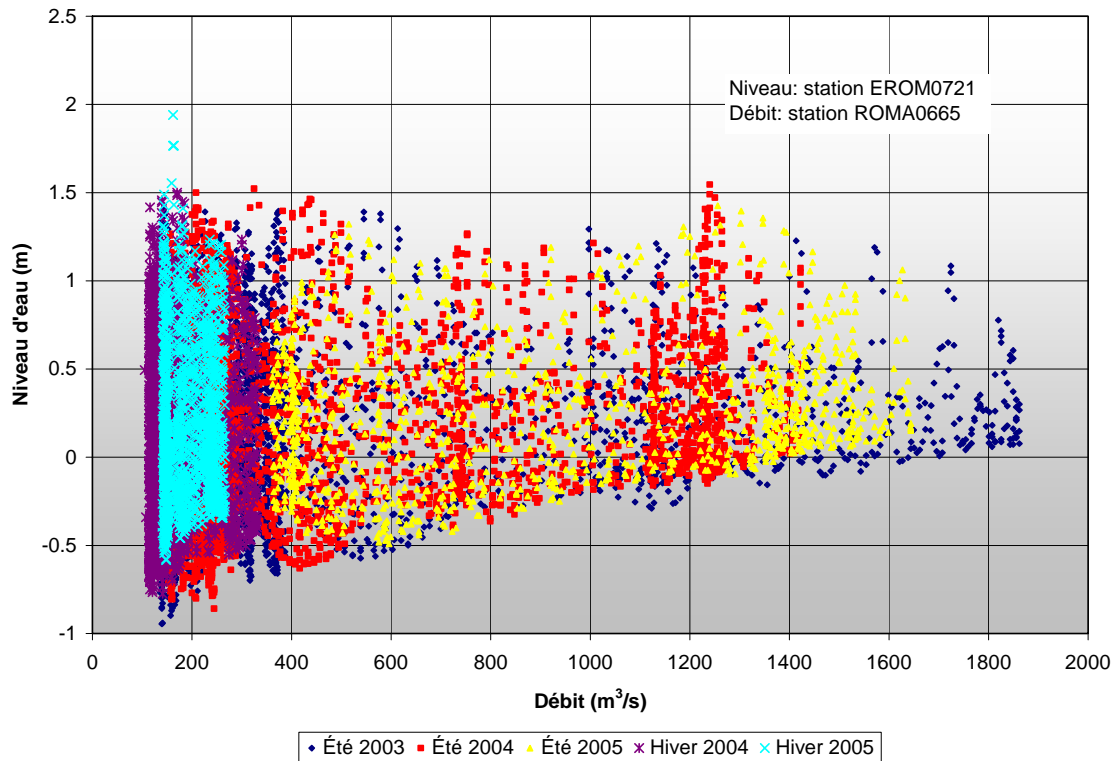


FIGURE 4.4.4 Relation niveau-débit dans la zone de l'embouchure de la rivière Romaine (2001, 2003 à 2005)



5 SOMMAIRE ET CONCLUSIONS

5.1 Contexte méthodologique

Cette étude intègre les résultats d'une première campagne océanographique réalisée à l'été 2001, complétée par deux campagnes effectuées en 2004 et 2005 visant à décrire les caractéristiques physiques des masses d'eau et à identifier les principaux processus les régissant dans la zone de l'embouchure et le chenal de Mingan. Les mesures reposent principalement sur des profils CTD pris au printemps, en été et en hiver et sur quelques séries temporelles de mesures du courant. La description du patron de circulation dans le chenal de Mingan a été complétée par des données historiques récoltées au début des années 1980.

Afin de faire ressortir l'importance relative des différents phénomènes, l'approche de traitement des données qui a été appliquée ici comprenait deux niveaux d'interprétation : une analyse objective et une analyse classique de description des profils (structure et σ_t , étendue des variations, etc.). Après validation des données, l'approche statistique de traitement des données utilisant l'analyse en composante principale et les régressions multiples, a été appliquée pour dégager les grandes tendances spatio-temporelles des phénomènes contrôlant les caractéristiques des masses d'eau à partir de données provenant de différentes années, à différentes périodes et à différents moments du stade de la marée. Ce type d'analyse a nécessité l'élaboration d'une méthode de classification des profils et de caractérisation de la forme des profils CTD par toute une série de paramètres, de critères arbitraires et par le calcul des statistiques descriptives des propriétés physiques de la pycnocline et des couches de surface et de fond. Ainsi, chaque profil a pu être résumé en une ligne dans une matrice comprenant l'ensemble des profils mesurés depuis 2001. Cette approche a été complétée par une analyse descriptive afin d'expliquer les processus hydrologiques et océanographiques régissant les phénomènes observés et pour établir les valeurs de salinité et de température caractérisant le milieu pour différentes périodes.

Dans l'ensemble, les données disponibles ont permis de décrire l'évolution des caractéristiques physiques du milieu et de déterminer l'interaction entre les différents processus sur une base saisonnière. Certains secteurs ou certaines périodes sont plus ou moins bien décrits, mais l'ensemble des données récoltées dans le cadre de cette étude et l'intégration des données historiques permet de bien décrire la dynamique générale du milieu. Le manque de données n'est pas critique pour la compréhension et est principalement attribuable aux conditions météorologiques.

5.2 Contexte environnemental et océanographique

5.2.1 Zone de l'embouchure

La zone de l'embouchure de la rivière Romaine est particulière à plus d'un titre. D'un point de vue hydrologique, elle constitue la confluence de la rivière Romaine et de la rivière Lechasseur et sa bathymétrie peu profonde, parsemée de chenaux qui recoupent les anciens dépôts deltaïques, en fait un milieu découvrant. La rivière Romaine s'y déverse par trois chutes ou rapides : la chute de l'Auberge, la Fausse Chute et la rivière Aisley qui prend sa source aux environs du PK3,5. Ces affluents se retrouvent dans une large baie peu profonde qui se découvre régulièrement selon un cycle modulé par la fluctuation semi-diurne de la marée de telle sorte qu'une partie non négligeable (30 %) de la zone de l'embouchure est exondée à marée basse. Le contrôle structural offert par le substratum rocheux fait en sorte que le lit et les berges de la rivière Romaine sont en équilibre avec la variation saisonnière de débit résultant en une érosion limitée et un faible apport sédimentaire dans la zone de l'embouchure (Lupien et coll., 1979).

La zone de l'embouchure n'est pas considérée ici comme étant un estuaire à proprement parlé. Même si les définitions en usage, principalement fondées sur des concepts physiques de structures de salinité (Pritchard, 1955 ; Cameron and Pritchard, 1963), de mélange des masses d'eau et de morphologie (Pritchard, 1952 ; Pritchard, 1967) ou hydrodynamiques (Hansen and Rattray, 1966), pourraient s'appliquer en tout ou en partie, elles négligent l'aspect écologique associé aux milieux estuariens qui sont généralement identifiés comme étant des maillons importants quant à la productivité des écosystèmes. Par ailleurs, d'un point de vue géomorphologique, la présence des seuils rocheux que sont la Chute de l'auberge, la Fausse chute et le seuil à l'embouchure de la rivière Aisley limite la propagation de l'onde de marée vers l'amont de la rivière Romaine, de telle sorte que l'interaction entre les différentes masses d'eau se limite à la zone proximale de l'embouchure.

D'un point de vue des écosystèmes, le gradient moyen de salinité qui est observé dans les estuaires typiques des longues vallées submergées, implique une adaptation du biote dont les espèces animales et végétales, bien que montrant une tolérance plus ou moins importante à la salinité du milieu, n'en constitueront pas moins des assemblages spécifiques différents, caractéristiques des milieux marins, saumâtres et d'eau douce. Ces assemblages pourront changés dans le temps et l'espace en fonction des variations saisonnières des caractéristiques physiques de l'estuaire, mais aussi en fonction de l'utilisation par les différents stades de vie de certaines espèces. Dans ce contexte, l'information disponible ne permet pas d'identifier la zone de l'embouchure comme étant un milieu de transition où l'échelle spatio-temporelle est suffisante pour permettre l'établissement d'écosystèmes caractéristiques du milieu estuarien..

Dans l'ensemble, la zone de l'embouchure doit être considérée comme un milieu où la colonne d'eau est stratifiée avec une couche de surface d'eau douce associée aux apports fluviaux et une couche d'eau salée au fond associée à l'intrusion marine provenant du chenal de Mingan. Le passage de la crue printanière vient perturber de manière importante le patron de circulation et les caractéristiques physiques du milieu. L'augmentation du débit dans ce milieu peu profond au

printemps est telle, que l'intrusion saline est repoussée au large de la zone de l'embouchure. Au printemps, la couche de fond en périphérie de la zone de l'embouchure dans le secteur des chenaux ouest et central montre des conditions mélangées alors que partout ailleurs la colonne d'eau est douce. Du côté des herbiers de zostères, à l'est de l'île La Grosse Romaine, le manque de donnée ne permet pas d'y décrire les caractéristiques physiques au printemps, mais on peut supposer que des conditions mélangées y sont observées dans la mesure où l'écoulement principal de la rivière Romaine se fait par le chenal central et, dans une moindre mesure le chenal est. Durant la décrue, les conditions changent rapidement avec la pénétration graduelle de l'intrusion saline jusqu'aux pieds des chutes. L'apport fluvial est néanmoins encore important de telle sorte que les conditions vont changer d'un milieu stratifié à un milieu homogène d'eau douce ou partiellement mélangée selon le stade de la marée semi-diurne tout en suivant un gradient croissant de salinité en s'éloignant des chutes. La salinité de la couche de fond va augmenter graduellement tout au long de la saison au fur et à mesure que le débit diminue alors que la couche de surface sera nettement plus douce, en particulier dans le chenal central ou saumâtre (chenal est). Le secteur situé à l'est de l'île La Grosse Romaine, où l'on observe la présence d'un herbier de zostère, une plante halophyte, fait exception. Les conditions stratifiées sont donc observées principalement dans le chenal central et le chenal ouest alors que dans le chenal est, les conditions seront plus souvent homogènes avec une eau saumâtre à marine. Cette variation saisonnière des caractéristiques physiques de la colonne d'eau est suffisamment importante pour induire des changements dans l'utilisation du milieu par la faune aquatique.

En effet, les études antérieures ont montré qu'au niveau de la faune ichtyenne, l'utilisation du milieu évolue durant la saison avec l'apparition d'espèces marines qui utilise le milieu comme aire d'alimentation principalement (Lorrain et coll., 2002, Lorrain et coll., 2005). Aucune frayère n'y a été observée. Quant à la faune benthique, un excellent intégrateur des conditions générales contrôlant le milieu, les études antérieures ont montré une saisonnalité dans la composition spécifique avec l'augmentation de la diversité des espèces après le passage de la crue au printemps, la communauté benthique étant néanmoins dominée par des espèces tolérantes et colonisatrices, indices d'un milieu perturbé (Desrosiers et coll., 1983). La perturbation associée au passage de lac rue printanière est suffisamment importante pour rendre azoïque la batture située à l'ouest de la zone de l'embouchure

L'analyse des niveaux d'eau dans la zone de l'embouchure permet d'établir une valeur critique de débit d'environ 500 à 600 m³/s au-delà de laquelle l'influence de la rivière est probablement le forçage le plus important. En considérant le débit moyen mensuel (1957 à 2005), ces conditions sont observées en mai et en juin. Ce seuil correspond bien au seuil déterminé à partir des profils CTD (500 à 700 m³/s) en deçà duquel l'intrusion saline se fait sentir plus ou moins fortement sur l'ensemble de la zone d'étude. Entre 200 et 500 m³/s, l'intrusion marine se fait sentir périodiquement jusqu'au fond des fosse, mais l'eau douce prédominera sur une distance d'environ 500 m des chutes alors qu'ailleurs des conditions marines persisteront au fond. Ces conditions de débit sont généralement observées de juillet à novembre. En fonction des débits classés au site de Romaine 1, les conditions de débit inférieure à 200 m³/s sont observées 50 % du temps alors que des conditions de débit intermédiaire (200 à 500 m³/s) sont observées 35 % du temps.

En période de crue printanière, la zone de l'embouchure représente un milieu homogène dominant d'eau douce à légèrement saumâtre et qui évolue vers un milieu stratifié où le fond est

soumis à des conditions marines croissantes, d'abord en alternance en période de débits intermédiaires (débits entre 200 et 500 m³/s) et finalement constantes en période d'étiage (< 200 m³/s). Dans l'ensemble, les chenaux constituent un milieu marin alors que les hauts-fonds et battures sont assujettis à des conditions saumâtres plus ou moins importantes en fonction de leur distance de la zone de l'embouchure. Le passage de la crue modifie le patron de circulation et le courant devient unidirectionnel dans le chenal central jusqu'à une distance d'au moins 1,5 km de la chute de l'Auberge. Vers l'aval du chenal central, on observera une renverse du courant, mais la composante du jusant sera nettement plus forte à cause de l'effet combiné de l'apport fluvial et du courant de marée. Au printemps, les courants sont suffisamment forts pour entraîner le transport du sable et des graviers alors que pour des conditions de débit supérieur à 200 m³/s la fraction sableuse peut être transportée périodiquement lorsque les courants de jusant et de flot sont plus forts. Par ailleurs, les apports fluviaux dans la zone de l'embouchure proviennent essentiellement de la chute de l'Auberge lorsque les conditions d'étiage ou de faibles débits prévalent ($Q < 300 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la rivière Aisley). L'évacuation préférentielle des apports fluviaux par le chenal central et le chenal ouest, dans une moindre mesure, fait donc en sorte de favoriser l'établissement et la pérennité des conditions marines ailleurs dans la zone de l'embouchure.

En hiver, la présence des glaces affecte le patron de circulation en contraignant l'écoulement dans les chenaux. L'effet est important et se répercute sur la stratification de la colonne d'eau qui montrera un épaississement de la couche d'eau douce de surface à un point tel que des conditions homogènes seront observées, principalement au moment des marées de vives eaux et à marée basse. Ce phénomène fait en sorte que l'intrusion marine ne pénètre au fond des fosses que sur une base semi-mensuelle en fonction des marées de vives eaux. En période de mortes eaux, la couche de surface est suffisamment épaisse que les conditions d'eau douce observées limitent le libre passage des espèces marines entre le secteur des fosses et le chenal de Mingan. Il est possible que les fosses deviennent des refuges potentiels pour certaines espèces marines en hiver.

Les glaces, qui couvraient la totalité de la zone de l'embouchure à l'hiver 2005, sont en contact avec le fond pendant des périodes plus ou moins longues selon le stade de marée, mais suffisamment longtemps pour y piéger sédiments, mollusques et végétation. L'écoulement d'eau douce passe toujours par le chenal central mais une partie est déviée juste au nord de l'île La Grosse Romaine et s'écoule ensuite par le chenal est où se trouve les herbiers de zostères. L'eau qui s'y écoule est de type saumâtre. Même si les débits hivernaux sont plus faibles, il semble que la presque totalité du flot de la rivière Romaine s'écoule par la chute de l'Auberge et que l'élévation des seuils de la Fausse Chute et de la rivière Aisley soit suffisamment haute pour restreindre l'écoulement. Compte tenu de l'effet du couvert de glace, le passage de l'eau douce par les deux seuils asséchés aura vraisemblablement un effet sur les caractéristiques de la colonne d'eau dans le secteur est de la zone de l'embouchure.

Les principaux phénomènes qui ont été identifiés dans la zone de l'embouchure incluent : la stratification de la colonne d'eau, l'épaisseur de la couche de surface, sa salinité et sa température et la densité de la couche de surface. Tous ces phénomènes sont intimement liés au processus hydrologiques et océanographiques que sont les apports fluviaux saisonniers et la marée semi-diurne et semi-mensuelle. Ainsi, l'intensité de la stratification varie en fonction de la distance à l'embouchure de telle sorte que la colonne d'eau est stratifiée plus fortement près de l'embouchure, où les apports d'eau douce affectent une plus petite superficie. En périphérie de la

zone de l'embouchure, la colonne d'eau devient plus homogène. L'influence fluviale est plus grande au printemps et se traduit par une diminution de l'intensité de la stratification. L'importance relative plus grande de l'influence fluviale sur la stratification est observée lorsque la marée est basse, donc sur une base quotidienne, et surtout en vives-eaux.

La couche de surface dans la zone de l'embouchure montre un gradient d'épaisseur décroissant de l'ouest vers l'est. L'épaisseur est plus grande dans les chenaux ouest et central par où s'écoule la majeure partie des apports fluviaux de la rivière Romaine et de la rivière Lechasseur. Ce gradient démontre l'influence relative plus faible des apports d'eau douce dans le secteur est, où l'on observe la zostère, une plante aquatique halophyte. L'épaisseur de la couche de surface est plus grande plus on s'approche des fosses aux pieds des chutes où l'influence des apports fluviaux se fait sentir sur une plus petite superficie. La diminution de l'épaisseur de la couche de surface durant la saison s'explique par la diminution du débit d'eau douce où un plus petit volume d'eau occupe la superficie de la zone de l'embouchure. De même, la diminution de l'épaisseur de la couche de surface à marée haute s'explique par un étalement sur les battures exondées à marée basse, l'augmentation de la superficie mouillée augmentant considérablement.

La salinité et de la couche de surface augmente en fonction de la distance à l'embouchure. Ce gradient témoigne du mélange graduel, selon le jeu saisonnier du forçage respectif de la marée et de la rivière, des apports fluviaux et de l'intrusion marine. La zone de l'embouchure doit être considérée comme un milieu où l'influence de l'intrusion saline gagne en importance après la crue jusqu'à affecter les caractéristiques physiques de toute la colonne d'eau. Par ailleurs, la température de la couche de surface dans les fosses aux pieds des chutes de la rivière Romaine est généralement plus chaude qu'ailleurs dans la zone de l'embouchure. Ce gradient témoigne de l'influence prépondérante des rivières Romaine et Lechasseur. En périphérie de la zone de l'embouchure, les eaux sont généralement plus froides à cause de la proximité de l'immense masse d'eau froide du chenal de Mingan. La température la plus chaude dans la zone de l'embouchure est généralement atteinte autour du 24 juillet.

5.2.2 Chenal de Mingan

Le panache de la rivière Romaine peut s'étendre jusqu'aux îles de l'archipel de Mingan et probablement au-delà au moment le plus fort de la crue. Par contre, son influence locale est modulée par le cycle semi-diurne de la marée et les conditions de vent. En considérant la portée (14 à 16 km) du panache pour des conditions de débits importants, mais néanmoins inférieurs au débit maximal de crue, celui-ci peut vraisemblablement s'étendre au-delà des îles de l'archipel et possiblement remonter jusqu'à l'embouchure de la rivière Mingan (environ 13 km) dans un large balayage causé par les courants de flot et de jusant qui entraînent le panache sus-jacent. Le panache n'affecte jamais la totalité du chenal de Mingan et balaie la région selon un cycle modulée par la marée semi-diurne. L'effet du courant de marée sur l'entraînement du panache sera atténué par la force et la durée des vents. Ainsi, des observations de terrain ont permis de déterminer que la direction du panache peut être diamétralement opposée à celle du courant de marée pour des vents de 20 à 40 km/h. Par ailleurs, le chenal de Mingan est probablement aussi sous l'influence périodique du panache de la rivière Mingan.

L'épaisseur du panache diminue rapidement à partir de la zone de l'embouchure et est généralement inférieure à 0,5 m. La portée du panache de la rivière Romaine a pu être tracée par la couleur de l'eau qui est associée aux substances organiques dissoutes. Celles-ci montrent encore un gradient en fonction de la distance à l'embouchure même si la salinité en surface est équivalente à celle de l'eau de surface du golfe. Au printemps, le passage de la crue printanière amène la formation d'une couche d'eau mélangée intermédiaire jusqu'à une profondeur d'environ 11 m. Cette couche d'eau intermédiaire n'est pas présente sur l'ensemble du chenal de Mingan et fluctue vraisemblablement en fonction du cycle de la marée semi-diurne comme le fait le panache en surface.

De façon générale, la salinité dans la couche de surface associée au panache de la rivière Romaine, est inférieure dans la portion nord-ouest et supérieure dans la portion est. Ce gradient suggère que l'influence de la rivière Romaine se fait surtout sentir vers l'est du chenal. Le panache se propage vers l'est, mais cela se produit généralement avec le courant de flot de telle sorte que le panache est rabattu sur la côte, limitant d'autant son rayon d'influence. Par ailleurs, la salinité de la couche de surface dans la zone du chenal de Mingan n'est pas reliée à une tendance saisonnière telle une crue printanière suivie d'un étiage estival. De plus, elle n'est pas influencée par le débit quotidien de la rivière Romaine et est indépendante de l'influence tidale. Cela peut suggérer que la salinité est principalement contrôlée par les caractéristiques de la couche de surface du golfe du Saint-Laurent et que le mélange des eaux de surface dans le chenal de Mingan ne soit pas homogène, comme le suggère la présence des nombreux fronts. Il est indéniable que l'augmentation de la salinité dans la couche de surface en fonction de la distance à l'embouchure témoigne du mélange graduel de l'eau douce et de l'eau du golfe du Saint-Laurent. L'absence de relation avec le débit est paradoxale, mais peut s'expliquer par l'importance relative beaucoup plus grande des processus de mélange et de dispersion du panache dans le chenal de Mingan.

La tendance saisonnière de la température de la couche de surface indique que le maximum est atteint vers le 23 août, soit près d'un mois plus tard que dans la zone de l'embouchure de la Romaine, indiquant une discontinuité entre les deux milieux. Cet écart peut s'expliquer par l'importance relative plus faible des apports d'eau douce à partir de la fin juillet l'augmentation subséquente de la température de surface dans le chenal due au réchauffement saisonnier de la couche de surface du golfe du Saint-Laurent. De plus, la température de la couche de surface des eaux du chenal de Mingan est influencée à la baisse en période de marée basse à cause des courants d'advection froids provenant de l'ouest.

La description de la circulation dans le chenal de Mingan repose sur des séries temporelles des courants et des caractéristiques des masses d'eau (salinité, température) obtenues en 1980. Elles montrent une variation semi-diurne et saisonnière de la température et de la salinité qui met en évidence le jeu d'une masse d'eau côtière alimentée par les apports fluviaux au printemps. L'effet est plus marqué pour les stations moins profondes (moins de 15 m) et proches de la zone de l'embouchure. Les conditions de salinité se stabilisent à la hausse vers la mi-septembre. Le passage d'une crue automnale précoce ou à des pluies abondantes est nettement observable à la fin septembre. Bien que notable, l'effet de la crue automnale est faible, avec une diminution de la salinité de moins de 2 psu aux stations observées (de 31,5 à 30 psu). Dans l'ensemble, les données historiques récoltées sur une courte période (moins de 2 mois) suggèrent une entrée

d'eau nette vers le chenal de Mingan par le chenal au sud de l'île du Havre de Mingan, un écoulement stratifié dans le chenal Niapiscou avec une entrée d'eau au fond et une sortie en surface vers le détroit de Jacques-Cartier et un écoulement stratifié dans le Grand Chenal à l'ouest de Grande Île dirigé vers le nord en profondeur. La région de l'archipel de Mingan est soumise à la houle qui provient principalement de l'ouest-sud-ouest et du sud-ouest dont la hauteur atteint 2 m en moyenne. Lors des périodes de tempêtes, elle peut atteindre 4 à 5 m de hauteur, mais ces événements sont peu fréquents. La hauteur des vagues moyennes est généralement inférieure à 1 m. L'activité littorale marine est fortement atténuée à la hauteur de la zone de l'embouchure de la rivière Romaine. La protection de la zone de l'embouchure par les îles de Mingan contre la houle du large, principal agent de remobilisation littorale, fait en sorte que les matériaux fluviaux sont peu remaniés par le mouvement des vagues. Dans l'ensemble, la zone de l'embouchure de la rivière Romaine est un milieu stable à l'échelle décennale.

RÉFÉRENCES

- BILODEAU, L., 1983. *Projet Romaine. Courantométrie et marégraphie dans le chenal de Mingan en août 1980. Séries chronologiques*. Hydro-Québec, Ingénierie de centrales, service hydraulique. 19 p. plus cartes et figures.
- BOURQUE, M.-C. AND D.E. KELLY, 1995. Evidence of wind-driven upwelling in Jacques-Cartier strait. *Atmosphere – Oceans* 33 (4) : 621-637.
- CAMERON, W. M. AND D. W. PRITCHARD, 1963. Estuaries. In M. N. Hill (editor) : *The Sea* vol. 2, John Wiley and Sons, New York, 306 - 324.
- CENTRE SAINT-LAURENT, 1996. *Rapport synthèse sur l'état du saint-Laurent. Volume 1 : L'écosystème du Saint-Laurent*. Environnement Canada – région du Québec, Conservation de l'environnement – et Éditions MultiMondes. Coll. « BILAN Saint-Laurent ».
- DESROSIERS, G., J.C. BRÊTHES ET B. BOURGOING, 1983. *Étude spatio-temporelle des peuplements benthiques du delta de la rivière Romaine (Moyenne-Côte-Nord, Québec)*. Département d'océanographie, Université du Québec à Rimouski. Pour Hydro-Québec.
- DUBOIS, J.M.M., 1979. *Téledétection des mouvements actuels de sédiments estuariens et littoraux entre Migpie et Havre-Saint-Pierre, Moyenne-Côte-Nord du Saint-Laurent*. Rapport SGAS pour Hydro-Québec. 23 p.
- ENTRACO, 1991. *Réserve de parc national de l'Archipel-de-Mingan. Étude géologique et géomorphologie*. Environnement Canada, Services des parcs. 222 p.
- FORRESTER, W.D., 1983. *Manuel canadien des marées*. Ministère des Pêches et des Océans, Service hydrographiques du Canada, Ottawa (Ontario), 148 p.
- HANSEN, D. V. AND M. RATTRAY JR., 1966. New dimensions in estuary classification. *Limnology and Oceanography* 11, 319 - 326.
- JOLICOEUR, P., 1997. *Introduction à la biométrie*. Décarie Éditeurs. 506 p.
- KOUTITONSKY V.G. ET G.L. BUGDEN, 1991. The physical oceanography of the Gulf of St. Lawrence : a review with emphasis on the synoptic variability of the motion, p. 57-90. In J.-C. Therriault [ed.] *The Gulf of St. Lawrence : Small ocean or big estuary?* *Can Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 113 : 57-90.

- LAROCHE, B., 1983. *Dynamique hydraulique et sédimentaire du delta actif de la rivière Romaine*. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Rimouski. 153 p. + annexes.
- LEFOUEST, V., B. ZAKARDJIAN AND F.J. SAUCIER, 2005. Seasonal versus synoptic variability in planktonic production in a high-latitude marginal sea : The Gulf of St. Lawrence (Canada). *Journal of Geophysical Research.*, 110, C09012, doi :10.1029/2004JC002423.
- LEGENDRE, P ET L. LEGENDRE, 1998. *Numerical ecology*. Elsevier Science Oxford. 639 p.
- LONG, B.F., V. KOUTIKONSKY ET P. FARNOLE, 1986. *Havre-Saint-Pierre, base marine multifonctionnelle. Étude hydrodynamique et sédimentologique du site*. Rapport INRS pour Travaux publics Canada, 122 p.
- LORRAIN S., GUAY, G., ET J. GINGRAS, 2005. *Complexe de la Romaine – Études sédimentologiques de la rivière Romaine et de la zone de l’embouchure – Rapport de mission 2004*. Rapport produit par Environnement Illimité inc. présenté à Hydro-Québec. 132 p. et annexes.
- LORRAIN S. et K. MONTOUR, 2002. *Élaboration d’une approche de validation des données océanographiques. Cas type : delta de la rivière Romaine, saison 2001*. Rapport produit par Environnement Illimité inc. présenté à Hydro-Québec. 50 p. et annexes.
- LUPIEN, ROSENBERG ET ASSOCIÉS, 1979. *Projet d’aménagement de la Romaine – Étude géomorphologique*. Pour Hydro-Québec, direction Environnement. 139 p. et annexes.
- MARSAN, A. ET ASSOCIÉS INC., 1983. *Étude Intégrée d’Environnement de la Romaine*. Rapport présenté à Hydro-Québec, Direction Environnement.
- NOVE, 2005. *Complexe de la Romaine – Milieu humain – Rapport d’inventaire*. Présenté à Hydro-Québec
- OUELLET, P., D. LEFAIVRE AND V. KOUTIKONSKY, 1990. Distribution of shrimp (*Pandalus borealis*) larvae and hydrographic pattern in the northern Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 47 : 2068-2078.
- PERILLO, G.M.E., 1995. *Geomorphology and sedimentology of estuaries*. Developments in sedimentology 53. Elsevier Science B.V. Pays-Bas.
- PRITCHARD, D. W., 1952. Estuarine hydrography. *Advances in Geophysics* 1, 243 - 280.
- PRITCHARD, D. W., 1955. Estuarine circulation patterns. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 81, no 717, 1 -

- PRITCHARD, D. W. 1967. What is an estuary, physical viewpoint. In : G. H. Lauf (Editor) : *Estuaries*. American Association for the Advancement of Science, Washington D.C., publ. no. 83.
- ROSS, N. ET B.F. LONG, 1989. Évolution morpho-sédimentaire de la barre de déferlement : un exemple dans le golfe du Saint-Laurent, Québec. *Géographie Physique et Quatenaire*, vol 43(3), 377 – 388.
- ROSSIGNOL, A., 1998. *L'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent. Carnet d'océanographie*. Institut national de la recherche scientifique.
- SAUCIER, F., F. ROY, D. GILBERT, P. PELLERIN AND H. RITCHIE, 2003. Modeling the formation and circulation processes of water masses and sea ice in the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Journal of Geophysical Research*, 108(C8), 3269, doi : 10.1029/2000JC000686, 2003.
- SEVIGNY, J.M., M. SINCLAIR, M. EL-SABH, S. POULET AND A. CÔTÉ, 1979. Summer plankton distributions associated with the physical and nutrient properties of the northwestern Gulf of St. Lawrence. *Journal of Fishery Research Board of Canada*. 36 : 187-203
- SIMARD, Y. AND L. SAVARD. 1990. Variability, spatial patterns and scales of similarity in size-frequency distributions of the northern shrimp (*Pandalus Borealis*) and its migrations in the Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 47 : 794-804.
- SYSTAT VERSION 10, 2000. Statistics I. SPSS inc. 663 p.

ANNEXE 1

Description détaillée des résultats de l'analyse objective

ANNEXE 1 - DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE OBJECTIVE

Interprétation des CP de la zone de l'embouchure

TABLEAU A1-1 Interprétation des composantes principales selon les descripteurs des profils CTD de l'embouchure de la Romaine

CP	Interprétation	Description de la composante principale
1	Stratification du profil	CP1 faible Différence de densité entre la surface et le fond élevée Différence de salinité entre la surface et le fond élevée Stratification élevée Épaisseur de la pycnocline élevée Épaisseur de la colonne d'eau élevée Valeur du BV max élevée Différence de température entre la surface et le fond élevée
2	Épaisseur de la couche de surface	CP2 faible Profondeur du BV max faible Épaisseur de la couche de surface faible Élévation du BV élevée
3	Salinité de la couche de surface	CP3 faible Salinité de la couche de surface faible Écart-type de la densité de la couche de surface faible Écart-type de la salinité de la couche de surface faible Écart-type de la température de la couche de surface faible
4	Température de la couche de surface	CP4 faible Température de la couche de surface élevée
5	Densité de la couche de surface	CP5 faible Densité de la couche de surface élevée

Ainsi, la première CP est associée aux variables qui décrivent la stratification du profil. La deuxième CP est pour sa part associée aux variables qui décrivent l'épaisseur de la couche de surface. La troisième CP décrit la salinité de la couche de surface. La quatrième CP est associée à la variable de la température de la couche de surface. Finalement, la cinquième CP est principalement corrélée avec le descripteur de la densité de la couche surface.

Il est à noter que les descripteurs « épaisseur de la couche de fond » et « élévation minimale dans la colonne d'eau » se positionnent à mi-chemin entre les deux premiers axes principaux (figure 4.1.1). Ils semblent donc contribuer à la fois la stratification du profil et à l'épaisseur de la couche de surface.

Structure spatiale des CP pour la zone de l'embouchure

TABLEAU A1-2 Polynôme spatial associé aux composantes principales des profils CTD de l'embouchure de la Romaine

Composante principale	Polynôme spatial	R ² (n=254)	p	Figure
1° Stratification (de + vers -)	CP 1 = $-4,10367E-03 \cdot X - 4,96593E-03 \cdot Y + 6,7016E-07 \cdot X^2 + 1,08466E-06 \cdot Y^2 + 3,84325E-06 \cdot XY - 4,24069E-10 \cdot X^2Y - 6,56863E-09 \cdot XY^2 + 4,689$	0,13	< 0,001	4.1.4
2° Épaisseur de la couche de surface (de - vers +)	CP 2 = $-4,85466E-07 \cdot XY + 2,35083E-10 \cdot XY^2 - 0,21919$	0,34	< 0,001	4.1.5
3° Salinité moyenne de la couche de surface (de - vers +)	CP 3 = $-7,48704E-08 \cdot Y^2 + 0,321$	0,04	< 0,01	4.1.6
4° Température moyenne de la couche de surface (de + vers -)	CP 4 = $-3,7478E-03 \cdot X - 3,7156E-03 \cdot Y + 6,1719E-07 \cdot X^2 + 6,8525E-07 \cdot Y^2 + 3,1281E-06 \cdot XY - 3,5404E-10 \cdot X^2Y - 5,0335E-10 \cdot XY^2 + 4,287$	0,12	< 0,001	4.1.7
5° Densité moyenne de la couche de surface (de + vers -)	CP 5 = $-8,9326E-08 \cdot X^2 - 4,6678E-07 \cdot XY - 1,4639E-10 \cdot XY^2 + 3,8355E-03$	0,12	< 0,001	4.1.8

X représente la longitude en coordonnées MTM zone 5, dont la valeur 351 027,26 a été soustraite.

Y représente la latitude en coordonnées MTM zone 5, dont la valeur 5 570 979,54 a été soustraite.

Interprétation des CP de la zone du chenal de Mingan

TABLEAU A1-3 Interprétation des composantes principales selon les descripteurs des profils CTD du chenal de Mingan

CP	Interprétation	Description de la composante principale en fonction des descripteurs
1	Salinité de la couche de surface	CP1 faible Densité de la couche de surface faible Salinité de la couche de surface faible Différence de densité entre le fond et la surface grande Différence de salinité entre le fond et la surface grande Stratification grande Écart-type de la densité de la couche de surface faible Écart-type de la salinité de la couche de surface faible Écart-type de la température de la couche de surface faible Valeur du BV max élevée Différence de température entre la surface et le fond grande
2	Épaisseur de la couche de surface	CP2 faible Profondeur du BV max petite
3	Température de la couche de surface	CP3 faible Température de la couche de surface élevée

La première CP est associée aux variables qui décrivent la salinité de la couche de surface. La deuxième CP est, quant à elle, associée aux variables qui décrivent l'épaisseur de la couche de surface. La troisième CP décrit la température de la couche de surface.

Structure spatiale des composantes principales

TABLEAU A1-4 Polynôme spatial associé aux composantes principales des profils CTD de la zone du chenal de Mingan

Composante principale	Polynôme spatial	R ² (n=120)	p	Figure
1° Salinité de la couche de surface (de - vers +)	CP 1 = $-7,4046E-08 \cdot XY + 4,6691E-12 \cdot X^2Y + 1,8665$	0,17	< 0,001	4.1.16
2° Profondeur de la pycnocline (de - vers +)	Aucun modèle significatif			
3° Température moyenne de la couche de surface (de + vers -)	CP 3 = $3,86E-13 \cdot X^2Y - 0,30883$	0,04	< 0,05	4.1.17

X représente la longitude en coordonnées MTM zone 5, dont la valeur 341 889,19 a été soustraite.

Y représente la latitude en coordonnées MTM zone 5, dont la valeur 5 560 995,77 a été soustraite.

Analyse de covariance pour les deux zones combinées

Type et stade de marée

Le tableau A5 résume le modèle de covariance dont les effets sont significatifs :

- un effet de la distance (covariable),
- un effet du type de marée,
- et l'interaction entre la distance, le type et le stade de marée.

TABLEAU A1-5 Modèle de covariance : salinité de la couche de surface dans l'embouchure de la Romaine et du chenal de Mingan en fonction de la distance à l'embouchure, selon le type et le stade de marée

Variable dépendante	Covariable	Effets	p	R ² du modèle
ln(salinité)	ln(distance)		< 0,001	0,36
		Type de marée	< 0,001	
		Type de marée * stade de marée * ln(distance)	< 0,01	

Classe de débit

Le tableau A6 résume le modèle de covariance dont les effets sont significatifs :

- un effet de la distance (covariable),
- un effet du débit de la Romaine,
- et l'interaction entre la distance et le débit quotidien de la Romaine.

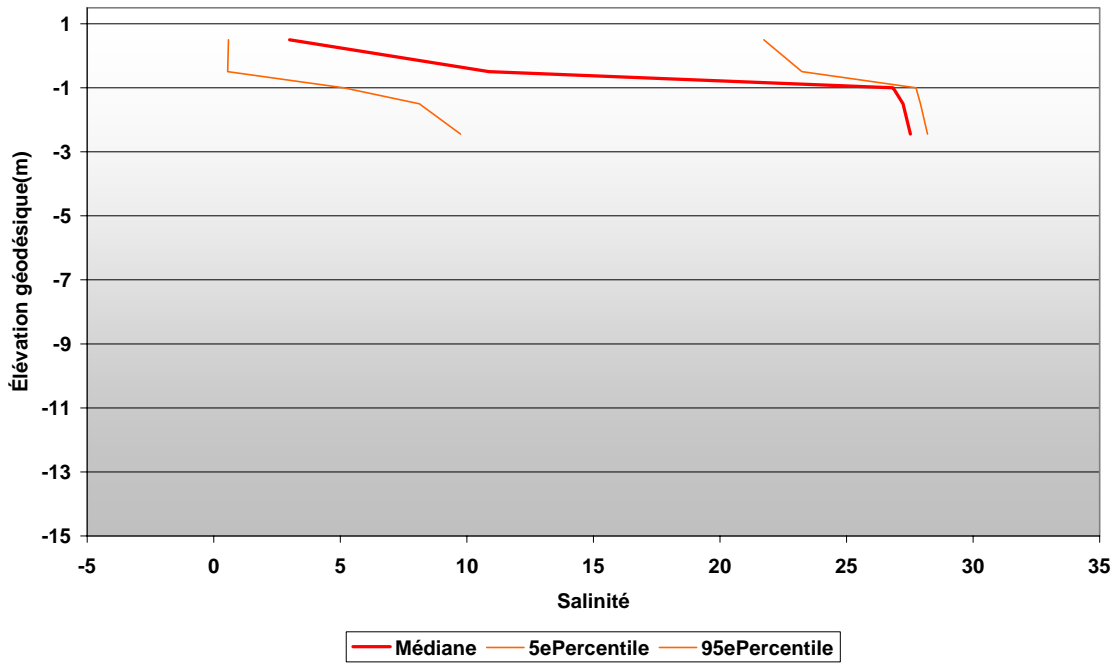
TABLEAU A1-6 Modèle de covariance : salinité de la couche de surface dans l'embouchure de la Romaine et du chenal de Mingan en fonction de la distance à l'embouchure, selon trois classes de débit

Variable dépendante	Covariable	Effets	p	R ² du modèle
ln(salinité)	ln(distance)		< 0,001	0,41
		Classe de débit	< 0,001	
		Classe de débit * ln(distance)	< 0,001	

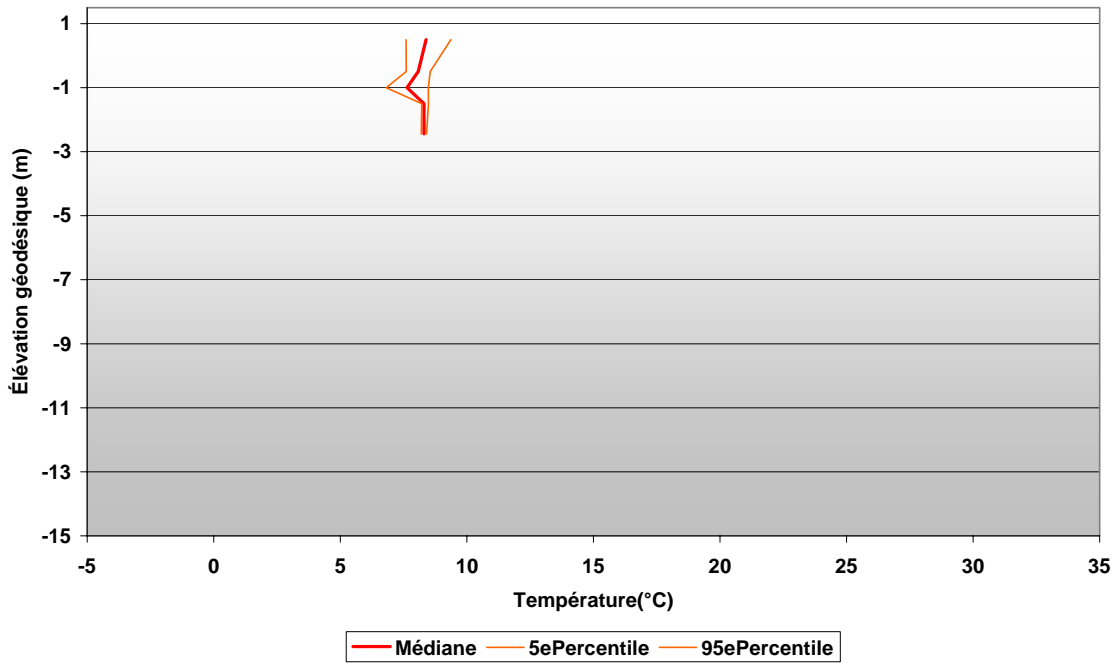
ANNEXE 2

**Profils synthèses de la salinité et de la température
dans la zone de l'embouchure**

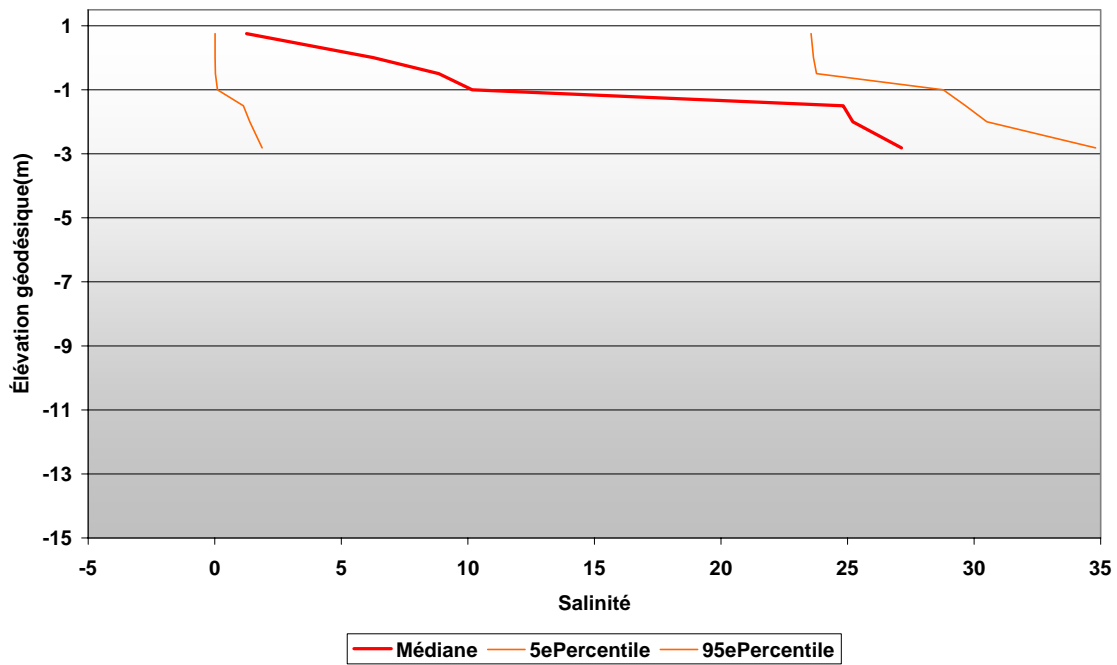
Profil moyen - Station 1
Tous débits confondus, hiver inclus



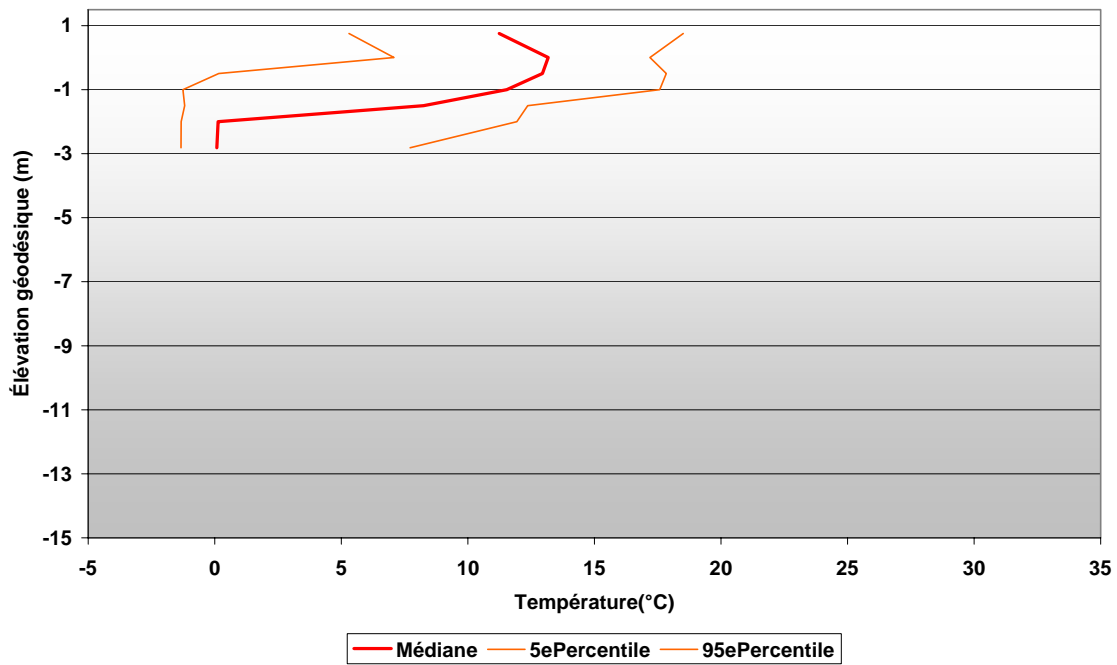
Profil moyen - Station 1
Tous débits confondus, hiver inclus



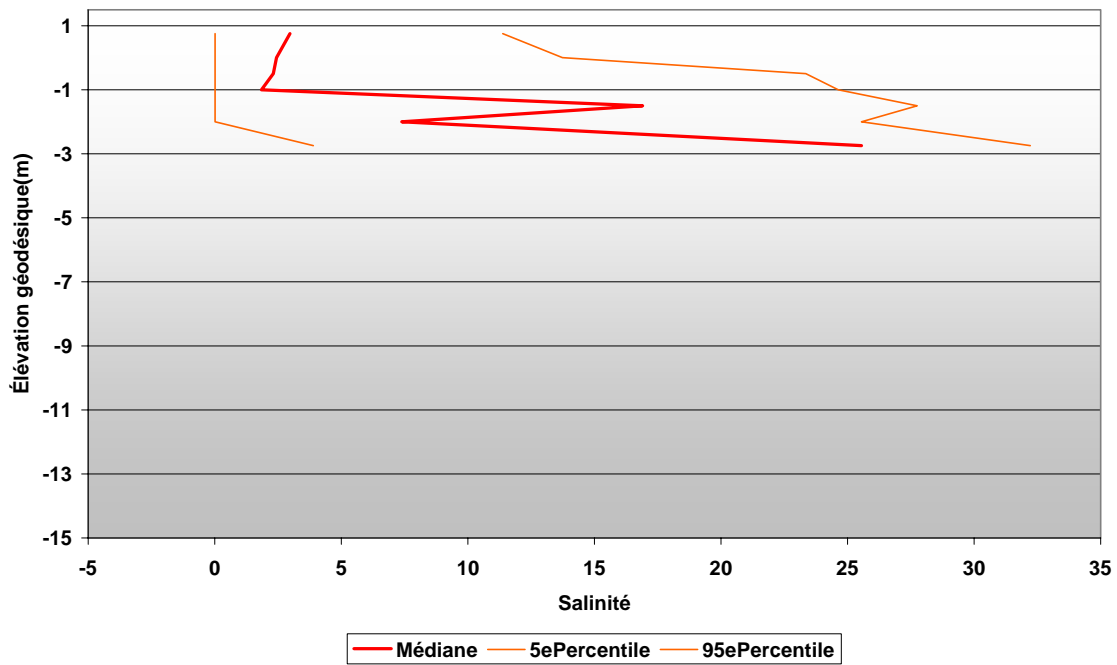
Profil moyen - Station 2
Tous débits confondus, hiver inclus



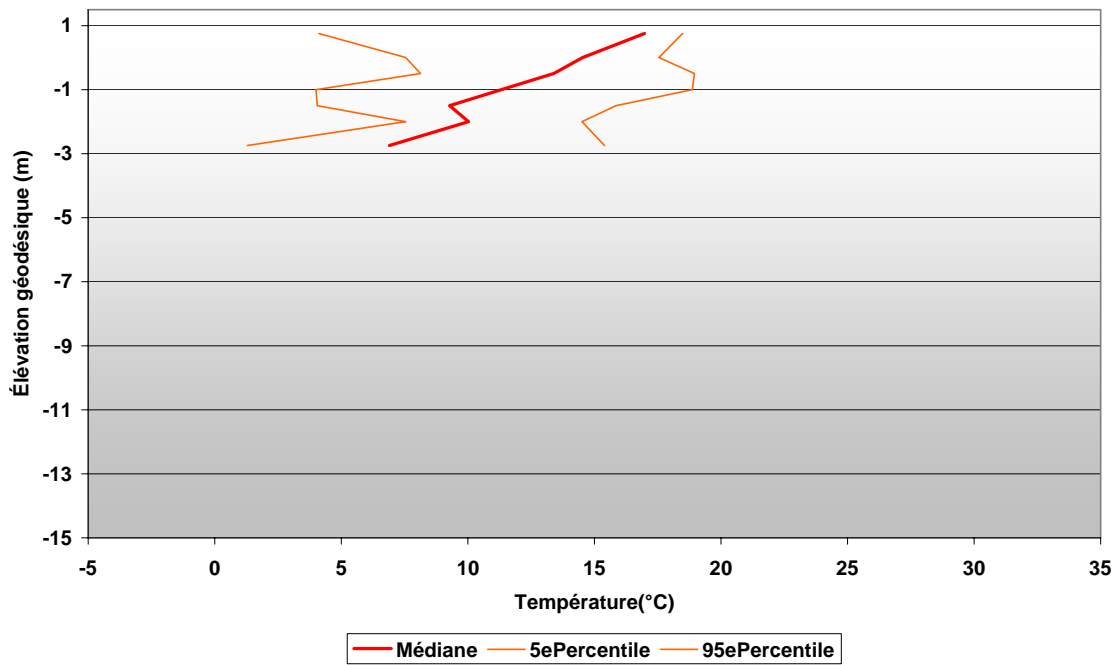
Profil moyen - Station 2
Tous débits confondus, hiver inclus



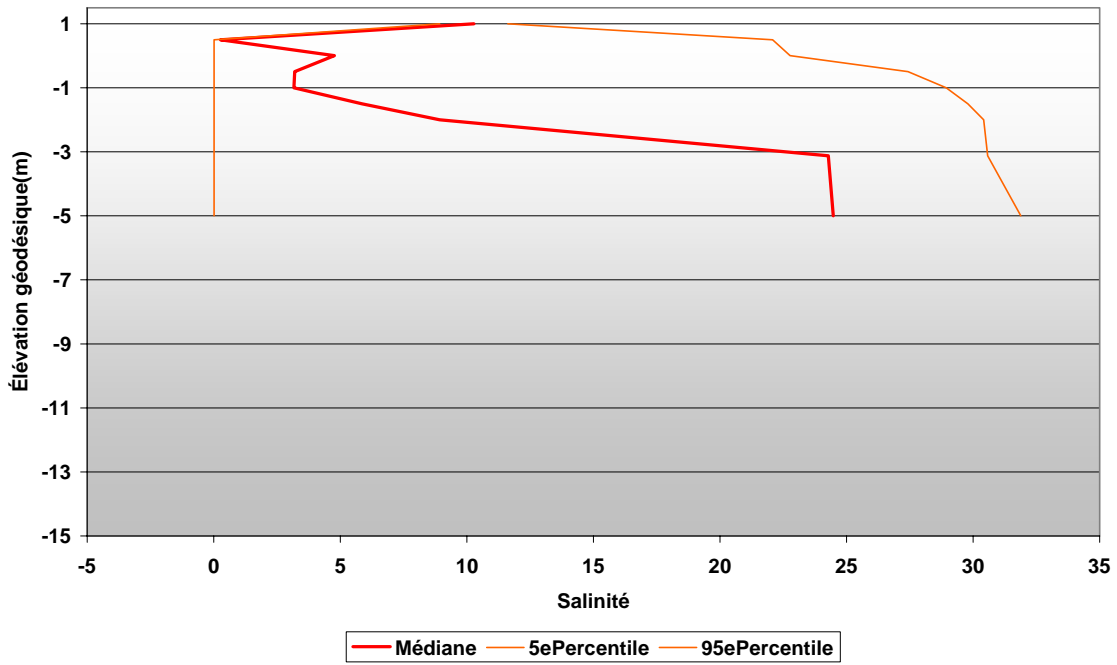
Profil moyen - Station 3
Tous débits confondus, hiver inclus



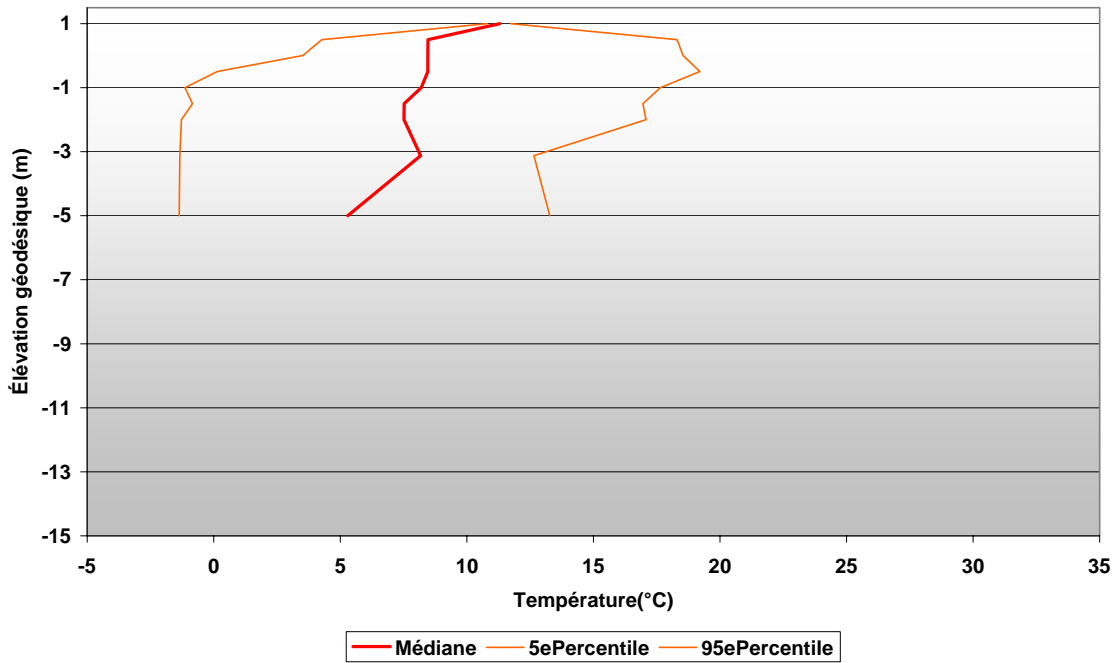
Profil moyen - Station 3
Tous débits confondus, hiver inclus



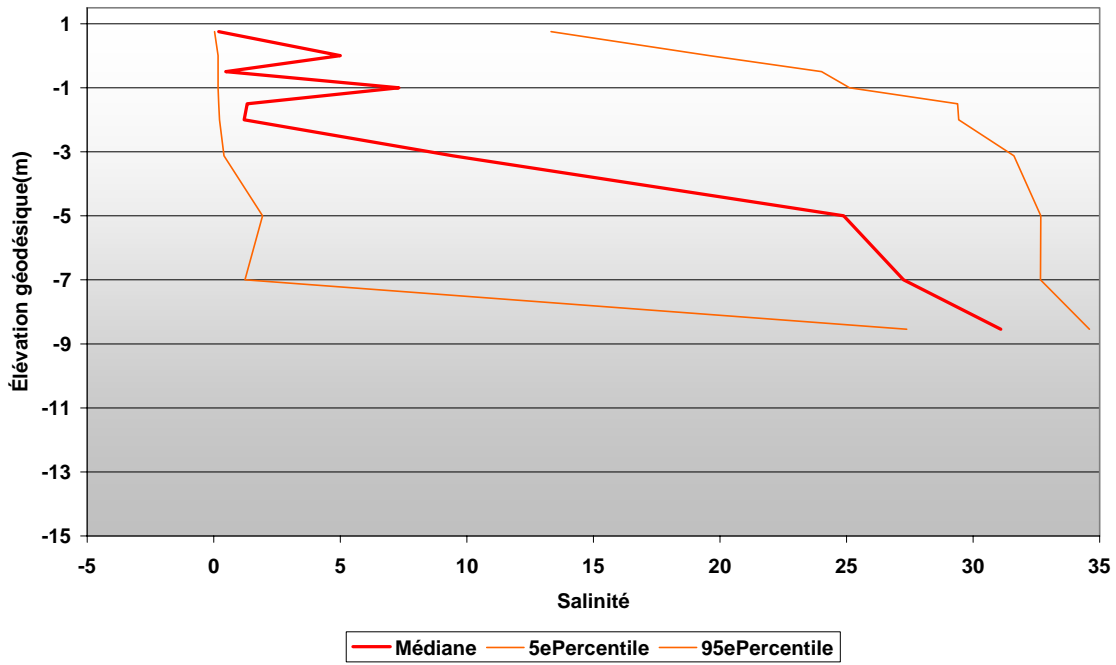
Profil moyen - Station 4
Tous débits confondus, hiver inclus



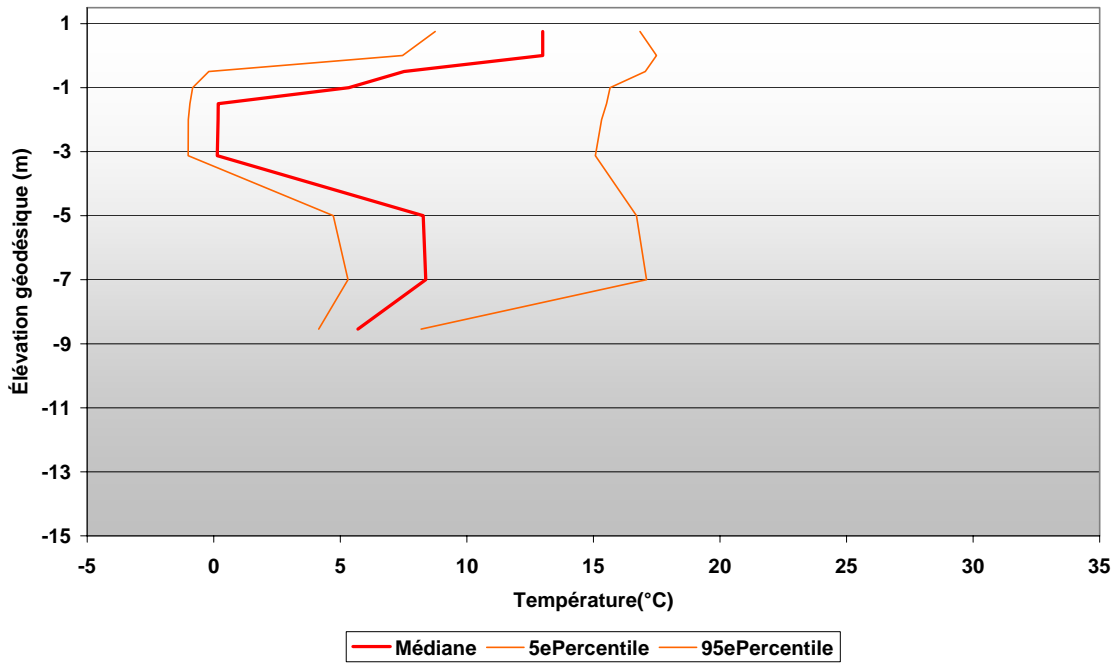
Profil moyen - Station 4
Tous débits confondus, hiver inclus



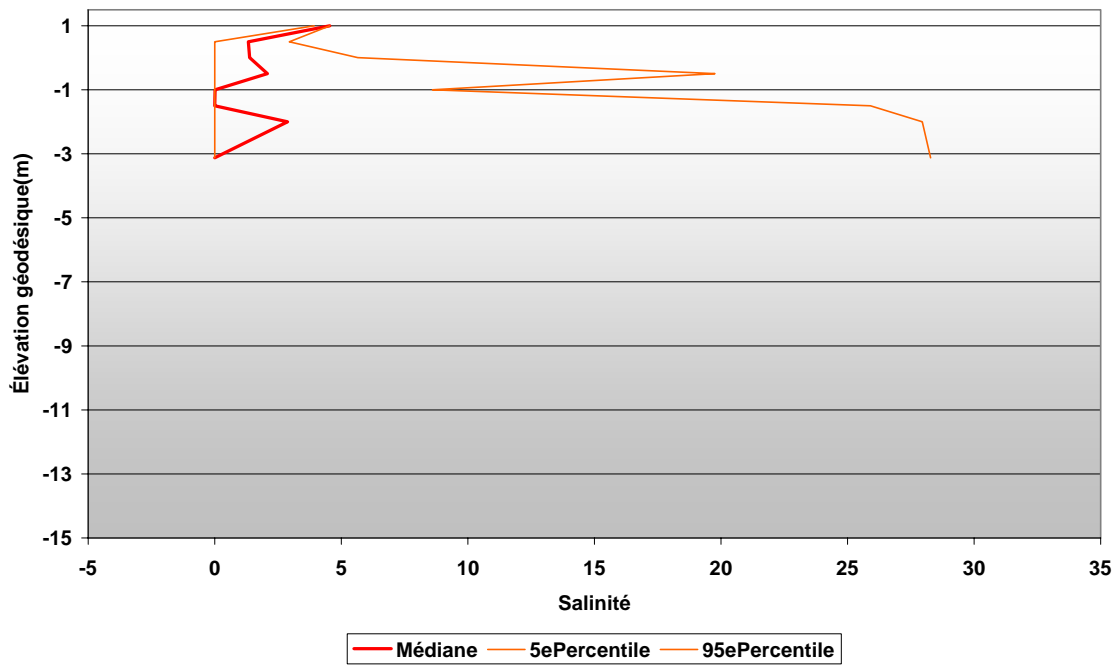
Profil moyen - Station 5
Tous débits confondus, hiver inclus



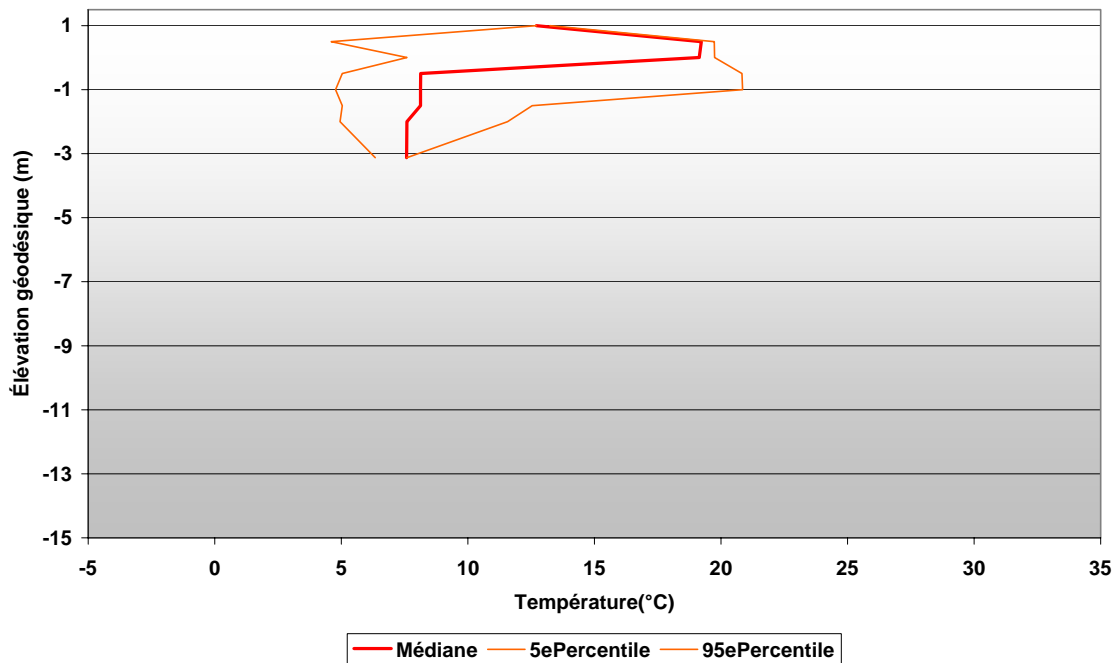
Profil moyen - Station 5
Tous débits confondus, hiver inclus



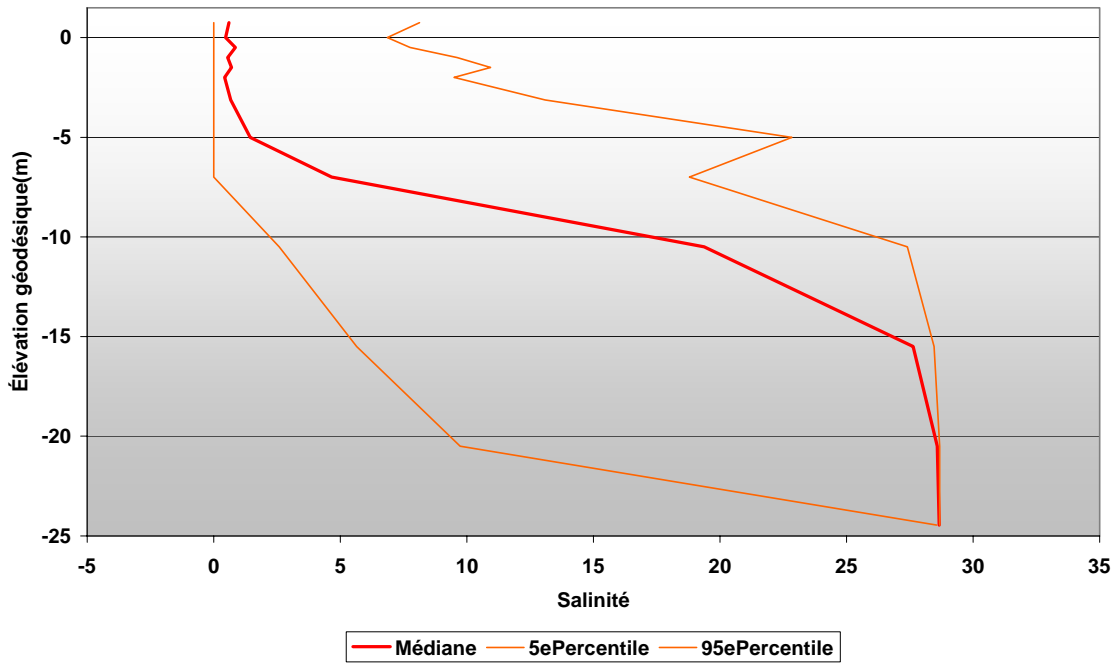
Profil moyen - Station 6
Tous débits confondus, hiver inclus



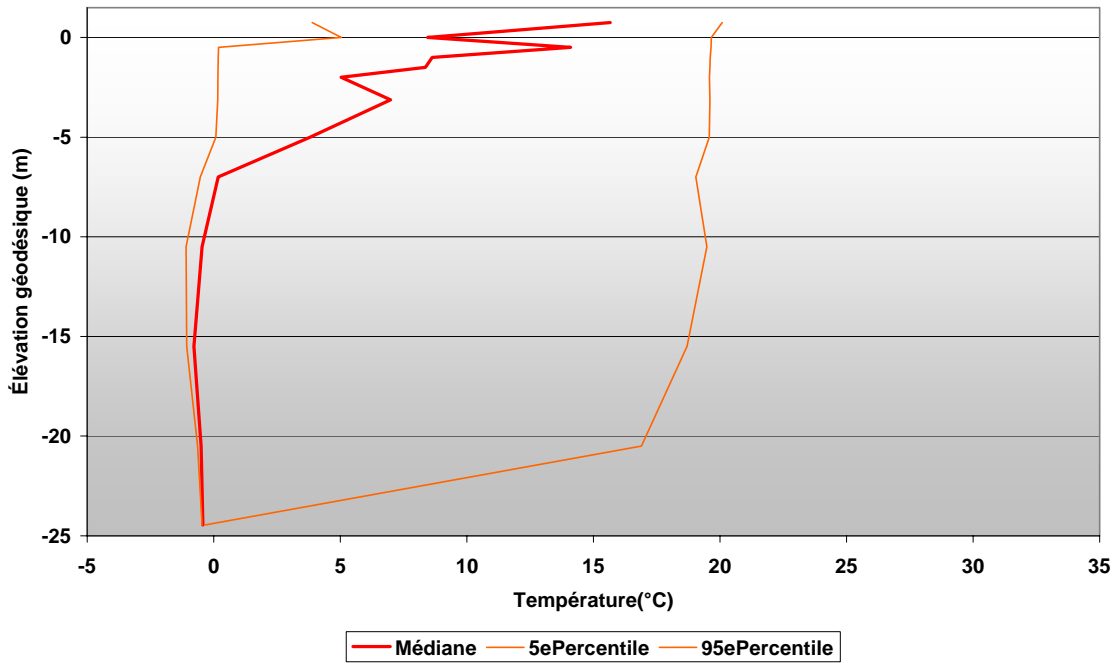
Profil moyen - Station 6
Tous débits confondus, hiver inclus



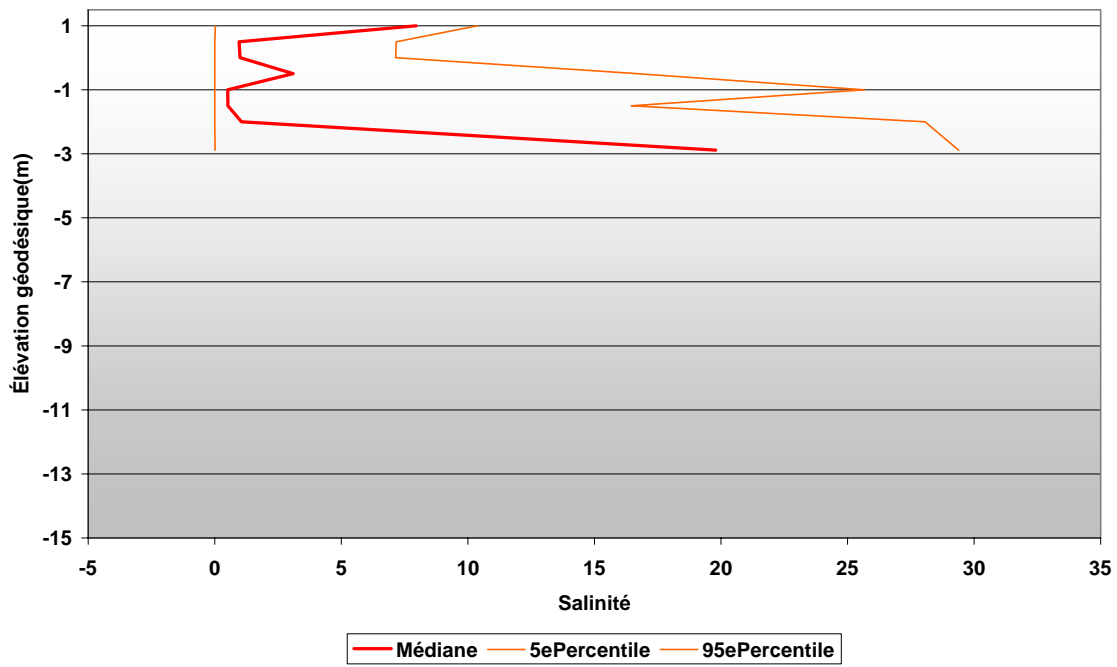
Profil moyen - Station 7
Tous débits confondus, hiver inclus



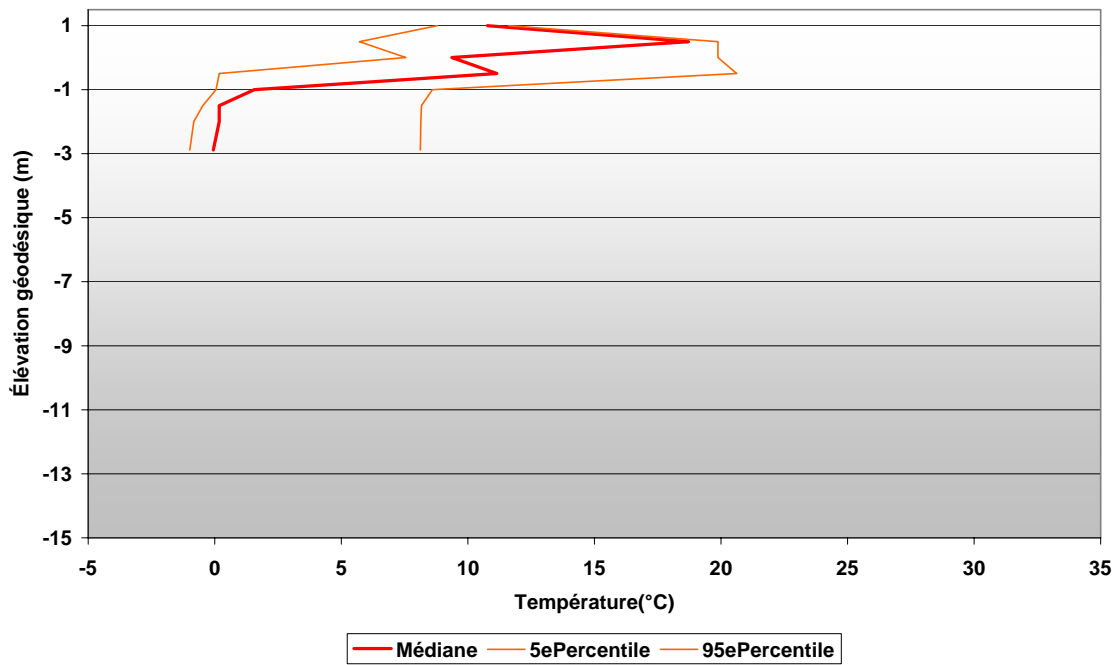
Profil moyen - Station 7
Tous débits confondus, hiver inclus



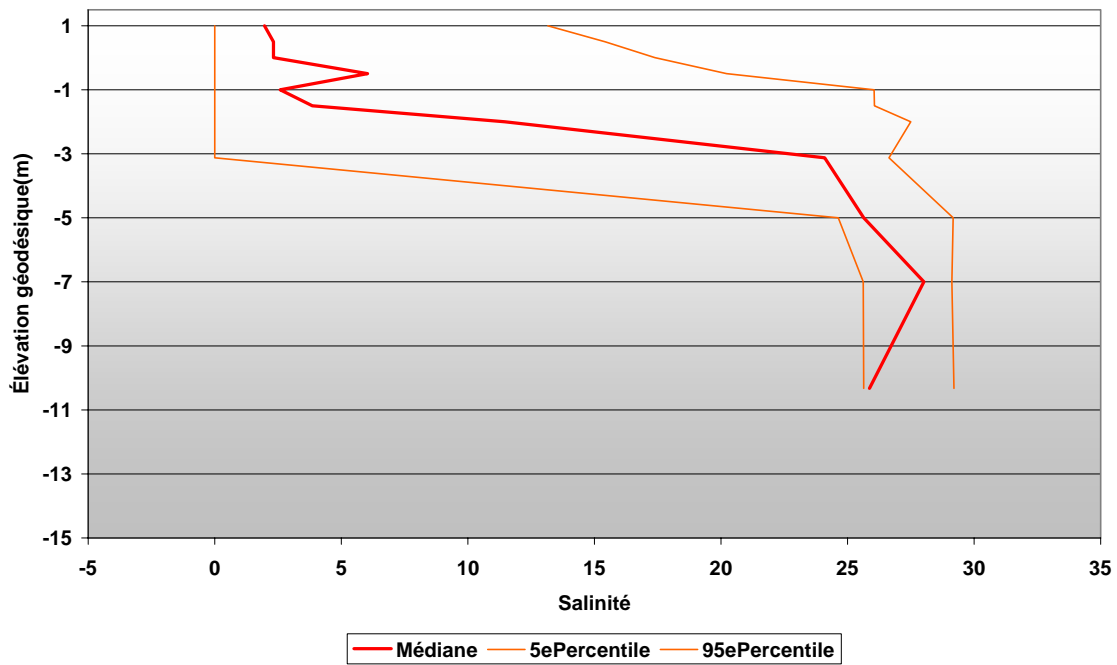
Profil moyen - Station 8
Tous débits confondus, hiver inclus



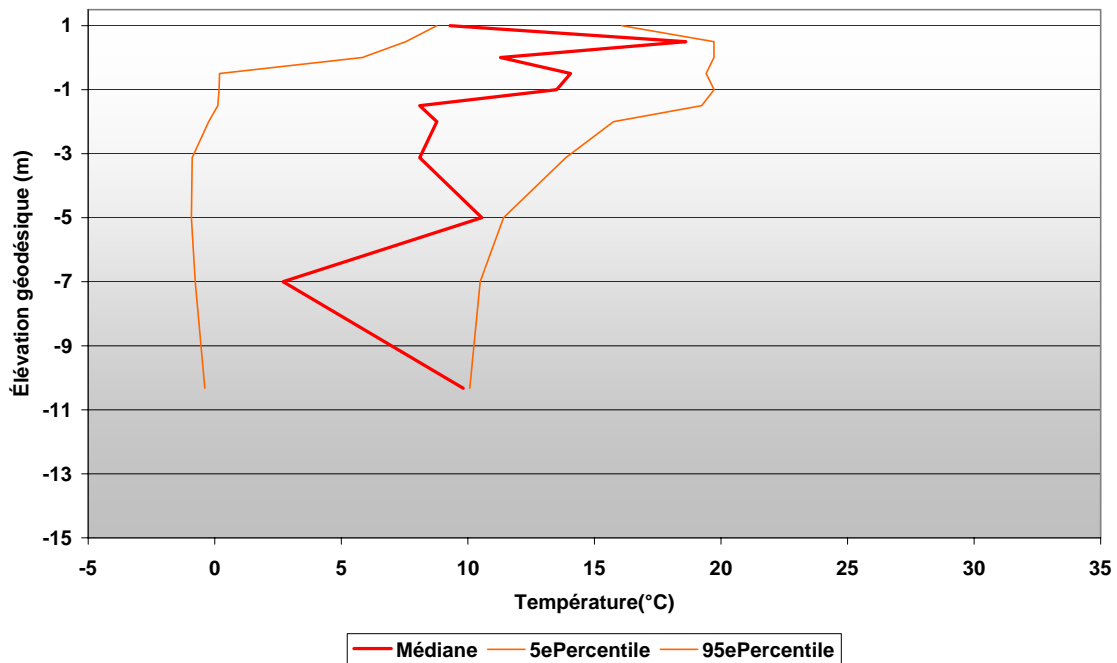
Profil moyen - Station 8
Tous débits confondus, hiver inclus



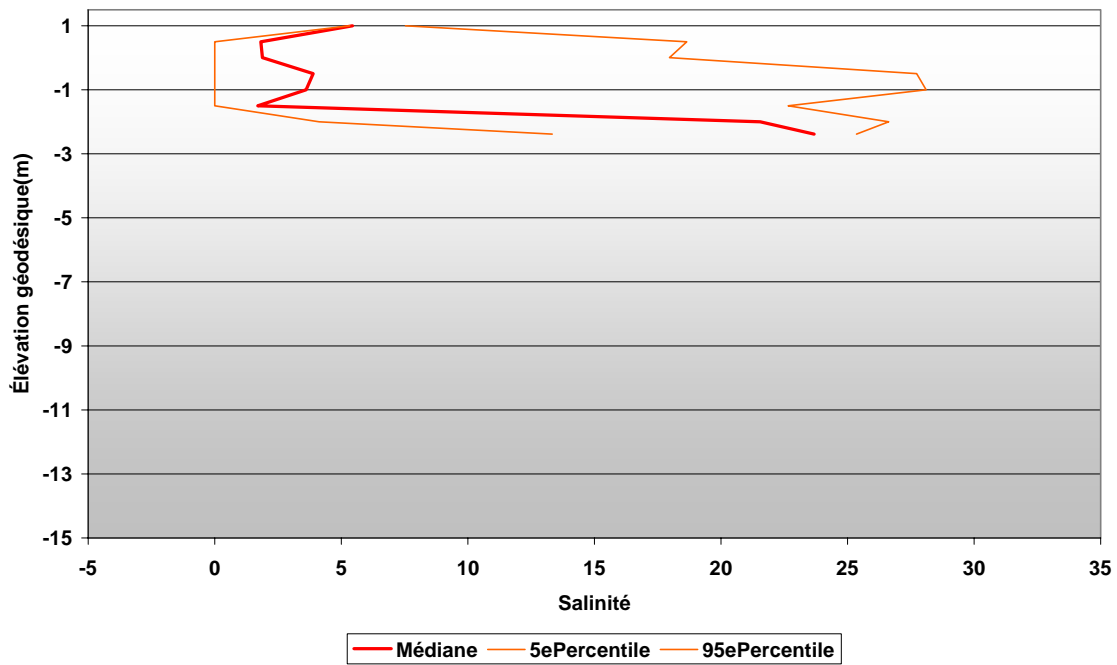
Profil moyen - Station 9
Tous débits confondus, hiver inclus



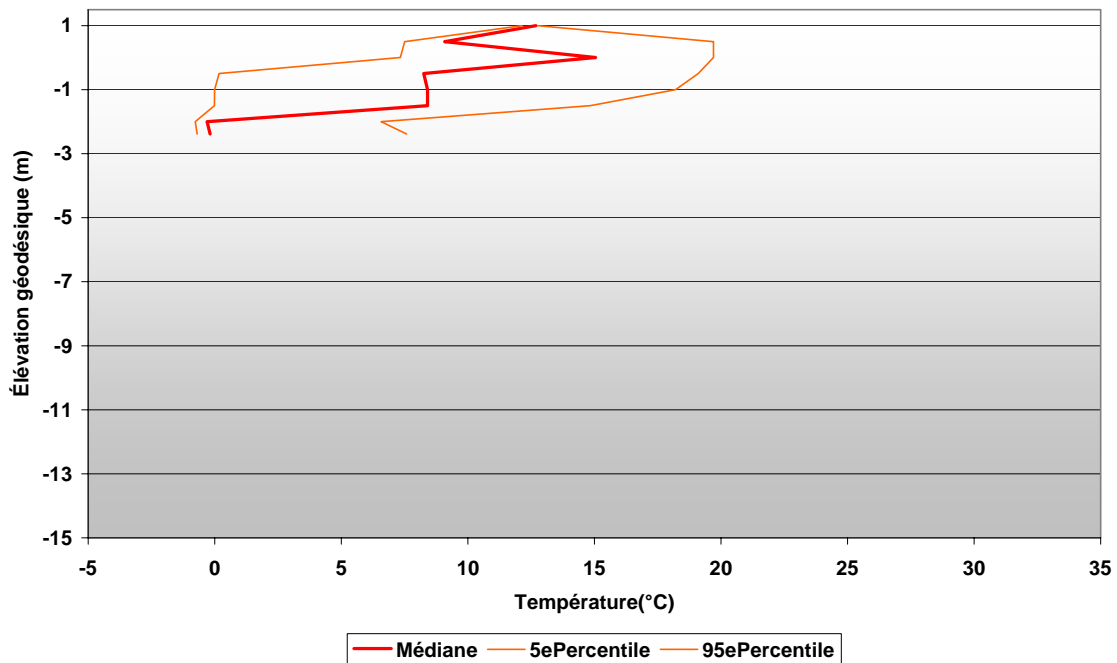
Profil moyen - Station 9
Tous débits confondus, hiver inclus



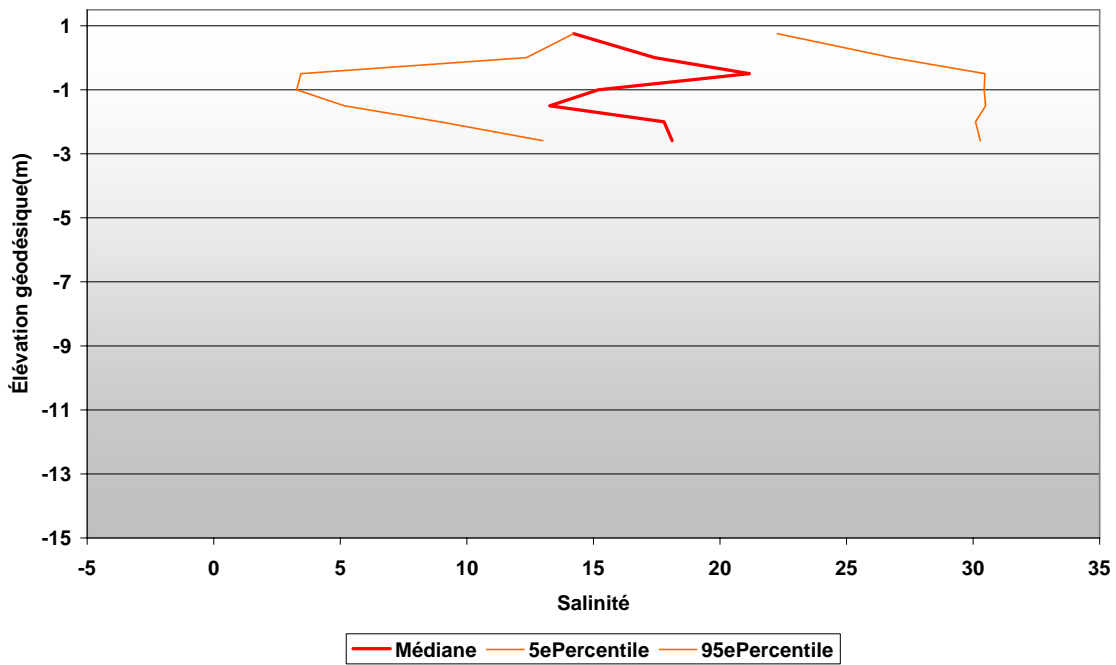
Profil moyen - Station 10
Tous débits confondus, hiver inclus



Profil moyen - Station 10
Tous débits confondus, hiver inclus



Profil moyen - Station 11
Tous débits confondus, hiver inclus



Profil moyen - Station 11
Tous débits confondus, hiver inclus

