



Ville de Sept-Îles

Érosion des berges

Études techniques et d'opportunité

Référence : 2432-01-24

Rapport technique



Yann ROPARS, ing., M. Sc.

Consultants ROPARS inc.

3643, Chemin Saint-Louis

Sainte-Foy (Québec)

G1W 1T2

Juin 2007

Québec 


CONSULTANTS ROPARS, INC.

TABLES DES MATIÈRES

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Introduction | 1 |
| 2 | Données de base | 2 |
| 2.1 | Situation générale | 2 |
| 2.2 | Observations spécifiques | 3 |
| 2.2.1 | Sédimentologie du secteur..... | 3 |
| 2.2.2 | Avant-plage | 3 |
| 2.2.3 | Protection de berges | 8 |
| 3 | Campagnes de relevés de 2006..... | 11 |
| 3.1 | Relevé aéroporté des berges de Sept-Îles | 11 |
| 3.2 | Relevé de bathymétrie de Entreprises Normand Juneau | 12 |
| 3.3 | Relevé de bathymétrie de CIDCO | 13 |
| 3.4 | Compilation des différents relevés | 14 |
| 4 | Niveaux d'eau..... | 15 |
| 4.1 | Niveaux d'eau extrêmes à Sept-Îles | 15 |
| 4.2 | Niveaux d'eau à Sept-Îles d'après la table des marées | 16 |
| 5 | Évaluation des sédiments | 18 |
| 5.1 | Prélèvement d'échantillons | 18 |
| 5.2 | Analyse granulométrique | 18 |
| 6 | Étude des vagues | 21 |
| 6.1 | Vagues au large | 21 |
| 6.2 | Vagues de tempête..... | 26 |
| 7 | Étude de la réfraction des vagues | 29 |
| 7.1 | Modélisation de la bathymétrie | 29 |

| | | |
|-----|---|----|
| 7.2 | Calcul de la réfraction | 29 |
| 7.3 | Vagues réfractées – Tempêtes d’est | 30 |
| 7.4 | Vagues réfractées – Tempêtes d’ouest | 33 |
| 7.5 | Secteur « est » de la baie de la Boule | 36 |
| 8 | Déplacement des sédiments..... | 41 |
| 8.1 | Tempêtes d’est..... | 41 |
| 8.2 | Tempêtes d’ouest..... | 41 |
| 8.3 | Ensemble des tempêtes..... | 41 |
| 8.4 | Récurrence comparée des tempêtes d’est et d’ouest | 42 |
| 8.5 | Cas des vagues ordinaires..... | 42 |
| 9 | Solutions envisagées..... | 43 |
| 9.1 | Rechargement de plage..... | 43 |
| 9.2 | Enrochement linéaire..... | 47 |
| 9.3 | Combinaison épi et rechargement | 50 |
| 9.4 | Déménagement des maisons..... | 51 |
| 9.5 | Solutions mixtes | 52 |
| 10 | Conclusion et recommandations..... | 54 |

1 Introduction

Les berges de la ville de Sept-Îles subissent des phénomènes d'érosion qui ont conduit différents intervenants à enrocher une partie de ces berges pour tenter d'enrayer cette érosion. Par contre, la mise en place d'enrochements de protection de berge a entraîné une érosion de la berge adjacente du côté ouest de la partie protégée par enrochement (« effet de bout ») et une quasi-disparition de la plage devant les enrochements. Il en a découlé un cercle vicieux d'interventions qui provoquent à leur tour le besoin d'autres interventions, cycle sans fin et relativement onéreux.

La ville de Sept-Îles a engagé Consultants Ropars inc. pour la réalisation d'études techniques et d'opportunité sur les scénarios d'atténuation des risques littoraux (résolution N° 0609-572 du 11 septembre 2006).

Cette étude a été rendue possible grâce à la collaboration de nombreux intervenants (la liste suivante est loin d'être exhaustive) que je tiens à remercier :

- La ville de Sept-Îles (Guy Parenteau et Michel Tardif) et le Ministère de la sécurité publique du Québec (François Morneau et Jean-Denis Bouchard) pour l'aide précieuse et leur connaissance du milieu,
- Les firmes GPR-Consultants (Pierre Rousseau), CIDCO (Thierry Schmitt et Pascale Roberge) et Entreprises Normand Juneau (Normand Juneau et Marie-Ève Biron) pour le soin apporté à fournir des informations géographiques de qualité
- Le Groupe-conseil LaSalle (Marc Villeneuve) pour l'assemblage de la masse d'informations géographiques et l'analyse de la réfraction des vagues.

2 Données de base

2.1 Situation générale

Les berges de la ville de Sept-Îles plus particulièrement visées par cette étude sont celles des plages Monaghan et Fergusson, ou Pointe Hall sur la carte marine (figure 2.1).

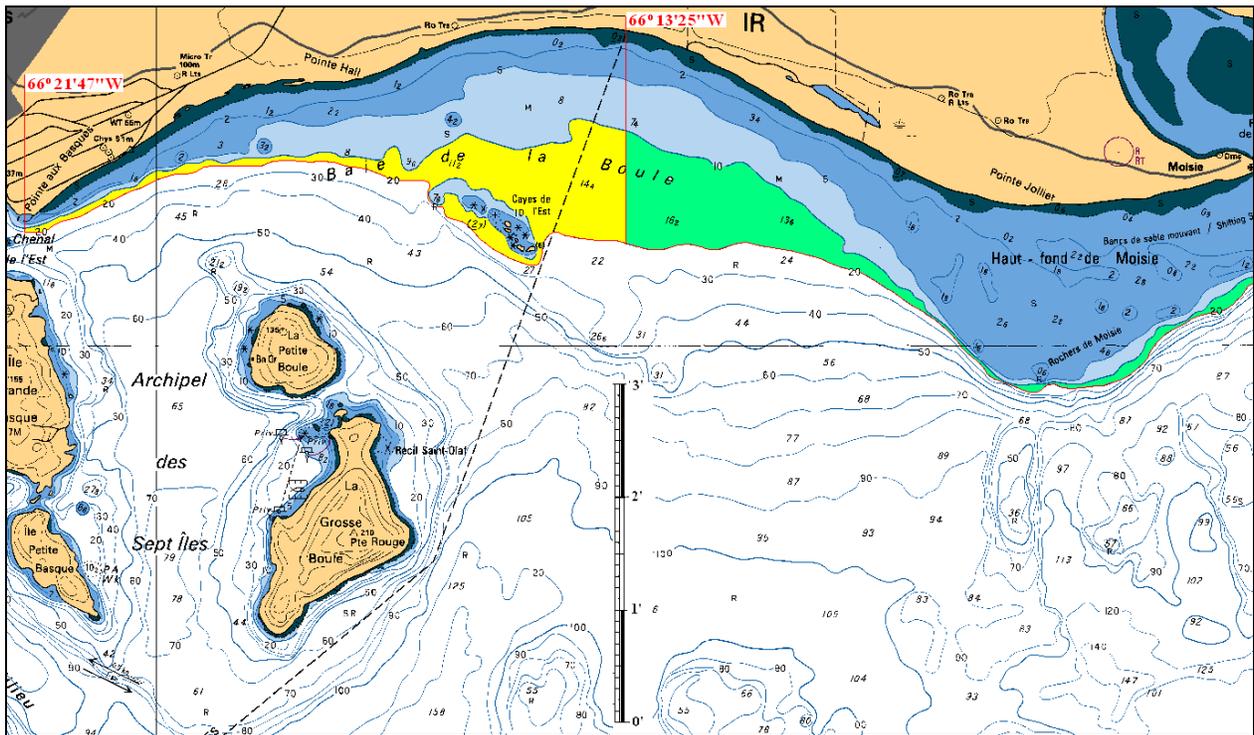


Figure 2.1 Plan de localisation des berges de la ville de Sept-Îles étudiées (carte marine 1221)



Figure 2.2 Localisation des plages de Sept-Îles visées par l'étude

2.2 Observations spécifiques

2.2.1 Sédimentologie du secteur

Du point de vue sédimentologique, la zone à l'étude est une plage d'une dizaine de km de longueur alimentée par les sédiments en provenance de la Moisie et par les sédiments présents dans les terrasses côtières sur lesquelles est construite la ville de Sept-Îles et son aéroport. La zone plus particulièrement évaluée dans le cadre de ce rapport est centrée sur la plage Fergusson et fait de l'ordre de trois km de long.

2.2.2 Avant-plage

En allant de l'est vers l'ouest (sens principal de dérive des sédiments sur cette plage), la visite de septembre 2006 a permis d'observer des types de plage très différents.

Du côté est (extrémité orientale de la plage Fergusson et plage Routhier, fin des travaux d'enrochement de 2000), la plage semble en équilibre. Les pentes y sont très faibles, il y a un ancien talus d'érosion que la végétation a envahi, signe d'une stabilité relative. On peut observer des vestiges de protection de berge en bois dans ce secteur.



Figure 2.3 Plage Routhier – fin de l'enrochement placé en 2000, vers l'est

En septembre 2006, on pouvait même constater dans ce secteur la présence d'un banc de sable (rehaussement local de la plage en avant des secteurs enrochés). Ce banc de sable est un signe d'une avancée vers le large de la plage. L'extrémité ouest de ce banc de sable semblait par contre en érosion lors de la visite du 15 mai 2007 (voir figure 2.14).



Figure 2.4 Avancée vers le large des plages Fergusson et Routhier (vers l'est)

Cette avancée de la plage décroît progressivement en allant vers l'ouest.



Figure 2.5 Rétrécissement de la plage Fergusson devant les enrochements (vers l'ouest)

L'avancée de la plage disparaît à la jonction entre les travaux de protection de berge de 2004 et de 2005 qui se trouve à former un « cap » s'avancant dans la baie de la Boule et qui semble jouer le rôle d'un épi de rétention du sable en transit devant les enrochements.



Figure 2.6 Épi formé par l'extrémité ouest des travaux d'enrochement de 2004

La plage en avant de l'enrochement temporaire de 2005 et plus vers l'ouest présente par endroits une caractéristique un peu particulière avec la présence en surface d'un placage de graviers et cailloux.



Figure 2.7 Vue de l'avant plage devant les enrochements temporaires de 2005 (Fergusson vers l'est)



Figure 2.8 Vue de l'avant plage devant les enrochements de 2005 (Fergusson vers l'ouest)

Il ne s'agit que d'un placage comme le montre la figure suivante. La forme arrondie des graviers et cailloux tendrait à indiquer que ces éléments proviennent de la rivière Moisie et sans doute de l'érosion des anciennes terrasses marines qui constituent le rivage.

Ces éléments plus grossiers seraient moins mobiles que le sable et tendraient à rester en surface, protégeant temporairement le sable sous-jacent.



Figure 2.9 Stratigraphie de l'avant-plage devant l'enrochement de 2005

La zone immédiatement à l'ouest de l'enrochement de 2005 est en érosion marquée avec un talus d'érosion pouvant dépasser 1,5 m de haut en septembre 2006. Il s'agit de la reproduction des phénomènes d'érosion « de bout » qui ont caractérisé chacune des sections d'enrochement placées au cours des dernières années dans ce secteur.



Figure 2.10 Érosion de berge immédiatement à l'ouest de l'enrochement temporaire de 2005

2.2.3 Protection de berges

Des enrochements ont été posés le long des berges à l'étude en 1984, 2000, 2001, 2004 et 2005.



Figure 2.11 Carte de localisation des secteurs artificialisés

La granulométrie des pierres de carapace est étalée (trop grande proportion de pierres trop petites pour les conditions hydrodynamiques qui sévissent à cet endroit) pour garantir la pérennité de ces enrochements dans le temps. De plus, certains de ces enrochements sont susceptibles d'être déstabilisés par une érosion de leur pied.

La photo aérienne de 2001 ci-dessus met en évidence le phénomène de développement de bancs de sable parallèlement au rivage. Ces bancs de sable migrent assez rapidement vers l'ouest (P.

Bernatchez 2007). Il est remarquable de constater que ces bancs semblent disparaître à l'extrémité de la zone enrochée. La présence des enrochements et la réflexion des vagues sur ces enrochements pourraient être reliées au fait que les bancs de sable ne se « recollent » pas au rivage, se « perdent » en eau profonde, contribuant à l'érosion du rivage à l'est des enrochements.



Figure 2.12 Enrochement temporaire de protection de talus – Plage Fergusson (vers l'ouest)



Figure 2.13 Enrochement de protection de berge – Plage Fergusson (vers l'est)

La figure suivante, prise en mai 2007 montre certains dommages en pied d'enrochement avec déplacement vers le large de pierres de carapace. Elle montre également l'érosion du banc de sable qui se trouve à quelques dizaines de mètres de l'enrochement.



Figure 2.14 Enrochement de protection de berge – Plages Fergusson et Routhier (vers l'est) en mai 2007



Figure 2.15 Enrochement de protection de berge – Plage Routhier (vers l'est) en septembre 2006

3 Campagnes de relevés de 2006

3.1 Relevé aéroporté des berges de Sept-Îles

Un relevé aéroporté des berges de Sept-Îles a été effectué en 2006 par la firme Lasermap (GPR / Rousseau-Babin et ass.). L'étendue de ces relevés (rectangles numérotés) est montrée sur les deux figures suivantes (partie ouest et partie est). La technologie utilisée a été celle du laser placé sur un avion et contrôlé par une centrale inertielle pour s'assurer de positionner les relevés avec une précision adéquate dans l'espace (de l'ordre du décimètre).

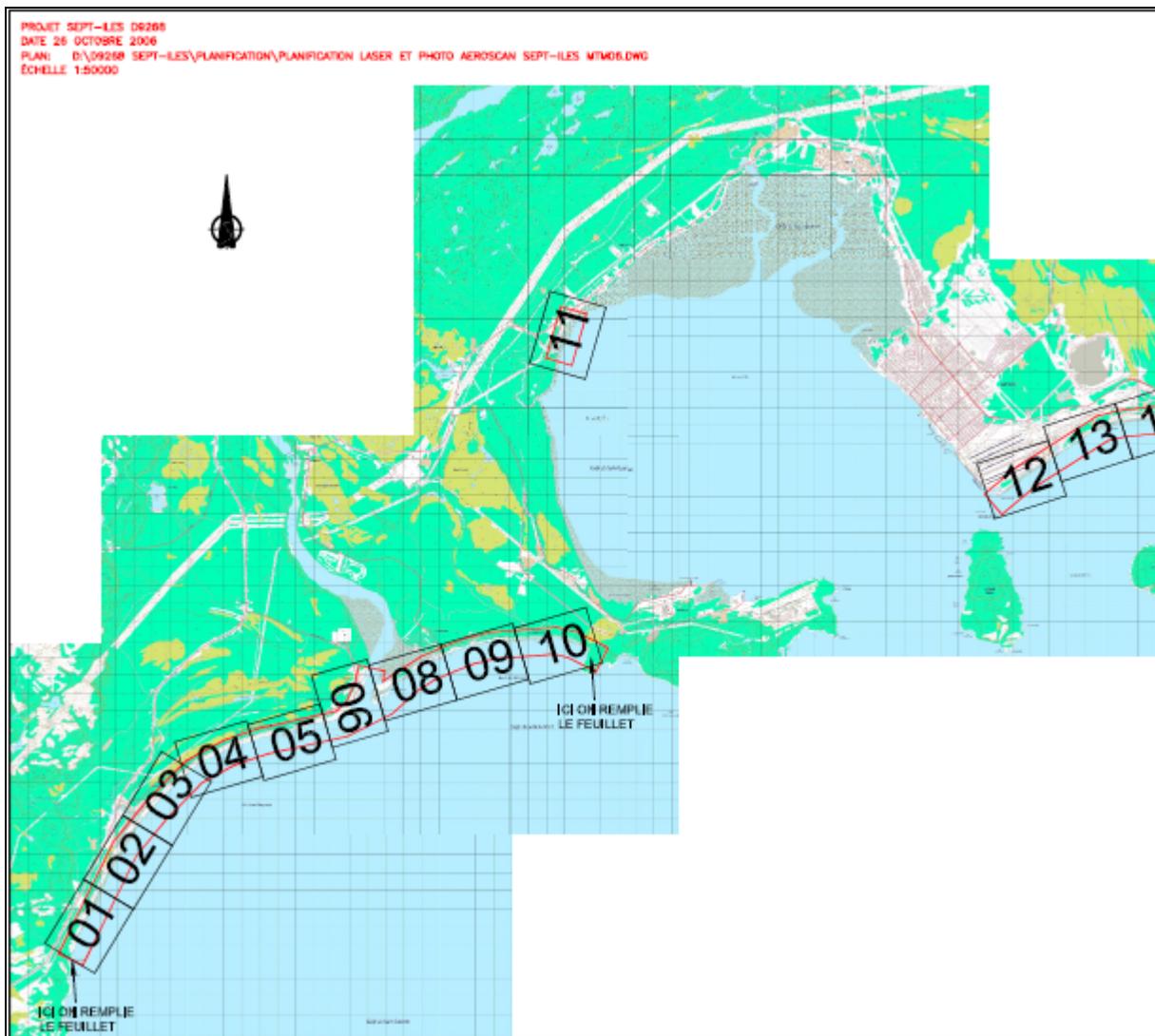


Figure 3.1 Partie ouest du relevé de LaserMap

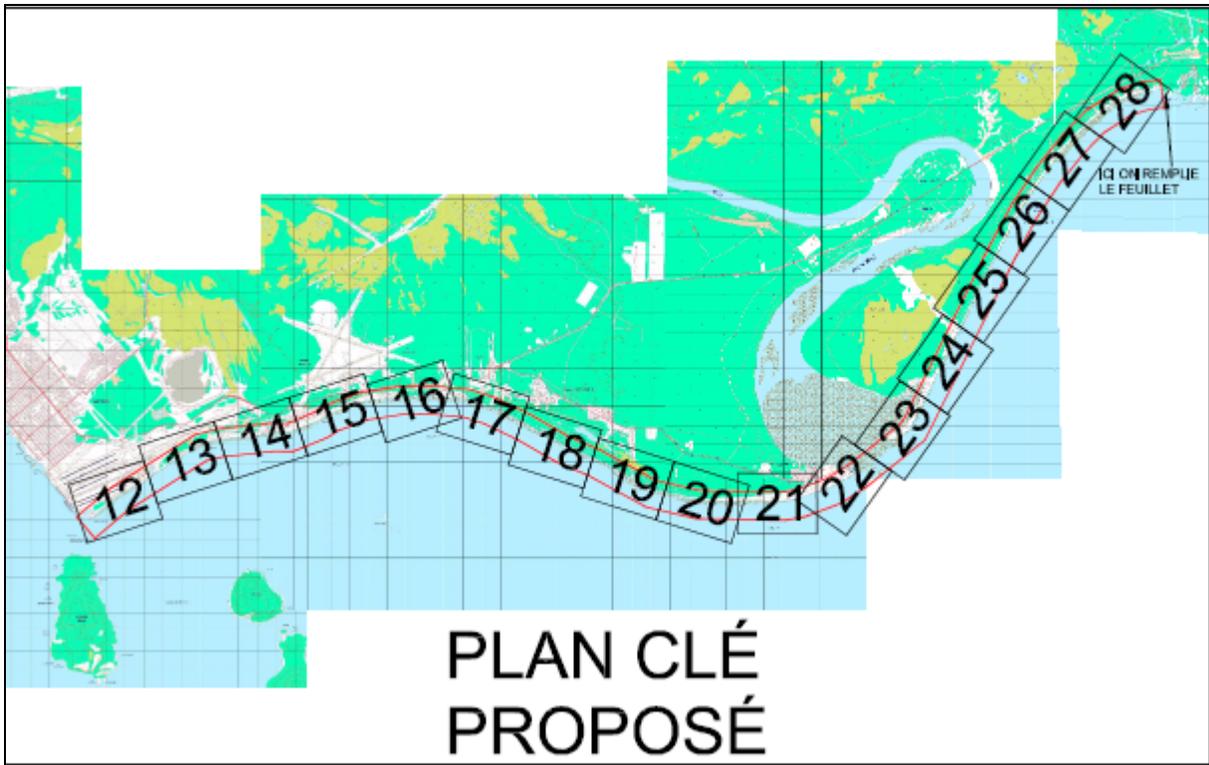


Figure 3.2 Partie est du relevé de LaserMap

Seule la partie « littorale » des relevés aéroportés a été exploitée dans le cadre de ce mandat. La zone terrestre n'a pas été dépouillée, mais pourrait l'être, advenant un besoin (délimitation des zones de submersion étendue par exemple).

3.2 Relevé de bathymétrie de Entreprises Normand Juneau

Un relevé bathymétrique a été effectué par les Entreprises Normand Juneau inc. (ENJ) devant les plages de Sept-Îles (de la pointe aux Basques à la plage Routhier). Cette campagne reprenait les relevés de LaserMap au niveau du zéro des cartes marines jusqu'à l'isobathe -5 m. L'étendue de ces relevés est représentée sur la figure suivante. Ces relevés ont été réalisés à l'aide d'un sondeur électronique standard, positionné par DGPS.

De plus, ENJ a été également chargé de récolter une centaine d'échantillons de sédiment dans la baie de la Boule, devant les plages de Sept-Îles (voir chapitre 5).

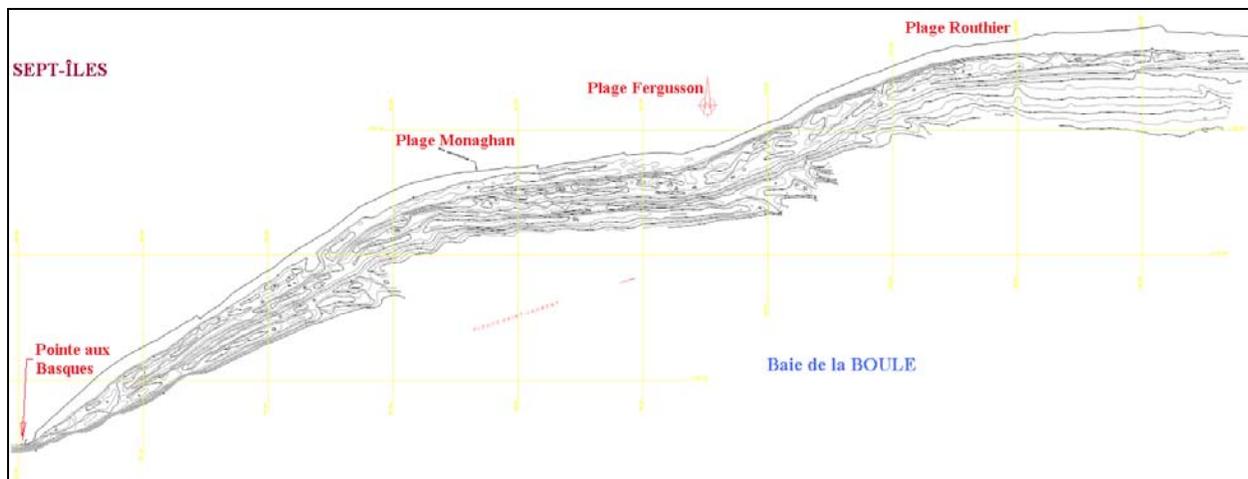


Figure 3.3 Étendue des relevés de ENJ

3.3 Relevé de bathymétrie de CIDCO

Les relevés bathymétriques entre les isobathes -5 m et -20 m ont été effectués par CIDCO à l'aide d'un sondeur multifaisceaux de -6 m à -20 m et à l'aide d'un sonar interférométrique pour la zone où les fonds étaient supérieurs à -6 m. Un certain recouvrement des zones couvertes par ENJ et par CIDCO a permis de s'assurer de la qualité des données. La figure suivante donne une idée de l'étendue des relevés de CIDCO.

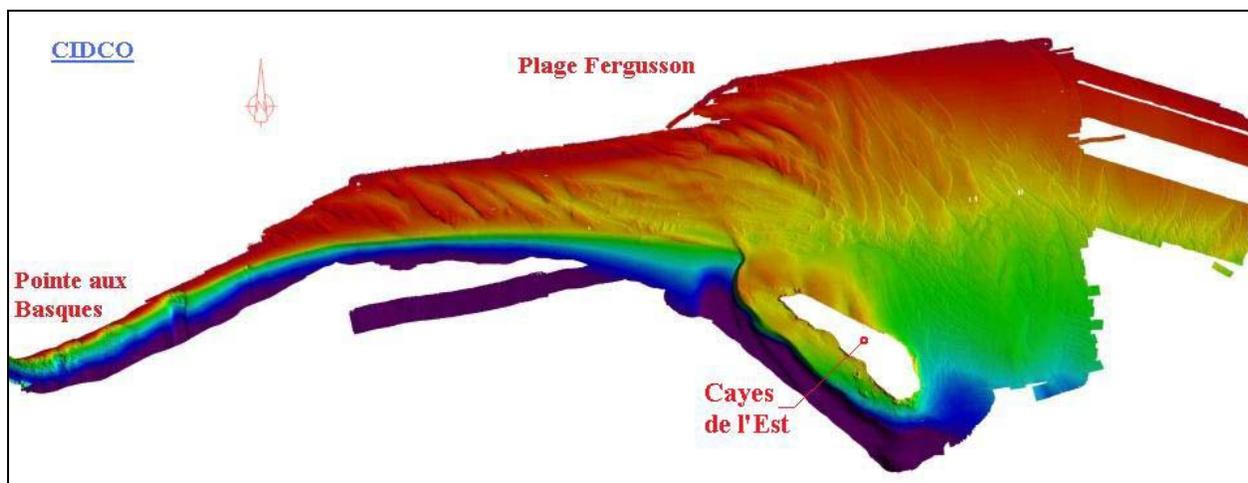


Figure 3.4 Relevés de CIDCO

3.4 Compilation des différents relevés

C'est le Groupe-conseil LaSalle qui a été mis en charge de rassembler les trois sources d'information pour créer un modèle de terrain permettant d'étudier les modifications des vagues en approche des plages (réfraction) à l'aide du modèle MIKE 21 du DHI¹.

Afin de compléter le modèle de terrain vers les grandes profondeurs, le Groupe-conseil LaSalle a recueilli les informations des diverses feuilles d'opération du Service hydrographique du Canada disponibles dans la région.

Une vue isométrique de l'ensemble de la zone couverte par le modèle de terrain utilisé par le Groupe-conseil LaSalle est présentée dans la figure 7.1.

¹ Danish Hydraulic Institute - <http://www.dhigroup.com/Software/Marine.aspx>

4 Niveaux d'eau

4.1 Niveaux d'eau extrêmes à Sept-Îles

Une étude de récurrence des niveaux d'eau extrêmes a été faite pour la station de mesure N° 2780 du Service des données sur le milieu marin (SDMM) à Sept-Îles entre novembre 2002 et octobre 2006. Les informations sur les niveaux d'eau étaient disponibles aux quarts d'heure. Cette étude a donné les résultats illustrés sur les figures suivantes pour ce qui est des niveaux extrêmes observés.

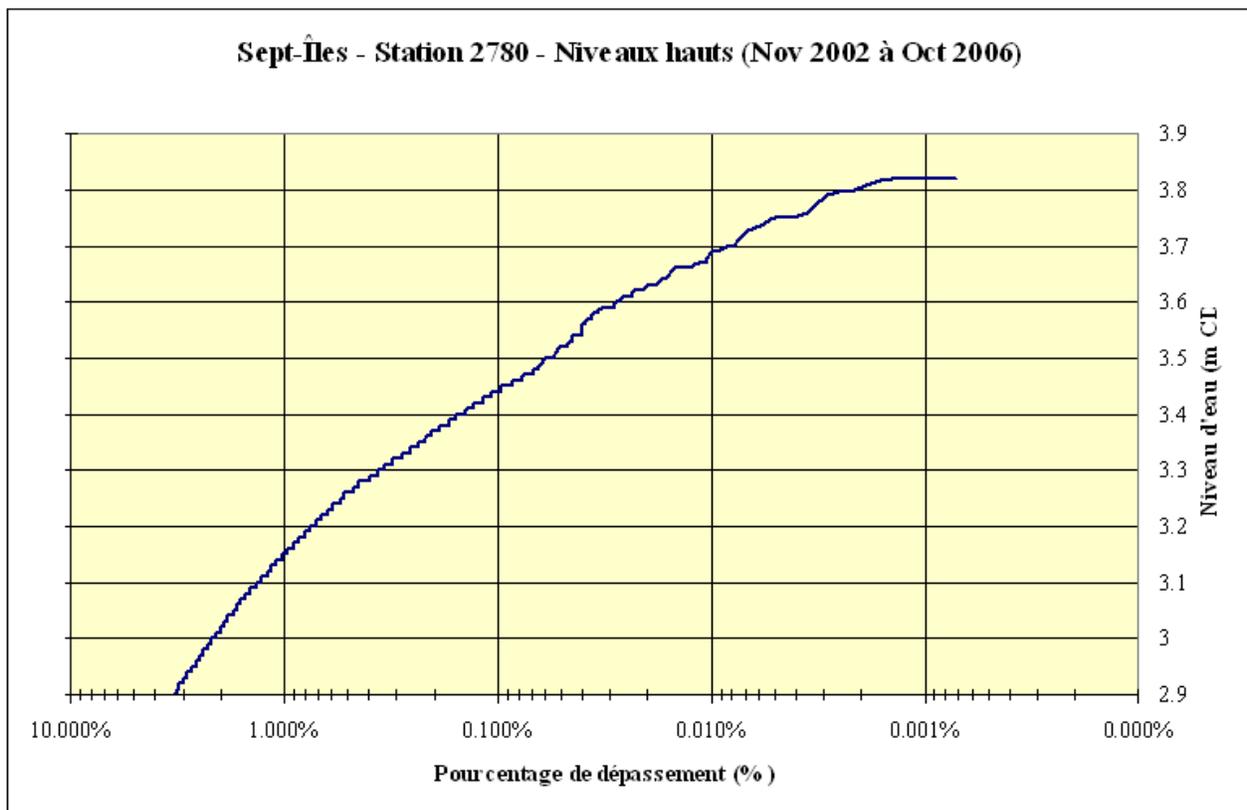


Figure 4.1 Niveaux d'eau extrêmes hauts à Sept-Îles

Sur la figure 4.1, on constate que le plus haut niveau d'eau enregistré à Sept-Îles sur quatre ans a été (en 2004) de +3,82 m par rapport au zéro des cartes marines (ZC).

Le niveau de +3,8 m a été égalé ou dépassé trois fois pendant les 4 années évaluées (2002 à 2006), les enregistrements étant disponibles aux quarts d'heure.

Le niveau de +3,7 m a été égalé ou dépassé 12 fois pendant les quatre années évaluées (2002 à 2006).

Le niveau de +3,6 m a été égalé ou dépassé 39 fois pendant les quatre années évaluées (2002 à 2006).

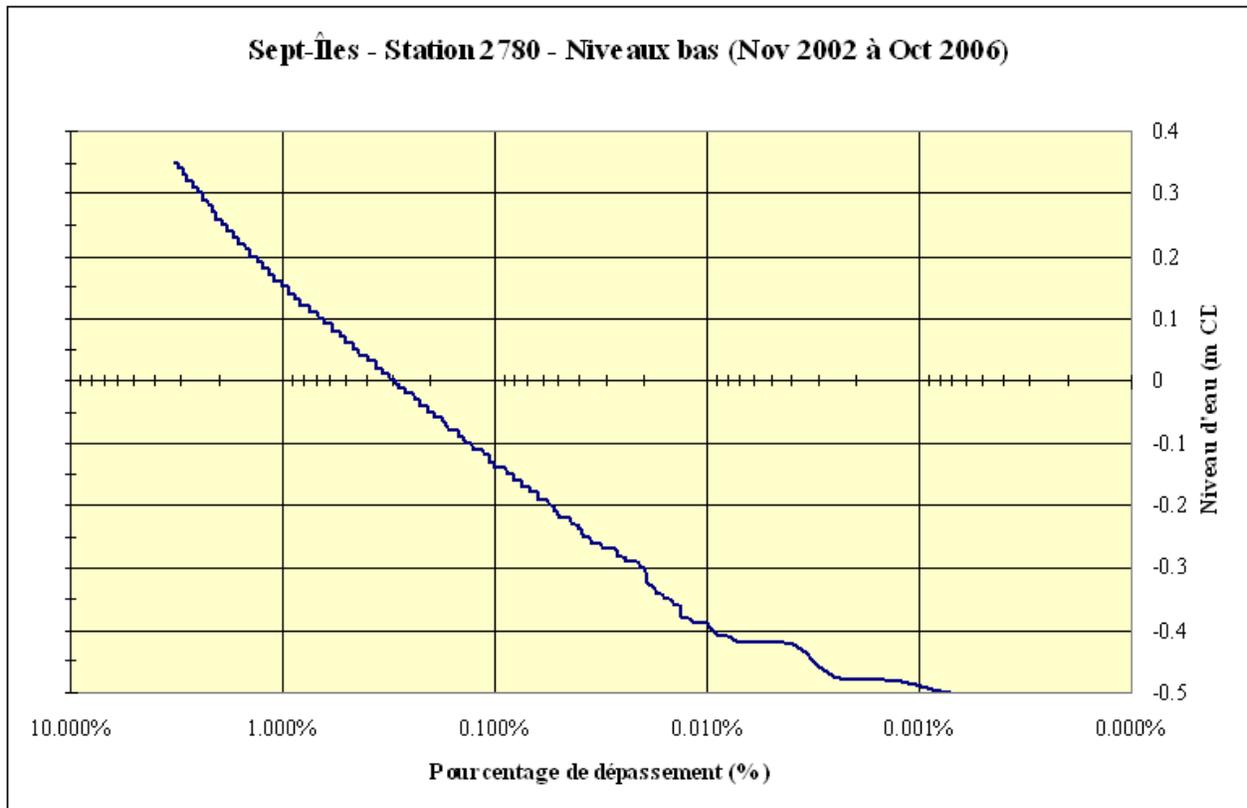


Figure 4.2 Niveaux d'eau extrêmes bas à Sept-Îles

Sur la figure 4.2, on constate que le plus bas niveau d'eau enregistré à Sept-Îles sur quatre ans a été (en 2005) de -0,50 m par rapport au zéro des cartes marines (ZC).

4.2 Niveaux d'eau à Sept-Îles d'après la table des marées

La table des marées, courants et niveaux d'eau publiée par le Service hydrographique du Canada (SHC) sur Internet (<http://www.lau.chs-shc.gc.ca/cgi-bin/tide-shc.cgi?queryType=showFrameset&zone=3&language=french®ion=4&stnum=2780>) donne pour Sept-Îles les paramètres de marée suivants :

Tableau 4.1 Niveaux d'eau à Sept-Îles (par rapport au zéro des cartes marines)

| Port | Extrême de haute mer | Pleine mer supérieure | | Niveau moyen | Basse mer inférieure | | Extrême de basse mer |
|---------------|----------------------|-----------------------|---------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|
| | | Grande marée | Marée moyenne | | Marée moyenne | Grande marée | |
| Sept-Îles (m) | 4,0 | +3,4 | +2,7 | +1,5 | +0,4 | -0,2 | -0,6 |

Pour une conception en fonction d'événements exceptionnels, il serait recommandé de retenir l'élévation du niveau d'eau correspondant à l'extrême de haute mer selon les tables des marées du SHC, soit **+4,0 m** en élévation marégraphique.

N'ayant pas en main l'analyse de fréquence conjuguée des très hauts niveaux d'eau et des fortes vagues, on ne peut que recommander d'effectuer l'analyse des tempêtes en fonction de niveaux d'eau de l'ordre de +3,6 ou +3,7 m ZC (zéro des cartes).

Il serait également judicieux de prévoir l'étude du potentiel d'inondation des milieux situés entre +4,0 m et +6,0 m ZC (zéro des cartes) lorsque les niveaux d'eau hauts coïncident avec des tempêtes.

5 Évaluation des sédiments

Les sédiments de la zone côtière de la zone à l'étude ont fait l'objet d'une campagne de prélèvements (E.N.J. 2006) et d'une analyse granulométrique (Bernatchez 2006).

5.1 Prélèvement d'échantillons

La compagnie Entreprises Normand Juneau Inc. (E.N.J.) a effectué le prélèvement d'une centaine d'échantillons de sédiments devant les plages situées entre la pointe aux Basques et la plage Lévesque. Cette campagne d'échantillonnage s'est effectuée en parallèle avec les relevés bathymétriques de la zone intermédiaire entre la plage et les grandes profondeurs dont la compagnie E.N.J. était en charge. La figure suivante illustre la position des prélèvements avec leur numéro.

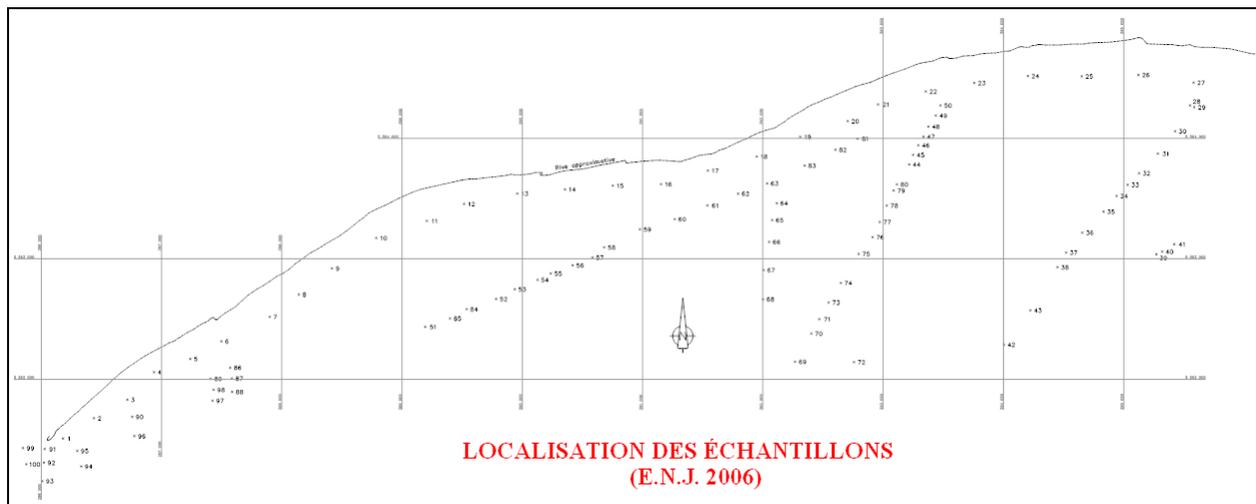


Figure 5.1 Localisation des échantillons prélevés en 2006

5.2 Analyse granulométrique

Pascal Bernatchez et Roch Guévremont de l'UQAR ont réalisé l'analyse granulométriques des échantillons de sédiments prélevés par E.N.J.

Une partie des résultats de ces analyses granulométriques a été reproduite sur les figures suivantes pour illustrer les diamètres médians D_{50} des sédiments prélevés.

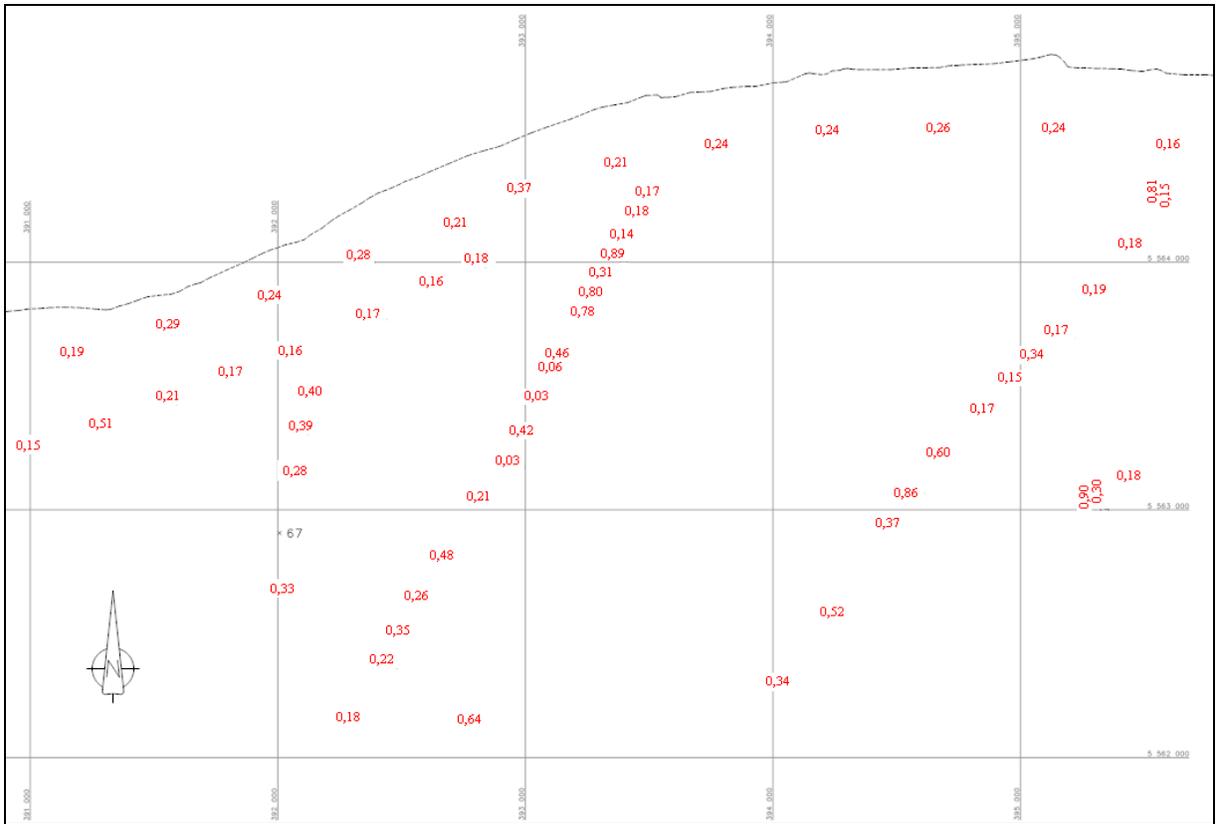


Figure 5.2 Cartographie des diamètres médians D_{50} des sédiments prélevés – secteur est

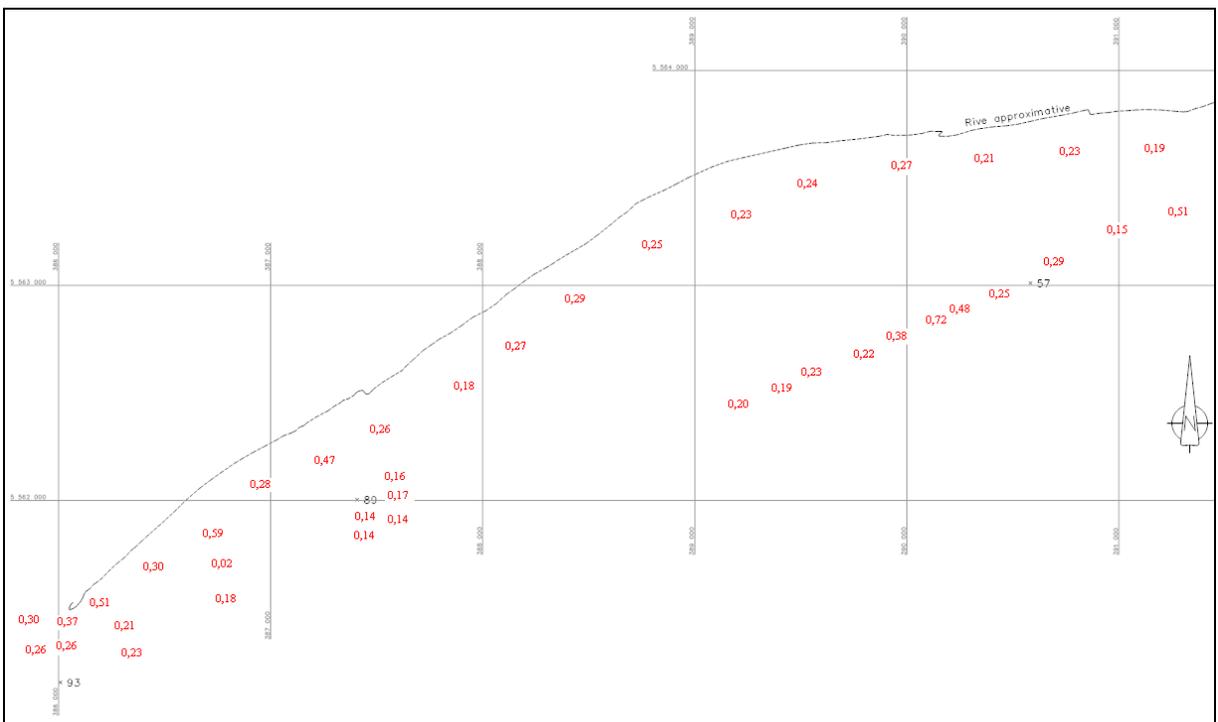


Figure 5.3 Cartographie des diamètres médians D_{50} des sédiments prélevés – secteur ouest

Sur les cent (100) échantillons prélevés, 98 ont fait l'objet d'une analyse granulométrique.

On peut constater la relative uniformité des diamètres médians dans la zone de circulation intense des sédiments le long du rivage. Si l'on exclue les 5 premiers échantillons les plus à l'ouest (près de la pointe aux Basques, tous les D_{50} des sédiments prélevés le long de la plage se situent entre 0,16 et 0,37 mm avec une moyenne de 0,24 mm.

Plus au large, on retrouve une diversité beaucoup plus grande de ces D_{50} . Certains échantillons prélevés sont du silt (D_{50} min = 0,02 mm pour l'échantillon N° 90) alors que d'autres échantillons sont du sable grossier D_{50} max = 0,9 mm pour l'échantillon N° 39).

L'analyse granulométrique fait ressortir les caractéristiques suivantes :

- La granulométrie de 57 échantillons est qualifiée de uni-modale
- La granulométrie de 36 échantillons est qualifiée de bi-modale
- La granulométrie des 6 échantillons restants est qualifiée de tri-modale ou poly-modale

Seuls cinq (5) échantillons sont qualifiés de silt grossier alors que tous les autres sont du sable allant de fin à grossier.

6 Étude des vagues

La réfraction des vagues est le phénomène qui modifie la direction de propagation et la hauteur des vagues lorsqu'elles approchent de la côte et que la profondeur décroît. Avant d'étudier la réfraction des vagues, il est requis de connaître les vagues au large.

6.1 Vagues au large

Les données de la station de vent de Sept-Îles du modèle GEM ($50.12^{\circ}\text{N} - 66.22^{\circ}\text{W}$ – figure 6.1) ont été utilisées par le professeur Yvon Ouellet de l'université Laval à Québec pour produire la rose des vents de la figure 6.2 pendant les années 2003 à 2005 (inclusivement).



Figure 6.1 Localisation : station de vent GEM et point de génération des vagues au large

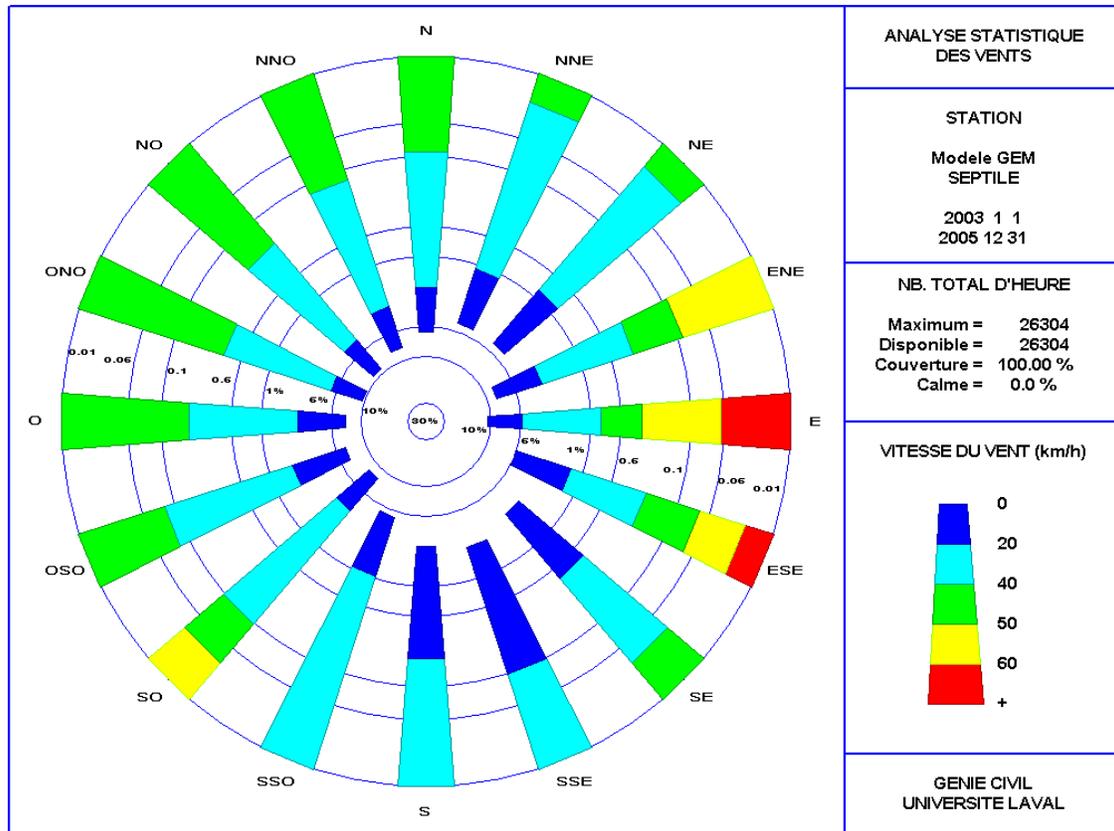


Figure 6.2 Rose des vents à Sept-Îles – 2003 à 2005

La représentation de la figure 6.2 est faite selon les seize directions principales selon une échelle logarithmique par tranches de vitesse de vent de façon à mettre en évidence les forts vents par secteur.

La génération des vagues faite à partir des vents du modèle GEM à Sept-Îles (sans facteur multiplicatif) par le modèle GENER de l'université Laval et des fetchs calculés au large de Sept-Îles donne les résultats apparaissant sur la figure 6.3 selon le même principe de représentation que celui de la figure précédente.

Cette figure 6.3 met en évidence la prépondérance des vagues du secteur est mais indique également des vagues non négligeables du secteur sud-ouest.

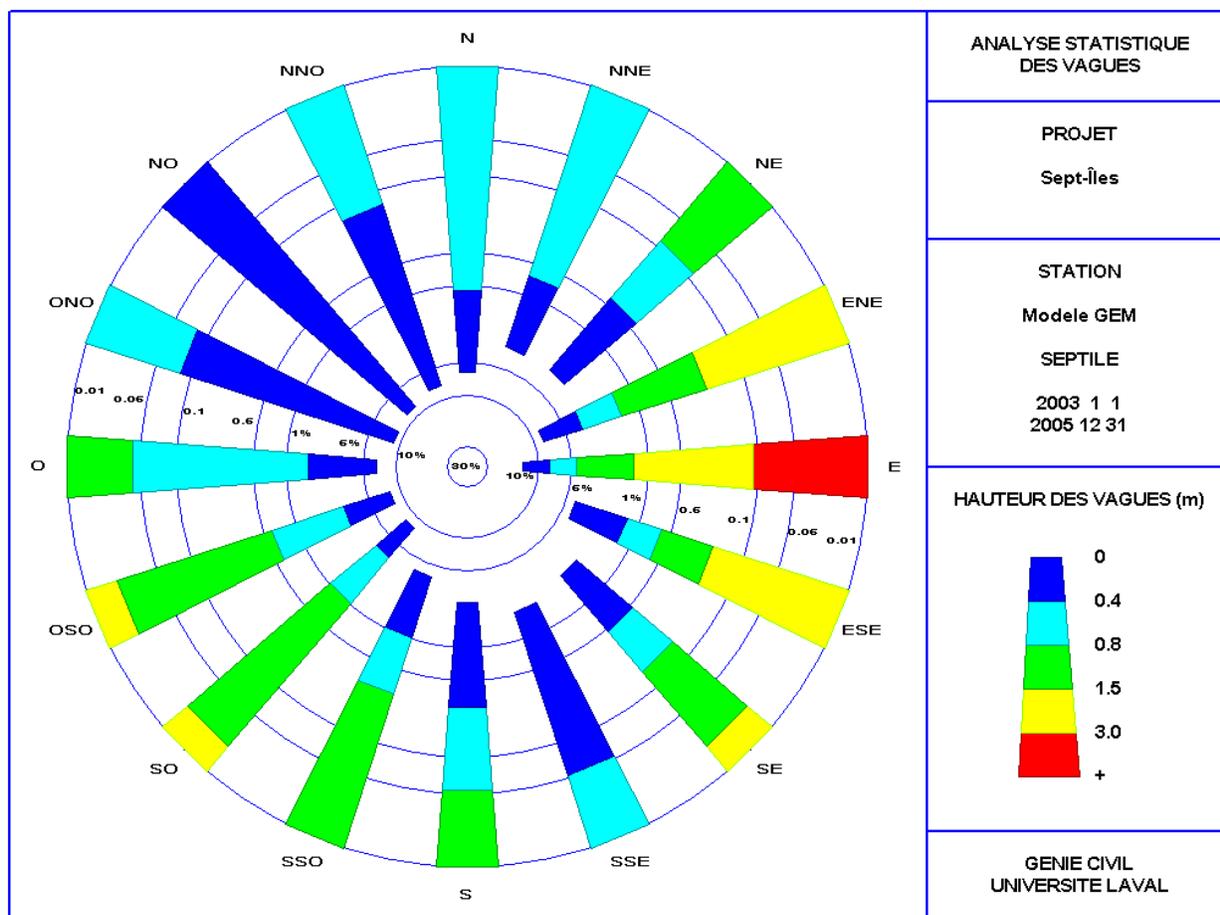


Figure 6.3 Rose des vagues au large de Sept-Îles selon les vents de GEM – 2003 à 2005

Une analyse similaire (mais présentée dans un autre format - figure 6.4) réalisée à partir des données du modèle de vagues d'Environnement Canada utilisant les données de vent du modèle GEM (2003-2005) indique la prépondérance des vagues des secteurs est-sud-est (115°) et sud-ouest (210°).

La figure 6.5 montre l'importance que prennent les vagues du secteur est-sud-est (105°) par rapport au secteur sud-ouest (205°) lorsque l'on ne considère que les vagues d'une hauteur significative supérieure à 2 mètres.

La figure 6.6 démontre le fait que les vagues de tempêtes ($H_s > 3$ m) proviennent presque exclusivement du secteur est-sud-est (105°). On compte 68 tempêtes du secteur « est » par rapport à 6 tempêtes du secteur « ouest » pendant cette période de 2003 à 2005.

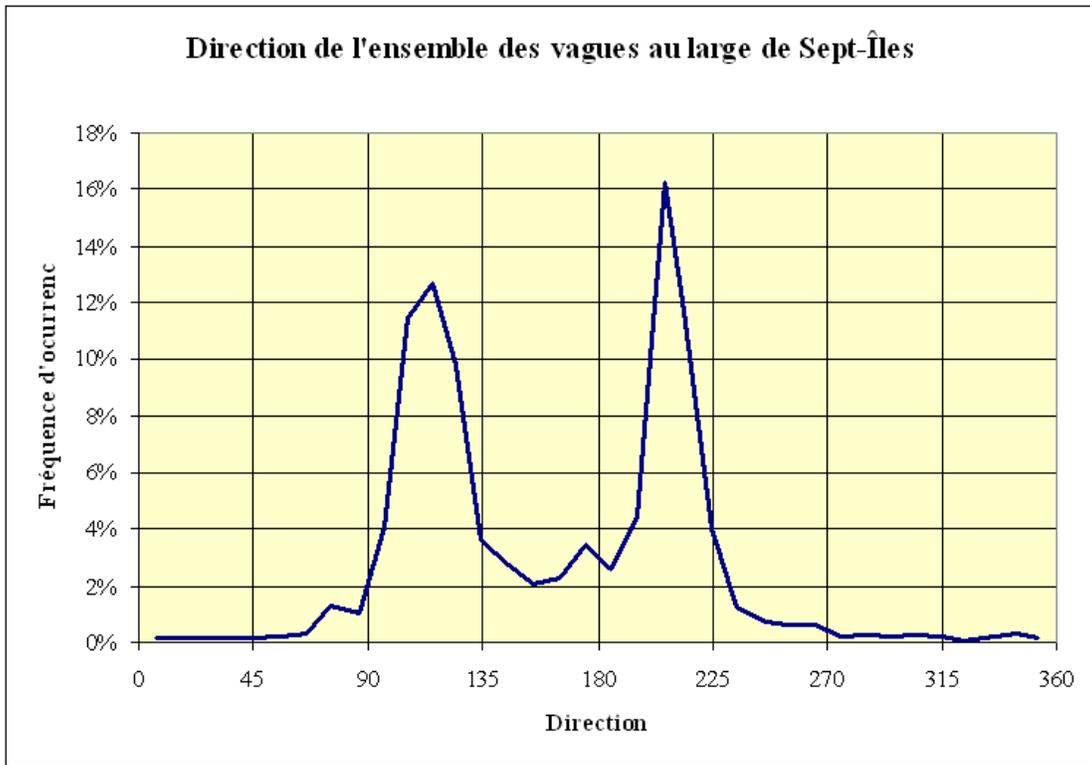


Figure 6.4 Fréquence d'occurrence de toutes les vagues au large de Sept-Îles

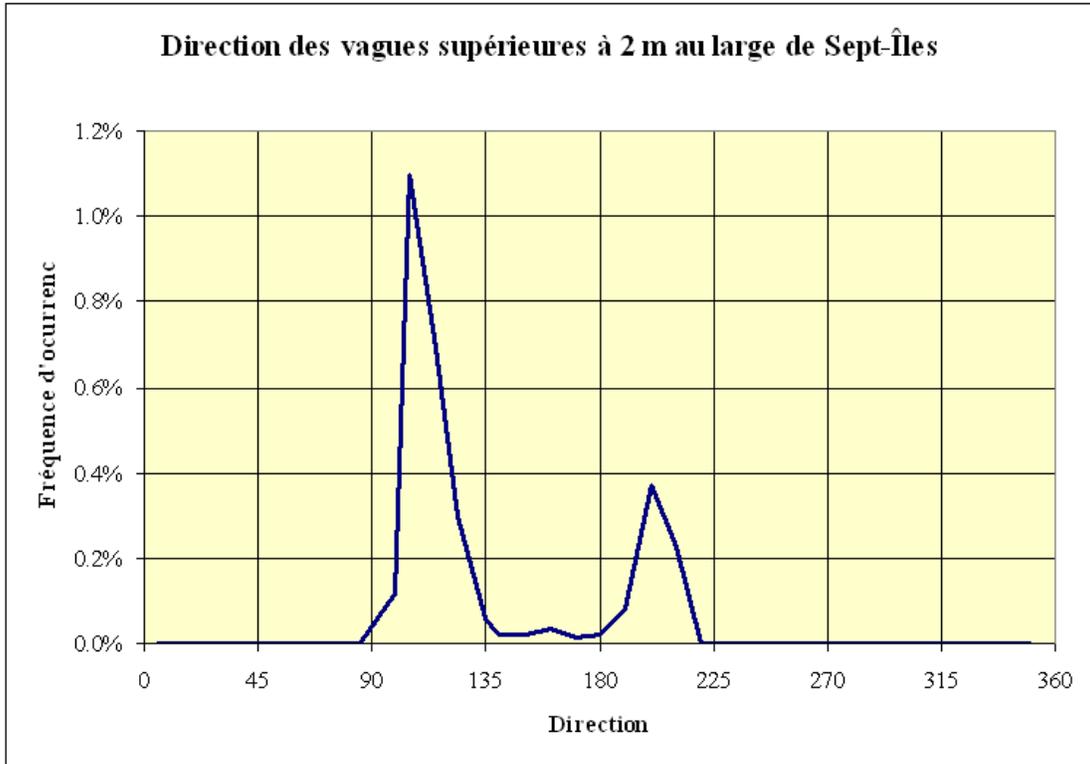


Figure 6.5 Fréquence d'occurrence des vagues supérieures à 2 m au large de Sept-Îles

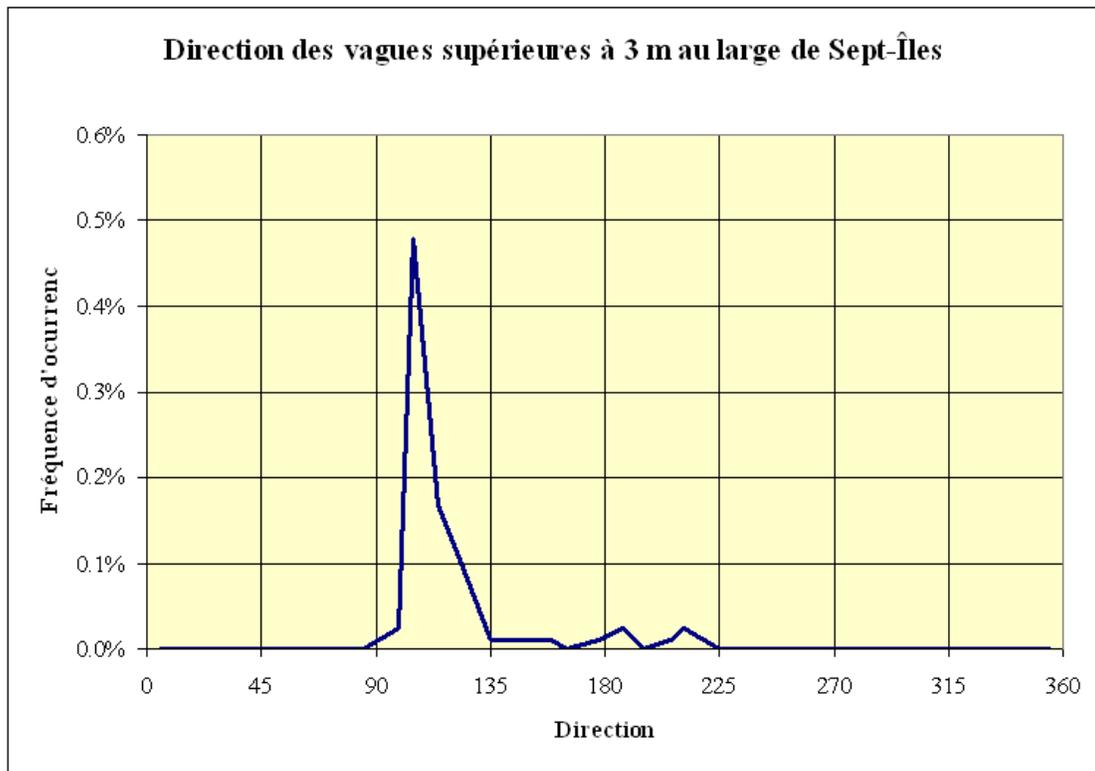


Figure 6.6 Fréquence d'occurrence des vagues supérieures à 3 m au large de Sept-Îles

À partir du climat de vagues prédit au large de Sept-Îles en fonction des vitesses des vents du modèle GEM (sans facteur multiplicatif), une analyse de fréquence de dépassement des hauteurs significatives de vagues a été faite. La figure 6.6 illustre cette analyse pour les deux modèles GEM (« à froid », soit avec des conditions initiales nulles, et « à chaud », soit avec des conditions initiales plus proches de la réalité physique).

On remarque sur cette figure que les vagues au large de Sept-Îles devraient pouvoir atteindre des hauteurs significatives supérieures à 6 m pour des périodes de retour d'événements de 10 ans et plus.

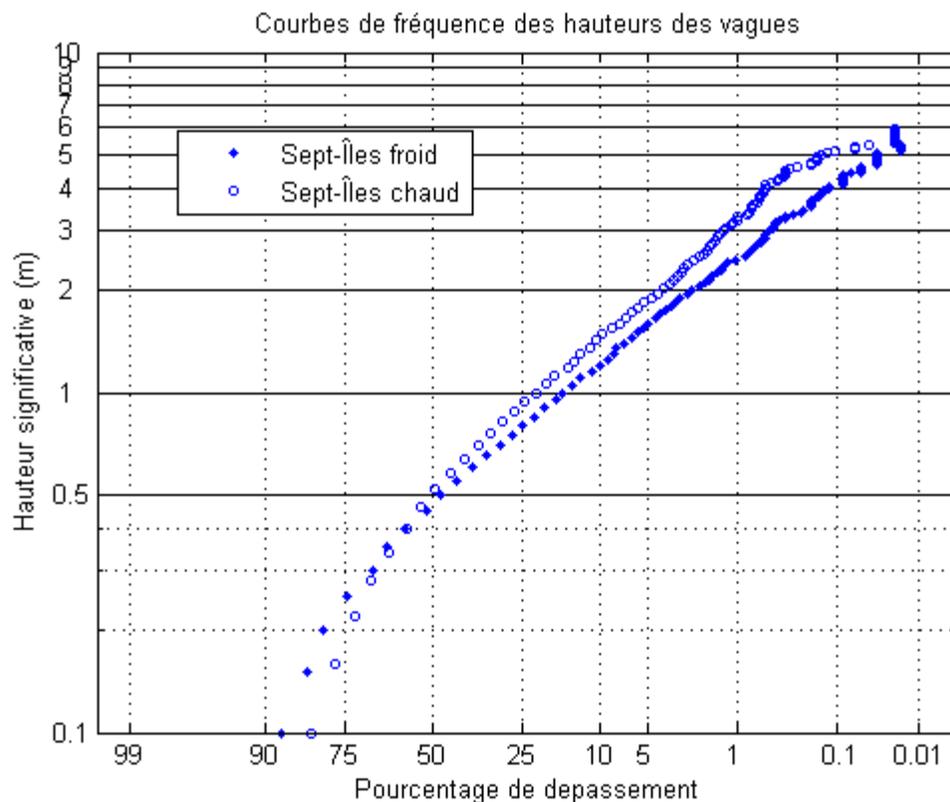


Figure 6.6 Fréquence de dépassement des hauteurs de vague au large de Sept-Îles selon le modèle de vagues de GEM pendant l'année complète

6.2 Vagues de tempête

La décision a été prise de procéder à l'analyse de la réfraction des vagues des principales tempêtes de 2005 pour lesquelles Ouranos avait étudié l'évolution en détail.

Ouranos a fourni l'analyse de cinq (5) cas de tempêtes, soit celles des 30 septembre 2005, 16 octobre 2005, 23 novembre 2005, 25 novembre 2005 et 2 décembre 2005. La tempête du 23 novembre n'a pas été retenue parce que c'était la plus faible des cinq tempêtes évaluées et que ses caractéristiques étaient similaires à celles de la tempête du 2 décembre.

Ces tempêtes ne sont pas vraiment des tempêtes exceptionnelles, ni par la hauteur de vagues atteinte au large (Hs max de 5,2 m alors qu'on s'attend à retrouver des Hs de 6 m pour des périodes de retour de plus de 10 ans), ni par les niveaux d'eau atteints au plus fort de la tempête (niveau max de +3,0 m ZC alors qu'on pourrait normalement s'attendre à atteindre +3,6 m ZC).

L'interprétation "linéaire" des données de Ouranos donne les informations suivantes (voir graphiques en annexe 1) :

Tempête du 30 septembre 2005 : Cette tempête présente une progression très régulière au niveau de la hauteur et de la période des vagues. Par contre, la direction semble hésiter plusieurs fois entre 200 et 135 degrés avant de s'établir autour de 200 degrés pendant le fort de la tempête. Le plus fort de la tempête s'est produit lors de la marée haute de mi-journée le 30 septembre avec un niveau de presque +2 m CD.

Tempête du 16 octobre 2005 : on a affaire à une tempête "claire". Sa progression est régulière des paramètres dans le temps, la direction est quasi-constante autour de 100 degrés pendant le fort de la tempête. Le paroxysme de la tempête a pratiquement correspondu à la marée basse du 16 octobre en soirée.

Tempête du 25 novembre 2005 : Tempête de type bi-modal avec un premier pic avec une direction ESE, puis le plus fort de la tempête avec une direction du SSO (sans doute associé à un passage de front froid). Les deux pics de tempête ont correspondu à des marées hautes très moyennes (+2,4 et +2,0 m).

Tempête du 2 décembre 2005 : cette tempête semble une tempête "éclair". Elle ne commence vraiment que le 2 décembre vers 9h00 et s'achève le 3 décembre vers 06h00. La direction est aussi de l'ordre de 100 degrés pendant cette tempête. Le niveau d'eau a été très haut 12 heures avant le paroxysme de la tempête qui lui a plutôt correspondu à un niveau d'eau haut moyen. Il y avait quand même déjà 3,5 m de vague lors de la marée haute de la mi-journée le 2 décembre.

Les paramètres sélectionnés pour une représentation de la réfraction au fort des différentes « tempêtes » ou « conditions de vagues » considérées sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 6.1 Paramètres retenus pour décrire le plus fort des tempêtes de 2005

| Cas | Date | Hs max (m) | Tp (secondes) | Direction (degrés) | Élévation Eau (m) |
|-----|----------------|------------|---------------|--------------------|-------------------|
| 1 | 16 / 10 / 2005 | 4,1 | 9,4 | 110 | +3,0 |
| 1a | | 4,1 | 9,4 | 110 | +3,7 |
| 1b | | 2,0 | 6 | 110 | +3,0 |
| 2 | 25 / 11 / 2005 | 4,6 | 8,2 | 211 | +2,0 |
| 3 | 2 / 12 / 2005 | 5,2 | 9,4 | 103 | +2,5 |
| 4 | 30 / 09 / 2005 | 4,0 | 8,2 | 194 | +2,0 |
| 4a | | 2,0 | 6 | 194 | +2,0 |

Ces quatre tempêtes « réelles » et les trois tempêtes « hypothétiques » supplémentaires représentent assez bien les fortes tempêtes et les tempêtes moyennes qui pourraient potentiellement affecter la sédimentologie côtière du rivage au sud de la ville de Sept-Îles.

Trois de ces tempêtes sont des tempêtes « d'ouest » (30 septembre et 25 novembre) alors que les quatre autres sont des tempêtes « d'est » (16 octobre et 2 décembre).

7 Étude de la réfraction des vagues

7.1 Modélisation de la bathymétrie

Les informations recueillies pendant les campagnes de relevés de 2006 par les firmes GPR-Lasermap, E.N.J. et CIDCO ont été rassemblées par le Groupe-conseil LaSalle et complétées par les données numériques du Service hydrographique du Canada pour générer une représentation complète de la bathymétrie de la zone à étudier (figure suivante).

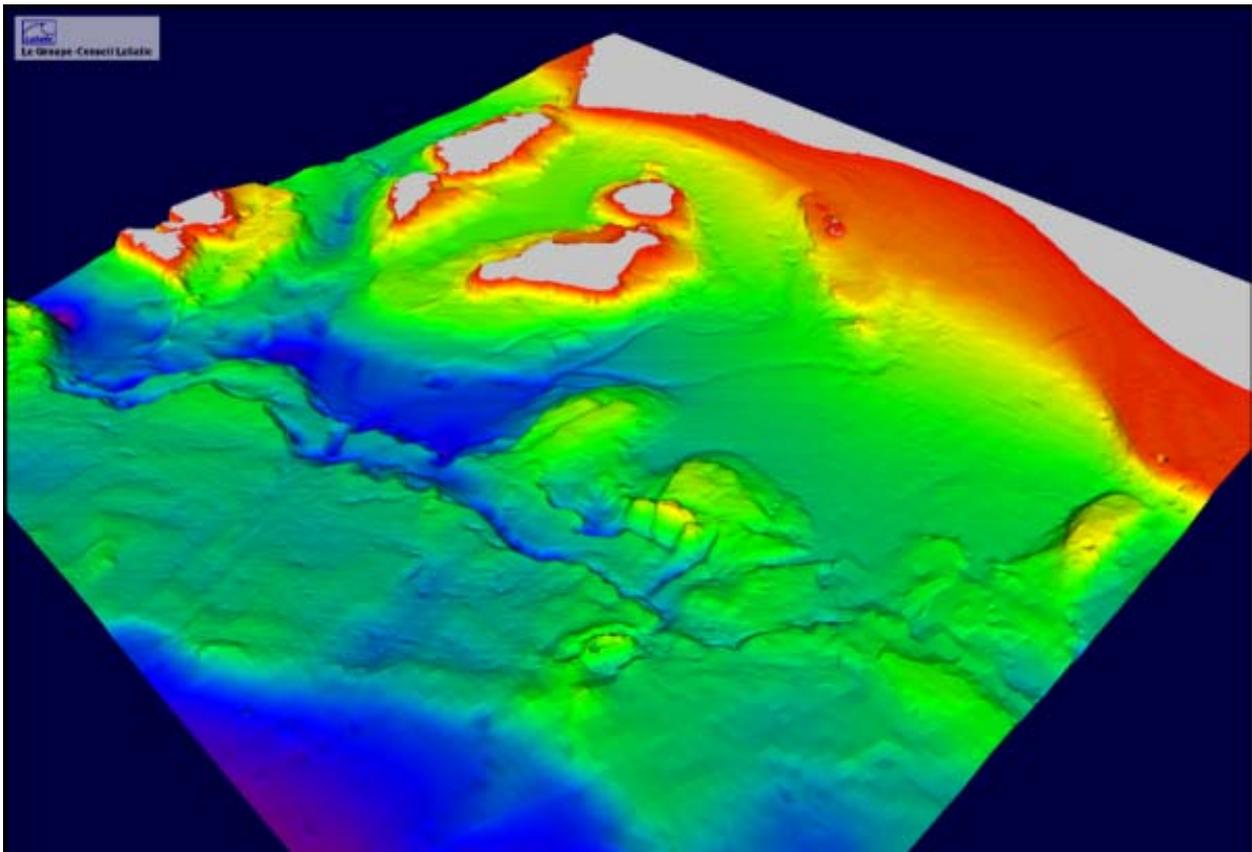


Figure 7.1 Représentation 3D de la bathymétrie devant les plages de Sept-Îles

7.2 Calcul de la réfraction

Les vagues générées au large se propagent vers le rivage de Sept-Îles en subissant des transformations (changements de direction et de hauteur). Le logiciel MIKE 21 a été mis à contribution pour calculer ces changements.

Les quatre cas de vagues sélectionnés ont été utilisés pour représenter les différentes conditions représentatives des phénomènes de réfraction devant les plages de Sept-Îles.

7.3 Vagues réfractées – Tempêtes d’est

Les résultats de la réfraction des vagues ont été évalués pour les deux tempêtes « d’est », soit les 16 octobre (cas 1) et 2 décembre 2005 (cas 3). Les figures suivantes présentent les résultats des hauteurs significatives réfractées (figures 7.2 et 7.3) et des courants résiduels (figures 7.4 et 7.5) pour les tempêtes de l’est.

On remarque sur les figures 7.2 et 7.3 que la tempête du 2 décembre, qui était plus forte au large que la tempête du 16 octobre, a donné des hauteurs significatives moindres près des plages. Par contre, les figures 7.4 et 7.5 montrent que cette tempête du 2 décembre a engendré des courants littoraux plus forts et sur une plus grande bande que la tempête du 16 octobre.

On remarque aussi sur les figures 7.4 et 7.5 que les courants littoraux sont systématiquement orientés de l’est vers l’ouest.

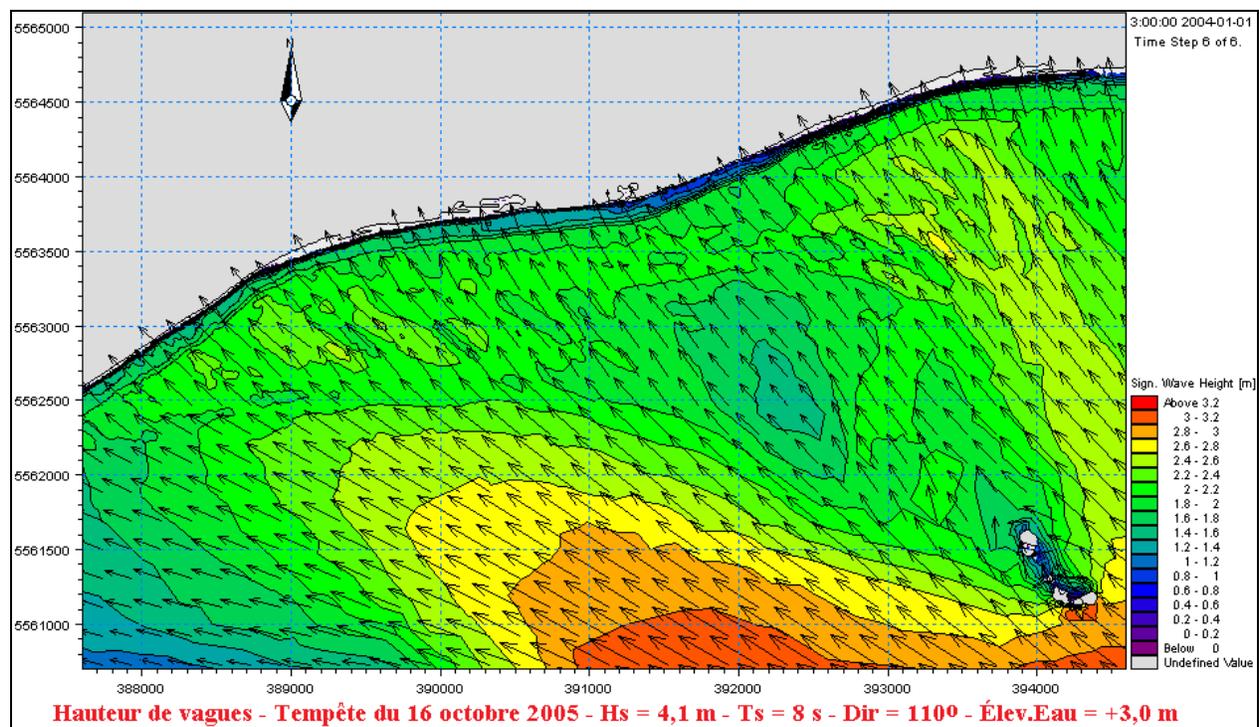


Figure 7.2 Hauteurs significatives des vagues après réfraction devant la plage – Cas 1

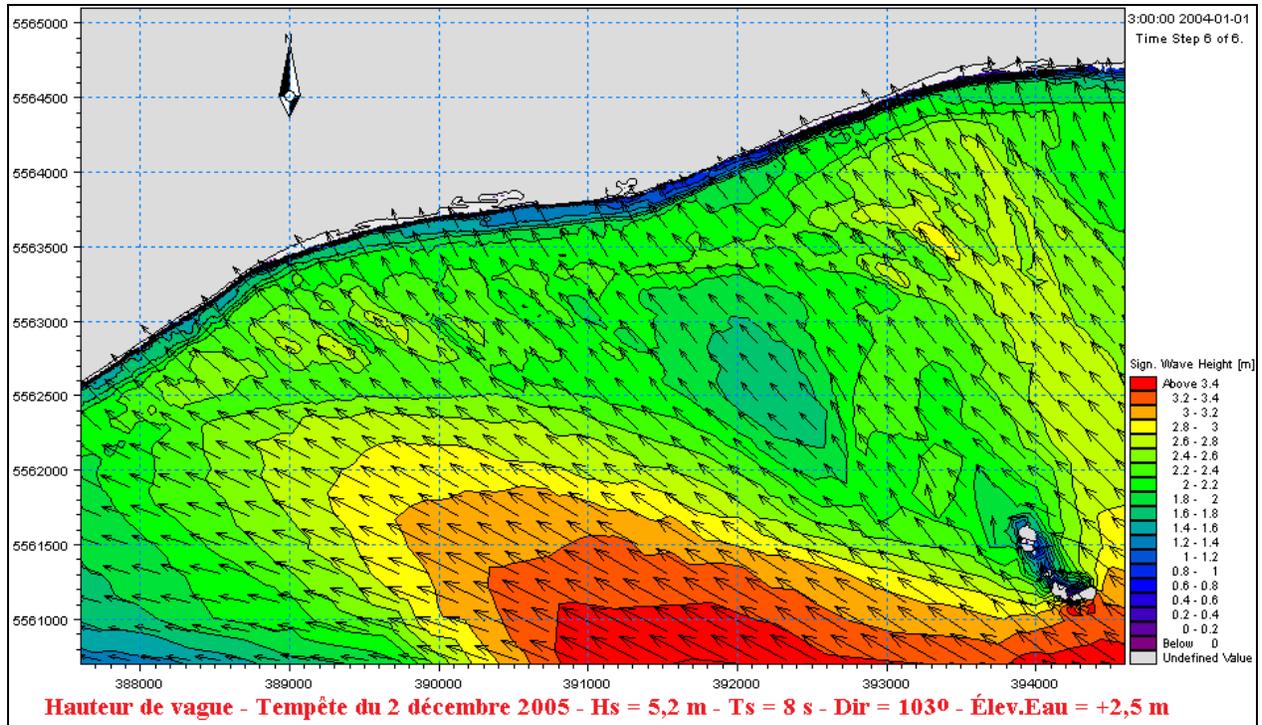


Figure 7.3 Hauteurs significatives des vagues après réfraction devant la plage – Cas 3

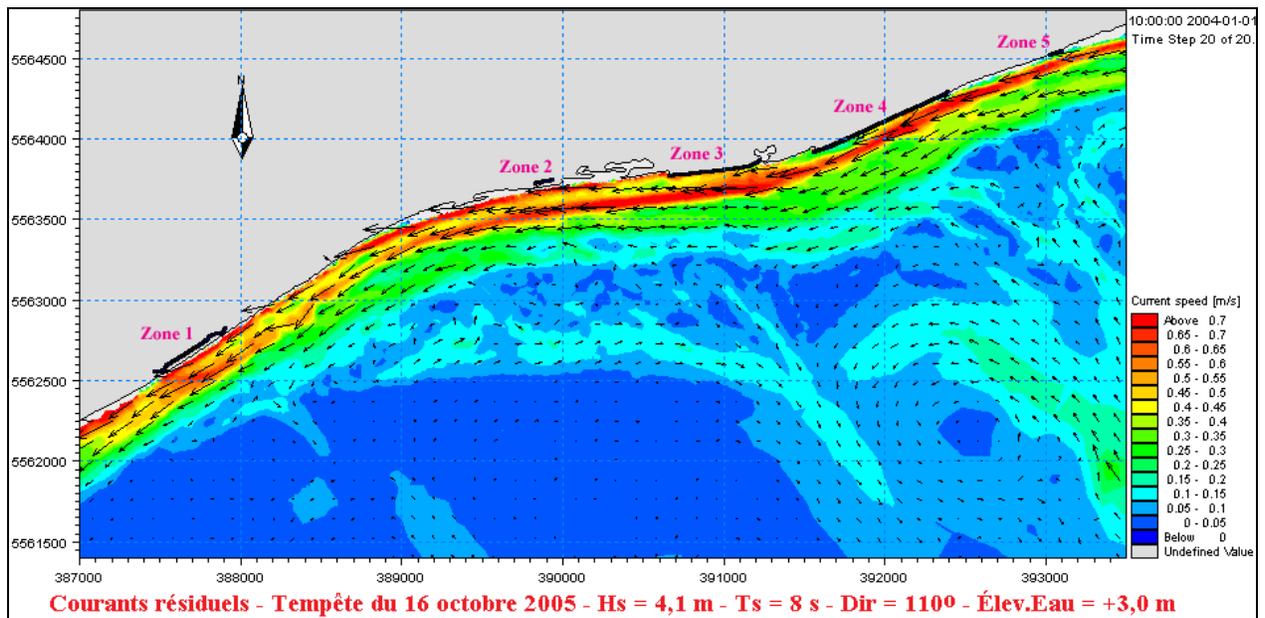


Figure 7.4 Courants induits par les vagues après réfraction devant la plage – Cas 1

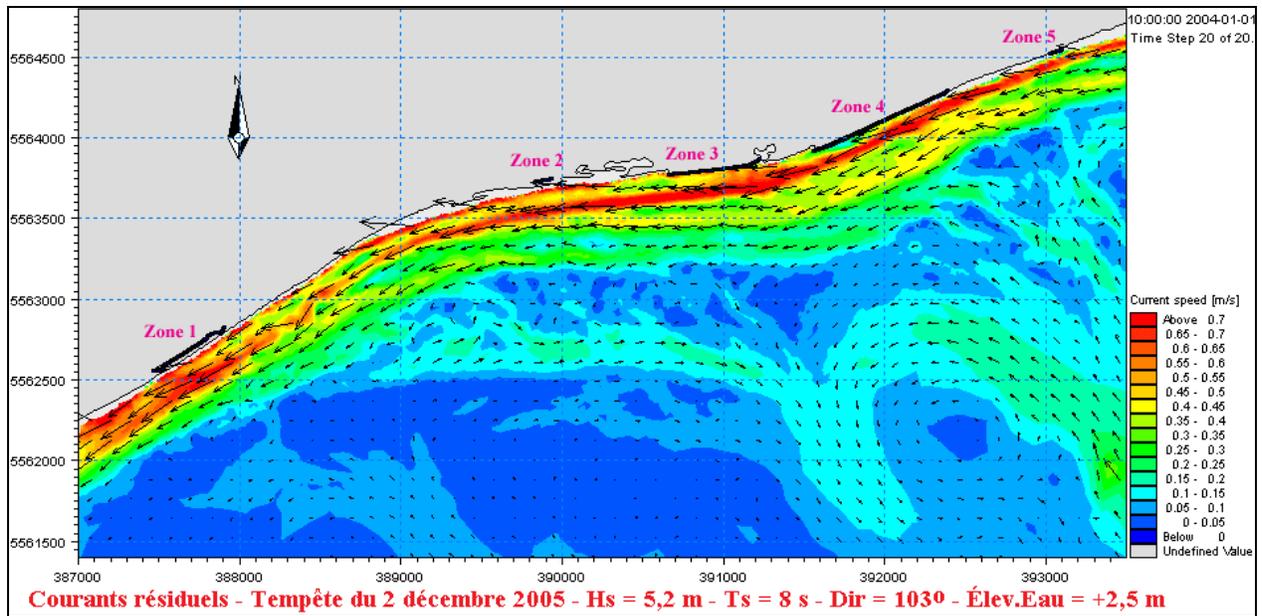


Figure 7.5 Courants induits par les vagues après réfraction devant la plage – Cas 3

Un autre cas catastrophique a été évalué, soit celui d'une tempête du 16 octobre 2005 au cours de laquelle le niveau extrême de +3,7 m ZC aurait été atteint en même temps que la plus grande hauteur de vague. En comparant les figures 7.4 et 7.6, on n'observe pas vraiment d'intensification des courants induits par les vagues sur le bord des plages Fergusson et Monaghan.

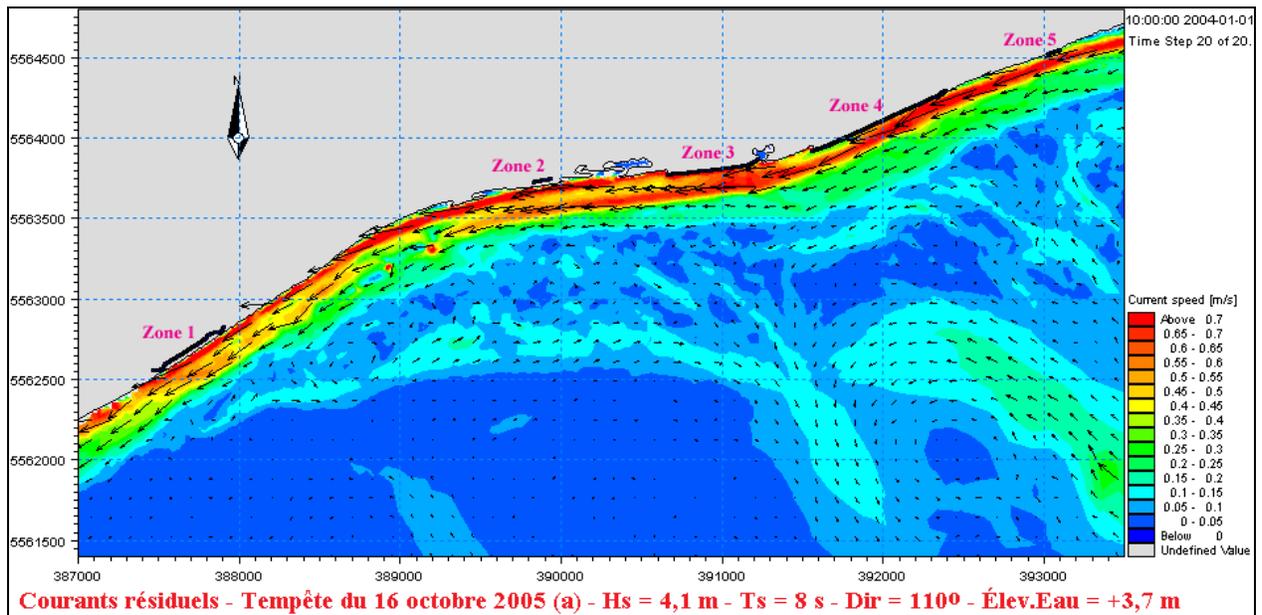


Figure 7.6 Courants induits par les vagues après réfraction devant la plage – Cas 1a

La figure précédente montre la « fuite » évidente des sédiments vers la partie nord-ouest des Cayes de l'est, de même que la « rivière » de sédiments qui coule le long du rivage.

Un dernier cas de vague d'est a été évalué, soit celui d'une vague de la même direction que celle du 16 octobre 2005 mais avec un Hs de 2,0 m (au lieu de 4,1 m). On remarque la circulation unimodale et encore relativement rapide des sédiments de l'est vers l'ouest le long de la plage mais des courants beaucoup plus faibles au large de la plage.

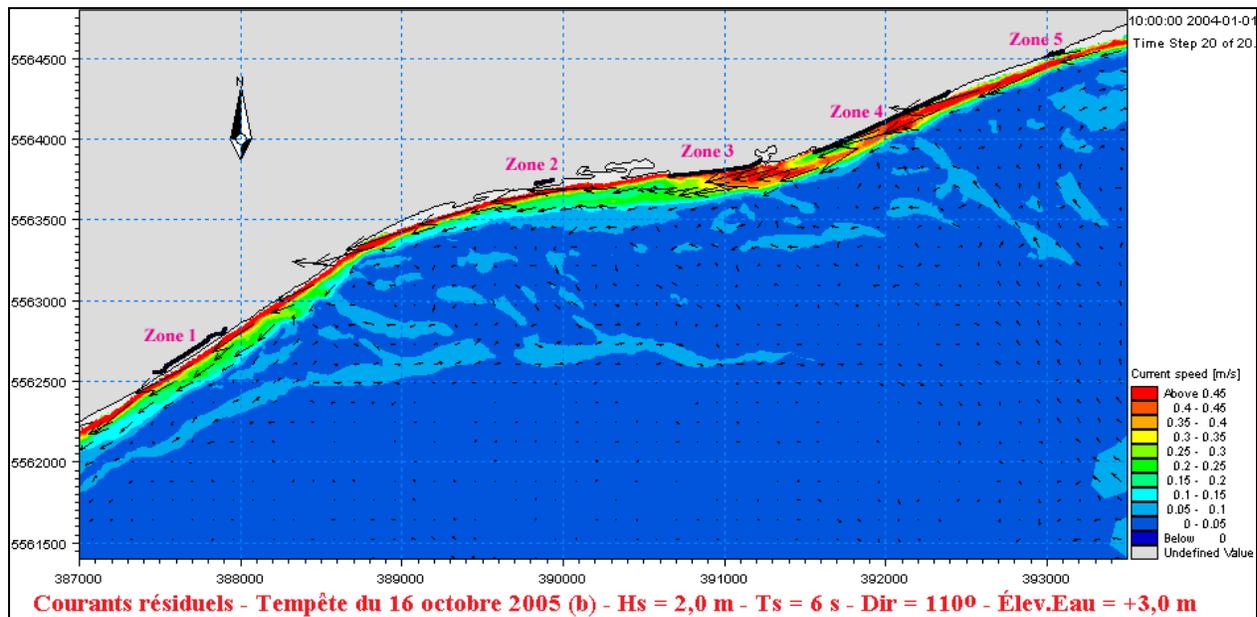


Figure 7.7 Courants induits par les vagues après réfraction devant la plage – Cas 1b

7.4 Vagues réfractées – Tempêtes d'ouest

Les résultats de la réfraction des vagues ont été évalués pour les deux tempêtes « d'ouest », soit les 25 novembre (cas 2) et 30 septembre 2005 (cas 4). Les figures suivantes présentent les résultats des hauteurs significatives réfractées (figures 7.6 et 7.7) et des courants résiduels (figures 7.8 et 7.9) pour les tempêtes de l'ouest.

On remarque sur les figures 7.6. et 7.7 que, pour des valeurs de Ts et de niveaux d'eau identiques dans les deux cas évalués, bien que le Hs du 25 novembre (4,6 m) soit plus fort que le Hs du 30 septembre (4,0 m), une différence de 7 degrés dans la direction des vagues fait en sorte que la tempête du 30 septembre (figure 7.7, Dir = 194°) provoque, près du rivage, des vagues sensiblement plus fortes que lors de la tempête du 25 novembre (figure 7.6, Dir = 211°).

Cette différence provoque le long des plages (et en particulier à l'ouest de la pointe Hall) des courants induits par les vagues sensiblement plus forts le 30 septembre (figure 7.9) que le 25 novembre (figure 7.8).

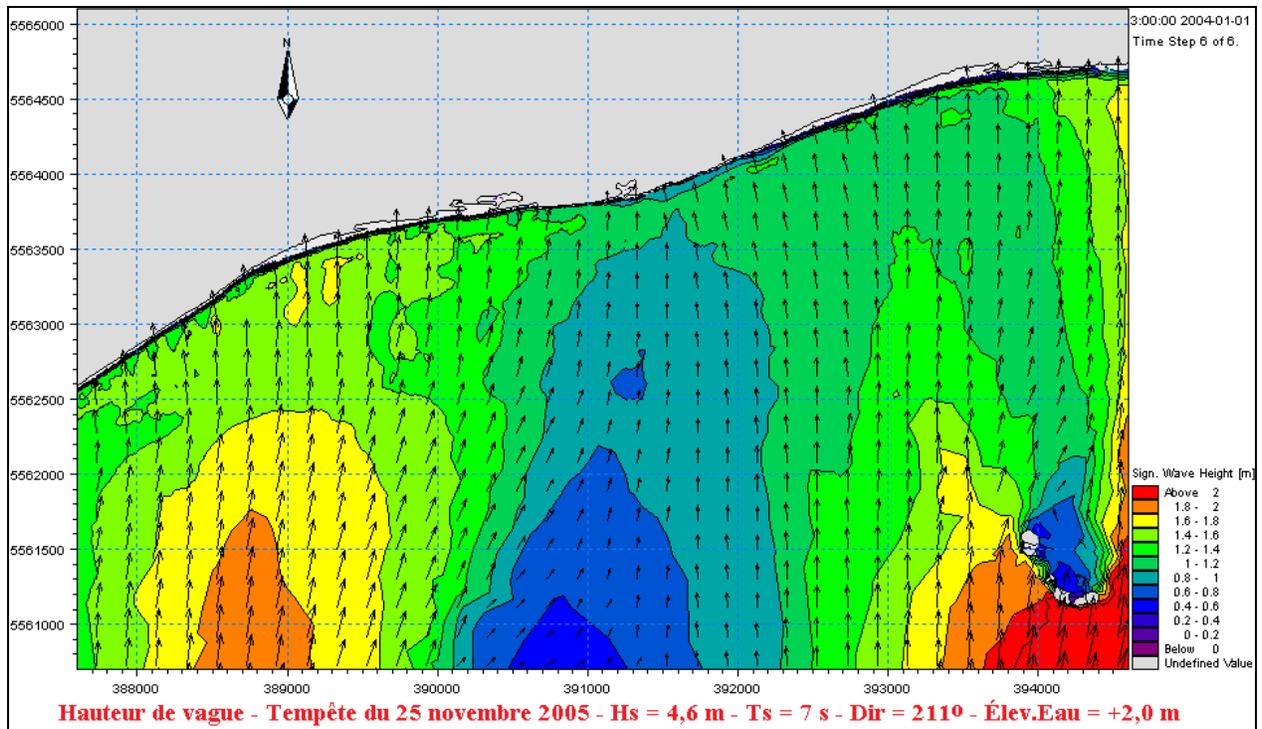


Figure 7.6 Hauteurs significatives des vagues après réfraction devant la plage – Cas 2

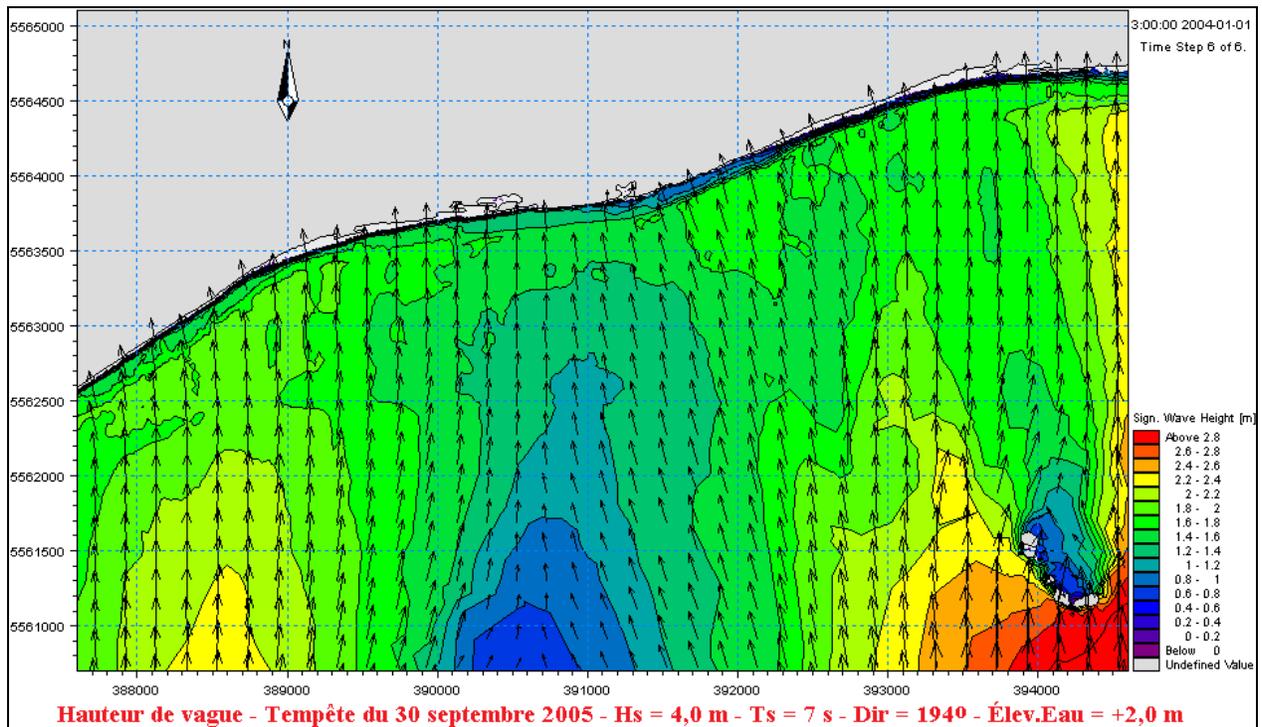


Figure 7.7 Hauteurs significatives des vagues après réfraction devant la plage – Cas 4

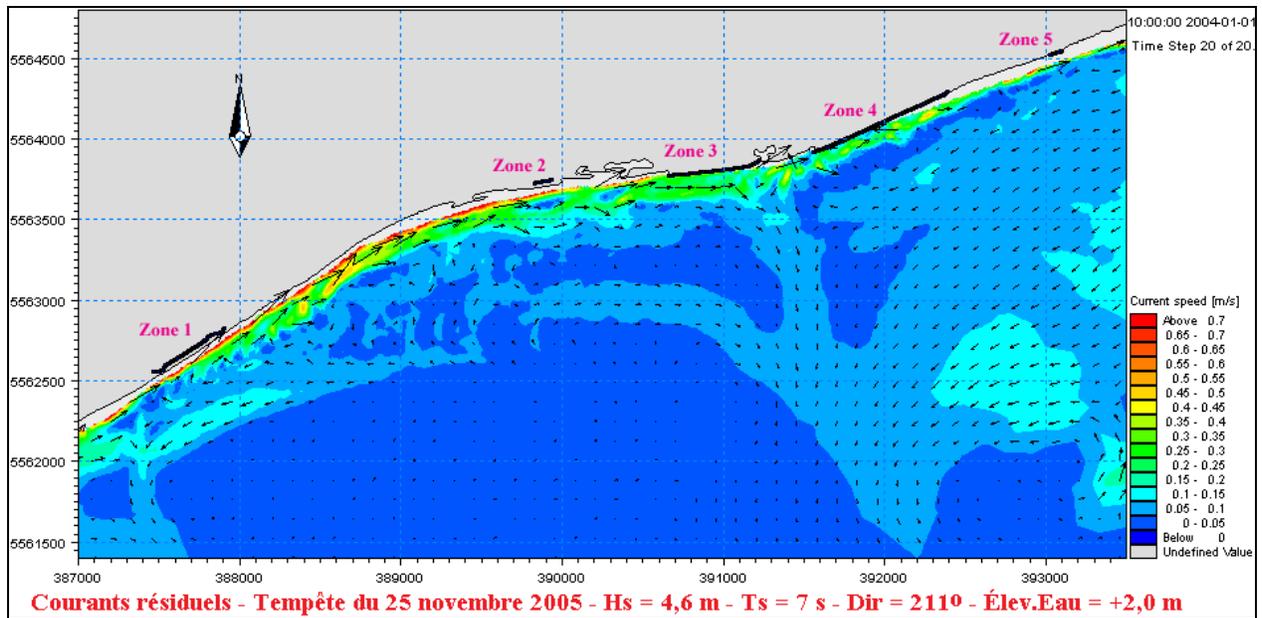


Figure 7.8 Courants induits par les vagues après réfraction devant la plage – Cas 2

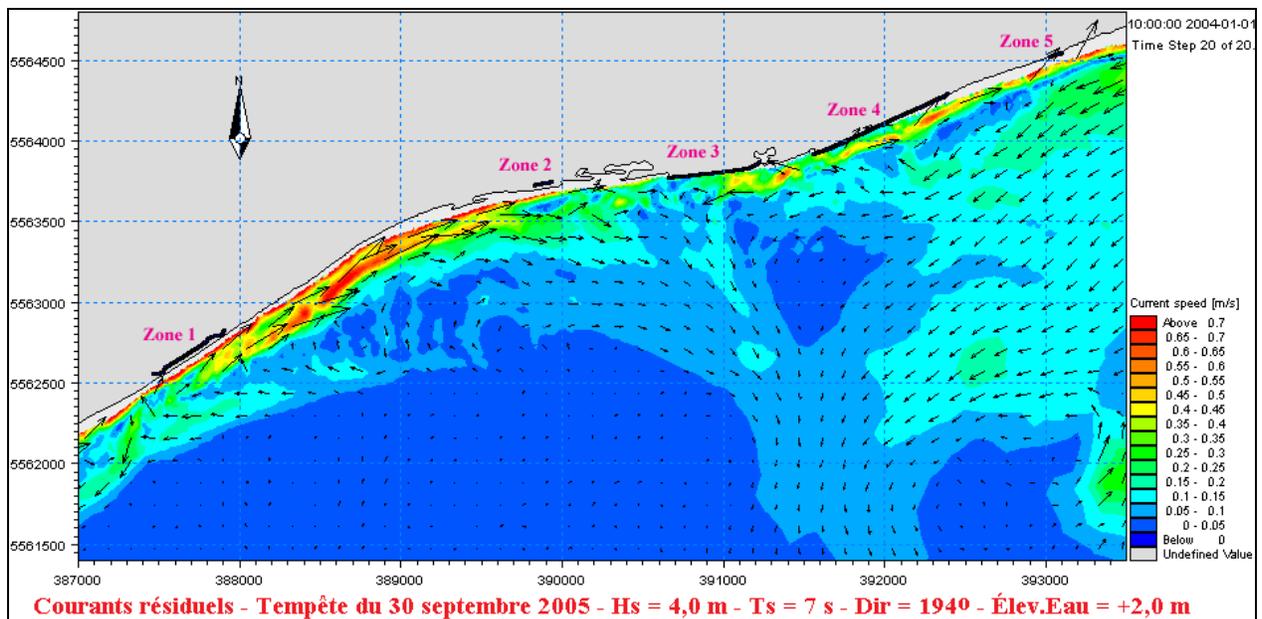


Figure 7.9 Courants induits par les vagues après réfraction devant la plage – Cas 4

Un dernier cas de vague d'ouest a été évalué. Les caractéristiques de la tempête du 30 septembre ont été conservées en ce qui concerne la direction des vagues et le niveau d'eau, mais la hauteur de vague a été réduite à 2,0 m (au lieu de 4,0 m).

On observe dans ce cas des vitesses plus faibles et un patron un peu plus irrégulier des directions des courants littoraux.

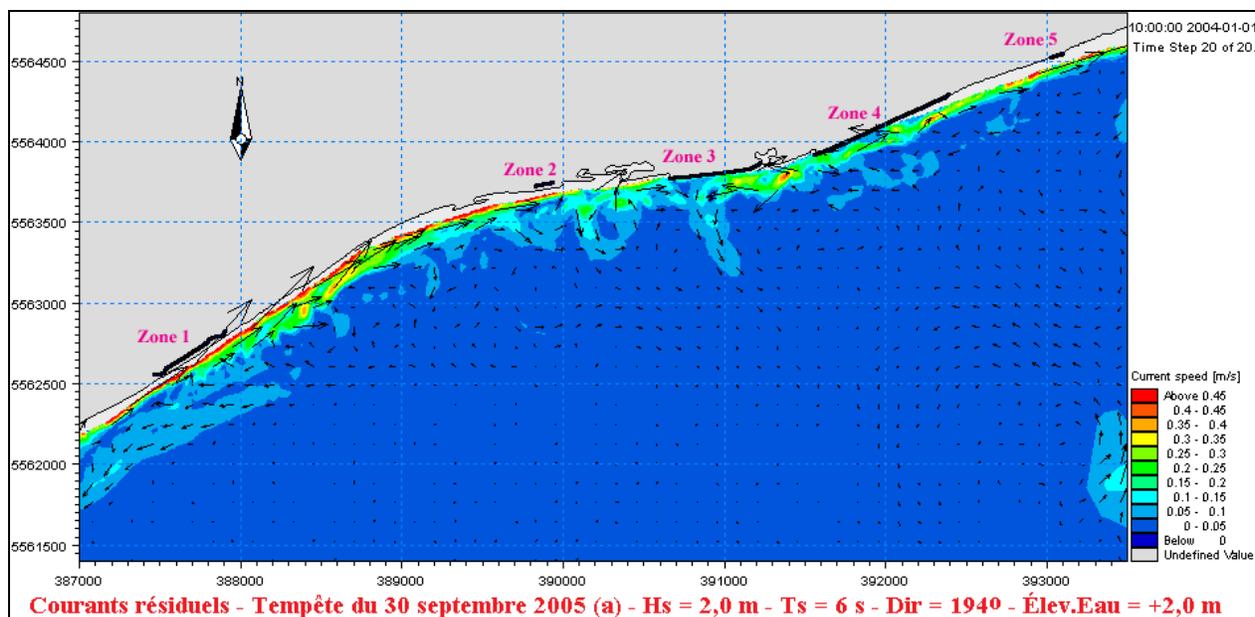


Figure 7.10 Courants induits par les vagues après réfraction devant la plage – Cas 4a

7.5 Secteur « est » de la baie de la Boule

Comparé au secteur des plages Fergusson et Monaghan, le secteur « est » de la baie de la Boule réagit de façon très différente aux vagues des tempêtes.

Pour la partie est de la baie, les courants littoraux sont orientés de l'est vers l'ouest pour chacun des cas de tempête de secteur « ouest » ou « est » qui ont été évalués.

Les deux figures suivantes (figures 7.11 et 7.12) montrent que lors des tempêtes d'est du 16 octobre et du 2 décembre 2005, les courants induits par les vagues étaient dirigés vers l'ouest mais relativement faibles dans la partie est de la baie.

La figure 7.13 correspondant à la tempête d'ouest du 30 septembre montre des courants également dirigés vers l'ouest dans la partie est de la baie, avec un secteur comportant des courants relativement forts près du secteur de Maliotenan.

La figure 7.14 qui correspond à la tempête du 16 octobre 2005 avec un niveau d'eau à +3,7 m (au lieu de +3,0 m) montre l'effet dramatique de ce relèvement du niveau d'eau sur les courants générés par les vagues dans la partie est de la baie (comparer avec la figure 7.11).

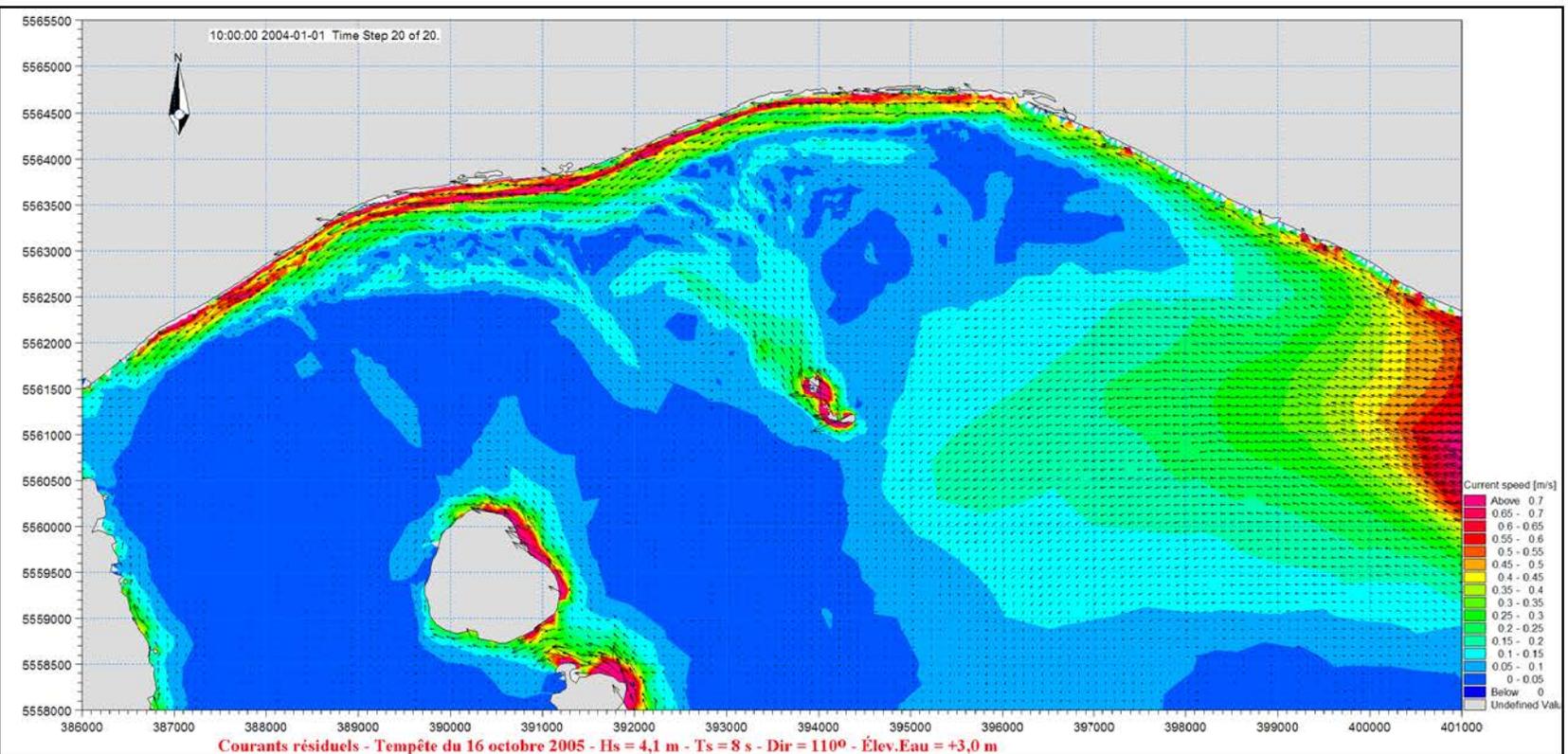


Figure 7.11 Courants induits par les vagues après réfraction dans la baie – Cas 1

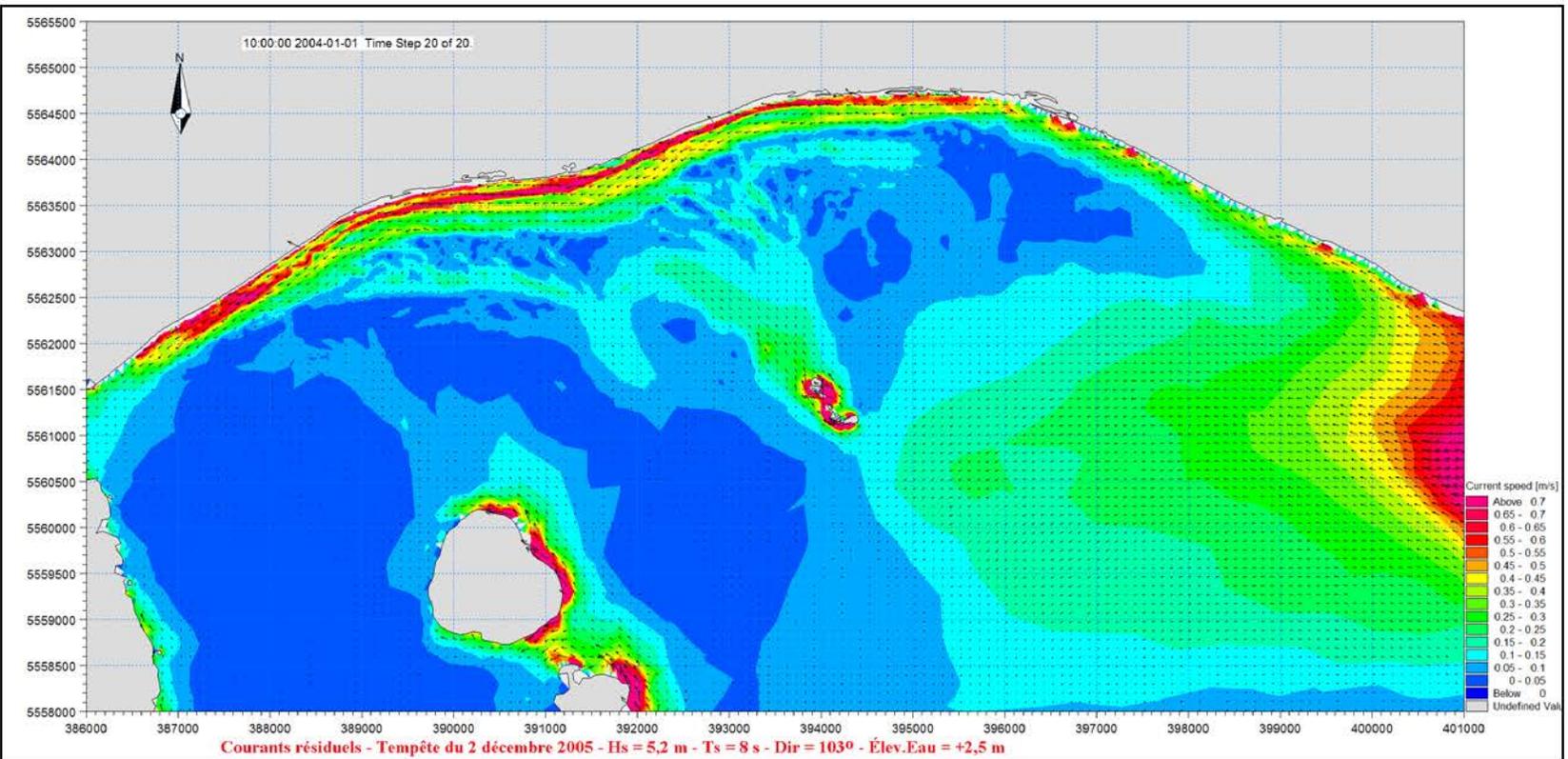


Figure 7.12 Courants induits par les vagues après réfraction dans la baie – Cas 3

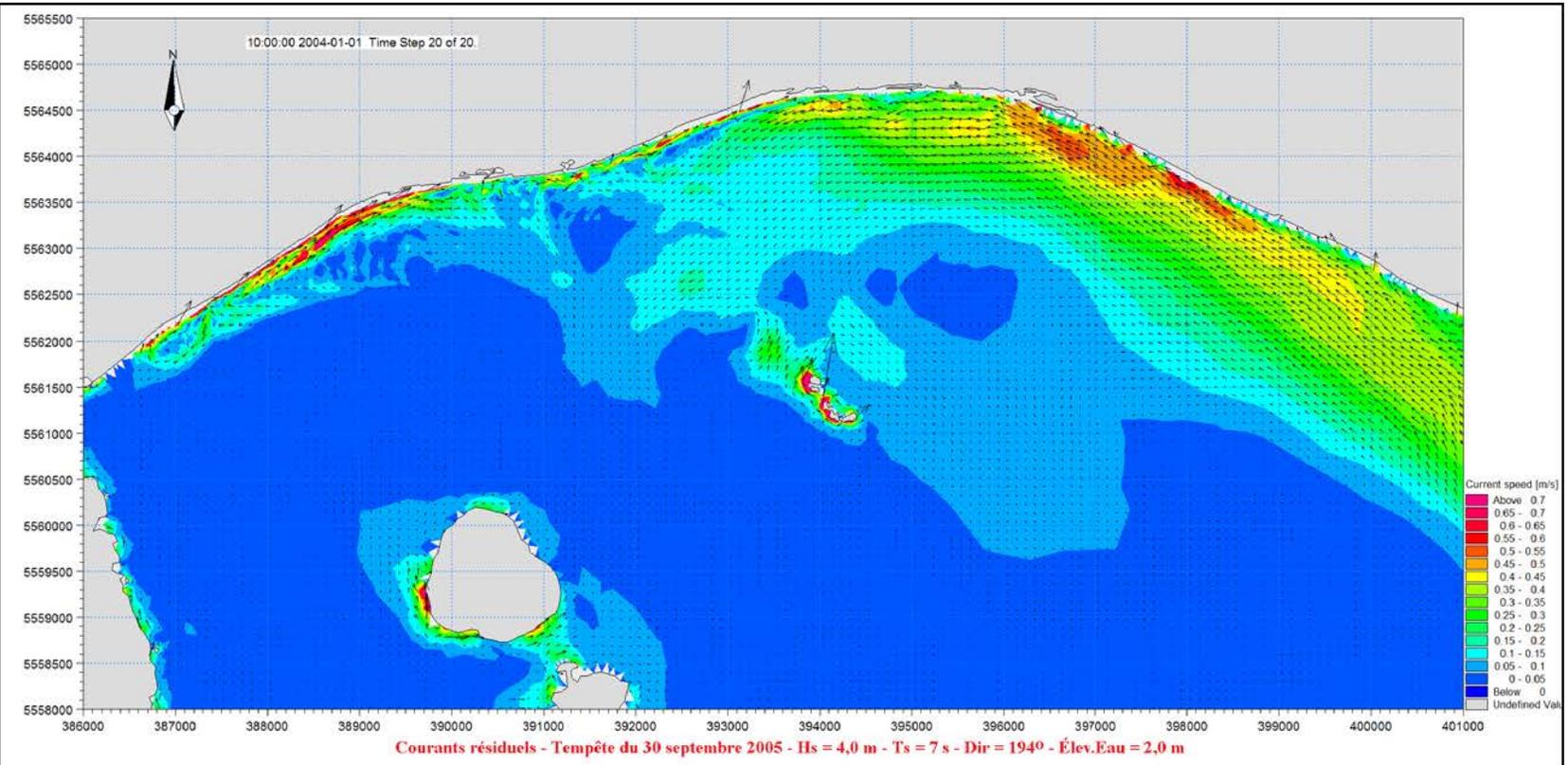


Figure 7.13 Courants induits par les vagues après réfraction dans la baie – Cas 4

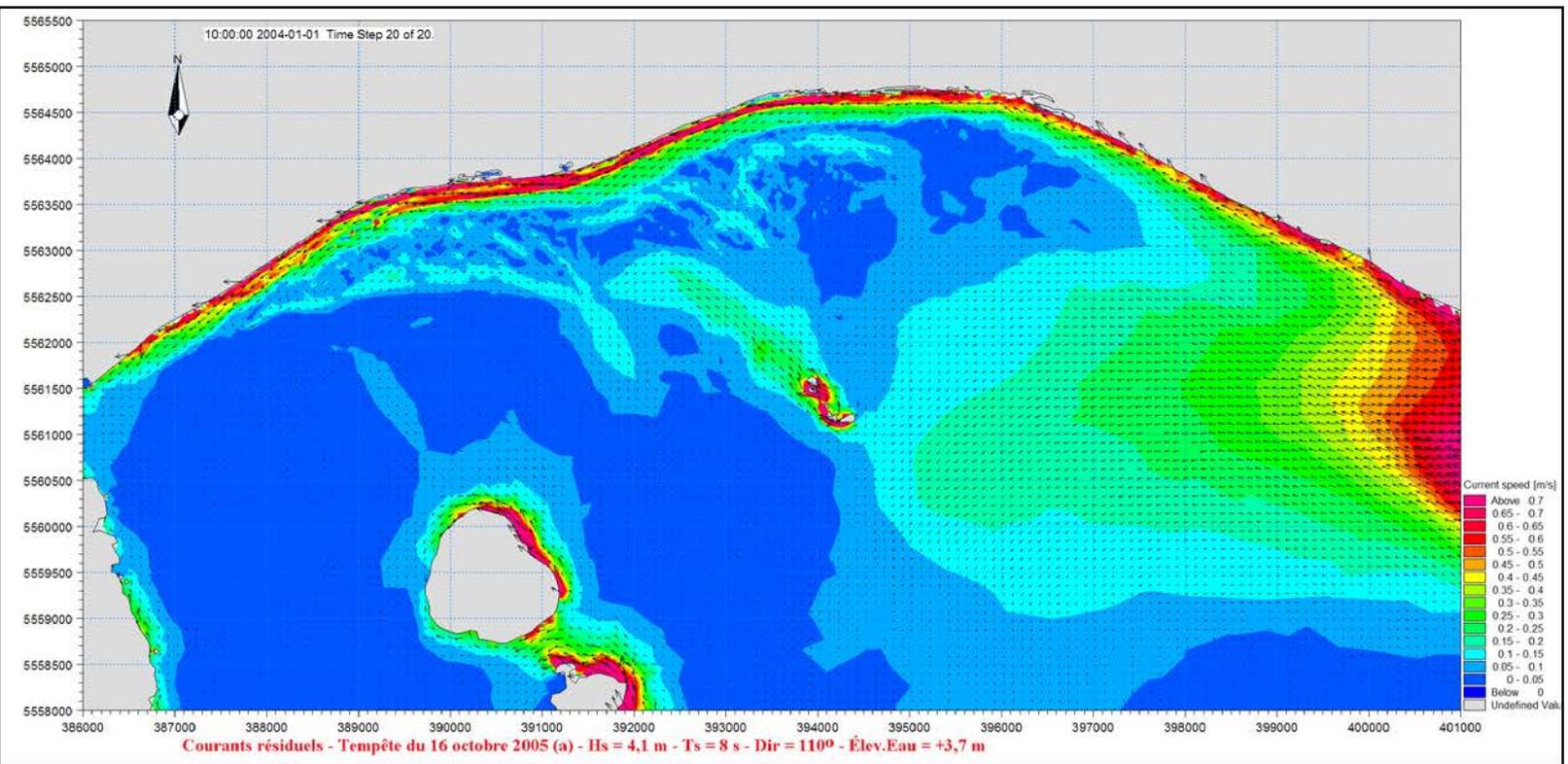


Figure 7.14 Courants induits par les vagues après réfraction dans la baie – Cas 1a

8 Déplacement des sédiments

8.1 Tempêtes d'est

Les tempêtes « d'est » induisent un transport littoral systématique des sédiments de l'est vers l'ouest sur l'ensemble du domaine étudié par le Groupe-conseil LaSalle du point de vue de la réfraction (figures 7.4 à 7.7). Ce transport est important dans le secteur des plages Fergusson et Monaghan si on se fie aux vitesses de courants.

D'après les cas étudiés, les courants induits par les tempêtes « d'est » sont également orientés de l'est vers l'ouest dans la partie orientale du domaine évalué (figures 7.11 et 7.12), mais plus faibles que devant les plages Fergusson et Monaghan. Le transport des sédiments devient important dans le secteur est de la baie de la Boule pour des niveaux d'eau élevés (figure 7.14).

8.2 Tempêtes d'ouest

L'observation des figures 7.8 à 7.10 sur la partie occidentale du domaine évalué indique que les courants littoraux induits par ces tempêtes de « l'ouest » sont en général faibles et variables en direction le long de la plage Fergusson, plus forts et orientés de l'ouest vers l'est le long de la plage Monaghan.

D'après les cas étudiés, les courants induits par les tempêtes « d'ouest » sont orientés de l'est vers l'ouest et parfois forts dans la partie orientale du domaine (figure 7.13).

8.3 Ensemble des tempêtes

D'après les cas de tempête étudiés, il ne semble vraiment pas y avoir d'équilibre sédimentaire le long des plages au sud de Sept-Îles. La tendance lourde du déplacement des sédiments est de l'est vers l'ouest sur l'ensemble du domaine. Les tempêtes d'ouest n'ont tendance à inverser cette tendance lourde qu'au niveau de la plage Monaghan.

Tant que la Moisie fournit la quantité de sédiments requise pour alimenter les plages de Sept-Îles, il pourrait y avoir un certain équilibre dynamique. Par contre, les observations sur place indiquent que la quantité de sédiments en provenance de la rivière Moisie est en déficit par rapport à celle qui part vers l'ouest au niveau de la pointe aux Basques ou qui part vers le large.

Ce déficit est logiquement compensé par une érosion des terrasses marines sur lesquelles se sont installées les maisons des plages Fergusson et Monaghan.

8.4 Récurrence comparée des tempêtes d'est et d'ouest

Il resterait à définir la récurrence comparée des tempêtes « d'ouest » et des tempêtes « d'est » sur une longue période pour mieux appréhender la résultante de l'ensemble des tempêtes sur la dynamique sédimentaire littorale des plages de Sept-Îles au cours d'une année.

La figure 6.5 et 6.6 de fréquence relative des vagues de plus de 2 et 3 m indiquent cependant une très nette prépondérance des vagues importantes du secteur est. Dans l'échantillon de tempêtes évaluées par Ouranos entre le 1^{er} janvier 2003 et le 31 décembre 2005, le nombre de tempêtes du secteur est (95° à 155°) ayant généré des vagues supérieures à 3 m au large était de **68** alors que les tempêtes correspondantes du secteur ouest (175° à 215°) étaient au nombre de **6**.

Il serait surprenant qu'une évaluation sur une plus longue période des tempêtes au large de Sept-Îles invalide cette tendance lourde de la période 2003-2005.

8.5 Cas des vagues ordinaires

Dans le cas vagues de deux mètres et moins qui pourraient reconstruire les plages de Sept-Îles en ramenant des sédiments du large et de l'ouest, la modélisation indique que leur potentiel de transport est très nettement inférieur à celui des vagues de tempêtes et que les inversions de la direction du courant ne se produisent pratiquement que le long de la plage Monaghan.

Malgré leur fréquence nettement plus élevée, ces vagues ne devraient pas vraiment être en mesure de contrer le transport massif des sédiments de l'est vers l'ouest lors des épisodes de tempête.

9 Solutions envisagées

9.1 Rechargement de plage

Le rechargement des plages consisterait à apporter de façon artificielle du sable ou un mélange de sable et gravier sur la plage en compensation des sédiments manquants. Cette méthode de protection de berges est utilisée à grande échelle sur la côte sud-est des États-Unis.

Le but est de reconstruire une plage à l'endroit de la côte soumis à l'érosion. Les travaux doivent être faits à une échelle en relation avec l'importance du manque de sédiments. De trop petites quantités de sédiments seraient emportées très rapidement et n'auraient qu'un effet très localisé et très court dans le temps. Plus les quantités de sédiments importées sont importantes, plus le système a tendance de se comporter avec une efficacité et une durabilité accrue.

Les méthodes de rechargement incluent soit un apport par camions en provenance d'une source terrestre, soit l'utilisation d'une drague qui irait chercher du sable au large de la plage et qui projetterait ou pomperait ce sable sur la plage à recharger.



Figure 9.1 Drague hydraulique (type « suceuse-refouleuse » ou « Cutter suction ») pompant du sédiment (par les tuyaux situés à l'arrière-plan)



Figure 9.2 Drague hydraulique (type « à élinde traînante » ou « Hopper suction ») projetant des sédiments sur une plage

La taille des sédiments mis en place est très importante dans les chances de succès ou le risque d'échec d'une opération de rechargement de plage. Un sable trop fin aura tendance à partir très rapidement dès les premières tempêtes. A contrario, un sable et gravier plus grossier aura tendance à moins se déplacer sous l'effet des vagues ou des courants et à protéger le secteur en érosion sur une plus longue période.

Il est également recommandé de procéder au rechargement de plage au début de la saison estivale (et non en période automnale) pour laisser au sable le temps de se placer et de se densifier avant les premières grosses tempêtes.

Les données granulométriques recueillies en 2006 indiquent que le sable en circulation près des plages de Sept-Îles (Fergusson et Monaghan) présente un diamètre médian de l'ordre de 0,2 à 0,3 mm. Il serait préférable de placer des sédiments ayant un diamètre moyen significativement supérieur à ce diamètre pour lequel on observe des mouvements importants des sédiments devant les plages de Sept-Îles. Idéalement, un diamètre médian d'au moins 1 mm serait requis (sable grossier ou sable et gravier). Cette taille de sédiments garantirait également que ces « nouveaux » sédiments n'iraient pas accentuer les problèmes de dragage du bassin de la pointe au Basques, puisque la taille des sédiments qui y sont dragués est de l'ordre de 0,25 mm.

L'évaluation des granulométries des sédiments au large des plages de Sept-Îles en 2006 n'a pas indiqué de présence de dépôts significatifs en étendue de sédiments grossiers sous-marins. Quelques prélèvements indiquent des diamètres médians de l'ordre de 1 mm, mais souvent à proximité d'une zone de sédiments fins. Les dragues qui seraient en mesure de réaliser de tels travaux de rechargement de plage ne sont pratiquement pas disponibles dans l'est du Canada. Il faudrait sans doute faire venir une drague de l'est des États-Unis. Le climat des vagues dans la baie devant les plages de Sept-Îles n'est pas non plus propice au travail d'une telle drague (ce type de drague est en arrêt de travail au-dessus d'un mètre de vague, en général). De plus, les restrictions environnementales qui risquent de s'appliquer en présence de mammifères marins pourraient reporter les travaux en automne. Enfin, de telles opérations de dragage de grandes quantités de sédiments posent des problèmes potentiels de déstabilisation des fonds marins et une étude approfondie doit accompagner le choix du ou des sites de prélèvement. Il est donc peu probable que cette méthode de dragage soit applicable au rechargement des plages de Sept-Îles.

La recherche d'une source de sédiments terrestre reste à faire, mais a de bonnes chances d'aboutir à la détermination de quelques sites d'emprunt potentiels dans la plaine alluvionnaire de Sept-Îles.

Une évaluation grossière des besoins en sable a été faite sur la base d'une géométrie qui s'apparenterait à celle des parties relativement stables qui se trouvent devant la plage Routhier et qui ont une pente moyenne de l'ordre de 4,5 %. En sélectionnant un sable et gravier plus grossier que le sable en place, on pourrait se permettre de raidir un peu la pente de la plage rechargée. Une pente de 6 % a été retenue pour les calculs, donnant une plage de l'ordre de 90 m de largeur. Ceci impliquerait la mise en place d'environ 150 000 m³ de sable et gravier par km de plage rechargée dans le cas des plages Fergusson et Monaghan.

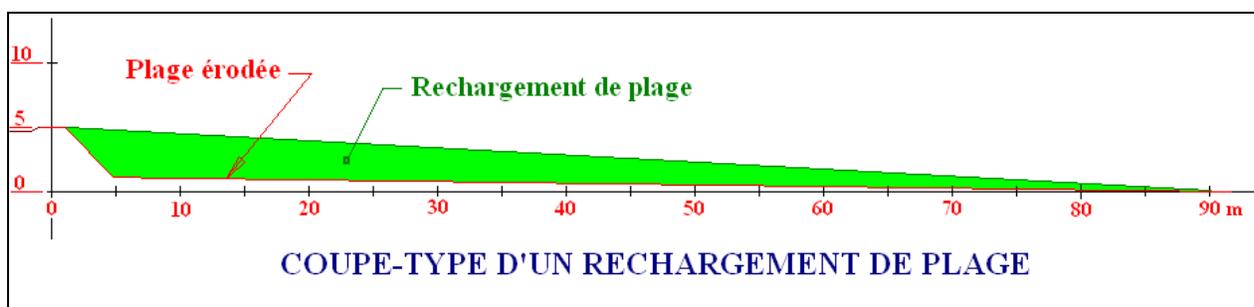


Figure 9.3 Coupe transversale de la plage

En attendant la détermination des sites potentiels de prélèvement de sédiments du type sable et gravier, donc des distances à parcourir, le prix de l'extraction, du chargement, du transport et de la mise en place des matériaux de rechargement de plage a été fixé à 15 \$/m³.

Le coût d'un km de rechargement de plage serait de l'ordre de 2,5 M\$ (incluant l'organisation de chantier, les travaux connexes, la conception et la surveillance, mais excluant les taxes). Il y aurait au moins 4 km de plage à recharger en sable et gravier, ce qui donnerait un coût **de projet de l'ordre de 10 M\$** hors taxes.

Les conséquences d'un tel rechargement seraient très positives pour les plages de Sept-Îles :

- **Protection des plages à l'ouest** de la zone rechargée. Ces plages, situées en aval par rapport à la direction dominante du transport sédimentaire, seraient alimentées en sable par l'érosion de la zone rechargée;
- **Stabilisation des plages à l'est** de la zone rechargée. La protection contre l'érosion de ces plages, situées en amont par rapport à la direction dominante du transport sédimentaire, serait renforcée par la présence de la masse de sédiments déposés par rechargement;
- **Présence d'une plage** devant les propriétés. Le rechargement recréerait une plage à la place de la zone inondée à mi-marée que les usagers connaissent actuellement devant la plage Fergusson. La barre sableuse présentement renvoyée vers le large par la réflexion des vagues sur l'enrochement aurait plus de chances de venir se recoller au rivage et d'améliorer le bilan sédimentaire local;
- **Protection des terrains.** La présence de la plage permet d'amortir les vagues, de réduire de façon notable les franchissements des vagues par-dessus les enrochements, d'empêcher les accumulations et les poussées de glaces sur les terrains. Il s'agit d'une protection nettement plus efficace que les enrochements actuels qui ont plutôt l'effet inverse d'accentuer les phénomènes de franchissement par les vagues et de formation de crêtes de pression de glace;
- **Protection contre l'érosion.** L'apport artificiel en sable et gravier remplacerait les sédiments dont l'absence provoque les phénomènes d'érosion des plages en cours.

Par contre, un rechargement de plage n'est pas une défense permanente contre l'érosion, à moins d'être fait de façon récurrente. Ce type d'intervention a une durabilité limitée dans le temps : on ne fait que pallier temporairement à un manque de sédiments. Selon la granulométrie des sédiments qui seront mis en place lors du rechargement, si la tendance au déficit en sédiments « naturels » se poursuit, il sera nécessaire de ré-intervenir dans quelques années (5, 10 ans) pour compenser les pertes dues au transport littoral vers l'ouest.

9.2 Enrochement linéaire

L'enrochement du bord des plages de Sept-Îles a été examiné dans le cadre d'une intervention « durable », c'est-à-dire en mesure de résister aux changements topographiques en cours (érosion de la plage en pied d'enrochement) et de protéger efficacement les propriétés situées derrière ces enrochements contre les événements susceptibles de se produire pendant la vie utile de ces ouvrages (30 ans).

Les résultats de la modélisation des vagues du Groupe-conseil LaSalle ont été consultés pour avoir une idée des hauteurs de vagues à utiliser dans la conception de ces enrochements. Les cas critiques sont les tempêtes du secteur « est » qui ont tendance à atteindre les plages plus directement que les tempêtes du secteur « ouest » et qui sont plus fréquentes. Certains secteurs de plage sont plus particulièrement affectés par ces vagues (en particulier le secteur récemment enroché sur la plage Fergusson). Dans le cadre de la réalisation d'un tel projet d'enrochement, il y aurait lieu de moduler les paramètres de conception (en particulier la hauteur des vagues) pour tenir compte des différences d'exposition aux vagues de chaque secteur.

Dans le cas modélisé le plus critique (plage Fergusson, tempête du 16 octobre 2005), les coefficients de réfraction des vagues ont atteint 0,6 pour une vague de 4,1 m au large. Étant donné que la hauteur des vagues au large lors d'un événement d'une récurrence de 20 ans et plus serait de l'ordre de 6 m, on devrait donc s'attendre à avoir des hauteurs de vague de dimensionnement des enrochements de l'ordre de 3,6 m. Avec une période des vagues de 10 s et une pente des enrochements de 1,5/1, les calculs faits à l'aide du Coastal Engineering Manual² prédisent qu'il faudrait placer la crête des enrochements **5,3 m au-dessus du niveau d'eau moyen** pour empêcher les deux-tiers des vagues de franchir cet enrochement. Si le **niveau d'eau atteint +3,7 m ZC** lors d'une telle tempête (voir chapitre 4), il faudrait donc placer la **crête des enrochements à +9,0 m ZC** dans le secteur enroché de la plage Fergusson. Actuellement, la crête de ces enrochements se situe à environ +5 m ZC. Dans les calculs des quantités de pierre sur l'ensemble de la zone à protéger par enrochements, une **élévation moyenne de la crête de +7,0 m ZC** a été retenue, ce qui ne va pas forcément dans le sens sécuritaire.

Pour prévenir la déstabilisation du pied des enrochements par affouillement, il serait requis de placer les premières pierres de l'enrochement au niveau du zéro des cartes marines. Il serait même éventuellement requis de protéger ce pied d'enrochement par un coussin de pierres anti-affouillement.

La coupe-type suivante indique les paramètres génériques de calcul des grosseurs et des quantités de pierres qui seraient requises pour protéger de façon efficace le rivage des plages de Sept-Îles contre les tempêtes. De la pierre de 4 à 7 tonnes métriques serait requise comme carapace sur

² Coastal Engineering Manual – US Army Corps of Engineers - 2003

environ 2,6 m d'épaisseur. Il faudrait placer une couche de pierre-filtre sous cette carapace pour protéger le noyau qui, s'il est en sable, devra lui-même être protégé par un filtre géotextile. La largeur de la crête devrait être de l'ordre de 4 m. La pierre de carapace actuellement en place ne pourra être récupérée autrement que comme pierre-filtre, étant trop petite.

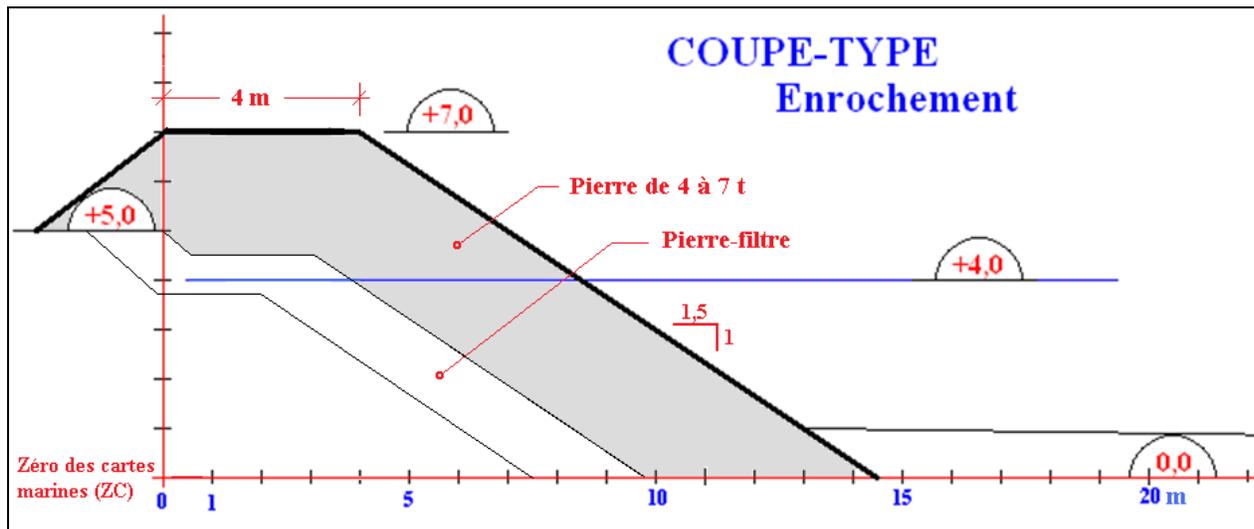


Figure 9.4 Coupe transversale de l'énrochement de protection

Par mètre linéaire d'énrochement, il faudrait compter environ 40 m^3 de carapace à $75 \text{ \$/m}^3$, 14 m^3 de pierre-filtre à $50 \text{ \$/m}^3$, l'excavation / tri des pierres en place, le géotextile, les accès et l'organisation de chantier, les frais de conception / surveillance, ce qui donnerait un coût approximatif de $5\ 100 \text{ \$/m}$ d'énrochement (hors taxes).

Aucune provision n'a été considérée pour des travaux de compensation éventuels en rapport avec l'empiètement sur le milieu marin que provoqueraient ces travaux, à moins que l'empiètement se fasse entièrement sur les propriétés riveraines (ce qui risque d'exiger le déménagement de quelques maisons).

Aucune provision n'a non plus été considérée pour les études environnementales et les audiences publiques éventuelles qu'exigeraient des travaux qui dépasseraient largement le cadre des 300 mètres linéaires et des 500 m^2 permettant d'éviter de tels processus.

Il y aurait environ trois km de protection en énrochement à réaliser pour protéger le secteur actuellement à risque (plages Fergusson et Monaghan), si bien qu'il faudrait sans doute parler de **travaux de l'ordre de 15 à 20 M\$** hors taxes.

La durabilité de tels travaux est évaluée à trente années.

Les conséquences d'un tel enrochement seraient relativement dommageables pour les plages de Sept-Îles :

- **Fragilisation des plages à l'ouest** de l'enrochement. Un « effet de bout » se produira à l'extrémité ouest des enrochements mis en place, avec érosion marquée de la plage non-enrochée;
- **Disparition de la plage devant les enrochements.** La mise en place des enrochements va probablement faire disparaître la plage qui pourrait être encore en place à cause de l'augmentation de l'intensité des phénomènes hydrodynamiques lors des tempêtes devant ces enrochements;
- **Fragilisation des terrains protégés.** La mise en place des enrochements va exposer de façon plus dangereuse les terrains en arrière de ces enrochements à des phénomènes exceptionnels. Même en dimensionnant généreusement les enrochements, la conjonction d'un niveau d'eau très haut et d'une forte tempête pourrait provoquer des dommages aux terrains derrière les enrochements plus importants que si une plage était en place. De plus, les enrochements ne sont pas étanches et ne protégeront pas les propriétés contre des événements de niveau d'eau extrêmes;
- **Fragilisation des plages à l'est** de l'enrochement. Du fait de la disparition de la plage devant les enrochements, la stabilité des plages à l'est (en amont du transport littoral) sera affectée, les langues de sables qui circulent actuellement devant les plages n'ayant plus la possibilité de se « recoller » à la côte et d'engraisser les plages;
- **Empiètement sur l'habitat marin.** À moins d'empiéter sur les terrains, ce qui dans certains cas ne pourra se faire qu'avec le déplacement ou la démolition de résidences, il faudrait empiéter sur l'habitat marin, ce qui n'est pas facile à faire accepter par Pêches et Océans Canada, Direction de l'habitat du poisson.
- **Perte de jouissance.** Les propriétaires des terrains « protégés » par les enrochements auront comme vue sur la mer un mur de roches de 2 m à 2,5 m de haut lorsqu'ils seront sur leur terrain. Une option serait de diminuer l'élévation de la crête des enrochements en l'élargissant pour conserver une certaine protection. Une « règle du pouce » dans ce cas est de considérer que pour 1 m de moins en élévation de la crête, il faut considérer 10 m de plus en largeur de crête. Sans parler de l'empiètement que provoquerait une telle solution (ou de la marge de recul supplémentaire exigée sur les terrains et du déménagement de maisons supplémentaires), le coût d'une telle solution ne diminuera pas les investissements à prévoir. Enfin, il faut mentionner que la disparition des plages privera tous les Sept-Îliens d'un accès à l'espace naturel communautaire que constituaient ces plages.

9.3 Combinaison épi et rechargement

La solution des épis (structures relativement imperméables aux sédiments placées perpendiculairement à la plage) et du rechargement à l'aide de sable et gravier est une solution qui pourrait permettre de rendre plus durable l'opération de rechargement de plage précédemment présentée. Les structures de retenue (vois photos suivantes) ralentiraient la migration vers l'ouest des sédiments mis en place.

Les paramètres de conception de tels ouvrages à Sept-Îles (amplitude de la marée, intensité des vagues, présence de glaces) font en sorte que, pour être efficaces, les épis devraient de préférence être en enrochement (pierres de l'ordre de 5 à 10 tonnes sur les musoirs) et assez longs pour intercepter et retenir les sédiments. Ces structures risquent donc d'être imposantes.

Ce type de solution est très délicat à dimensionner (les deux exemples présentés sur les photos suivantes ne sont pas des exemples très concluants en termes de protection de berge).



Figure 9.5 Épis à Happisburgh (côte est du Royaume-Uni)



Figure 9.6 Épis à Matane (Québec)

Cette solution sera sans doute au moins aussi chère que celle de l'enrochement linéaire avec, en plus, le coût du rechargement de plage.

Pour trois km de protection, il faudrait sans doute parler d'un **projet de 20 M\$ et plus** hors taxes.

La durabilité d'un tel projet est évaluée à une trentaine d'années.

Les conséquences d'un tel projet seraient en général positives :

- **Stabilisation durable de la plage** entre les épis et à l'est des épis;
- **Protection des terrains.** La présence d'une plage devant les terrains diminuerait les risques liés aux événements exceptionnels (conjonction d'un niveau d'eau haut et d'une forte tempête). Cette plage protégerait également les rives contre les accumulations de glace.

Par contre, ces travaux provoqueraient un « **effet de bout** » à l'ouest du dernier épi (érosion et recul de la plage). Cet « effet de bout » pourrait probablement être minimisé par une conception très soignée du dernier épi de l'ouest, mais il serait surprenant de ne pas constater ce phénomène malgré tout.

9.4 Déménagement des maisons

Le déménagement accompagné d'une éventuelle relocalisation des maisons à risques permettrait à la plage de reprendre son profil naturel en érodant les terrains qui se trouvent actuellement protégés par les enrochements. Dans le cadre d'un tel projet, il serait recommandé de ne pas

laisser les enrochements laissés en place, de les démanteler pour laisser les processus naturels suivre leur cours.

Si le choix de laisser les enrochements en place est fait, l'ajustement de la géométrie de la plage et l'apparition d'une protection naturelle de la côte va prendre plus de temps, les enrochements ayant l'effet de nuire à la formation de la plage en repoussant les sédiments vers le large. Il faudra attendre que les tempêtes détruisent progressivement ces enrochements avant de voir la plage se reformer et protéger la rive.

Cette opération de retrait pourrait très bien être progressive. Il faudrait cependant respecter une certaine logique globale et ne pas tenter de maintenir en place certaines maisons, ce qui nuirait à l'atteinte de l'équilibre souhaité pour l'ensemble du secteur.

Il est très difficile de déterminer un coût pour cette opération de retrait, les travaux en bord de plage n'étant en eux-mêmes qu'un minime partie des investissements à faire. Il faudrait prendre en compte les coûts de déménagement des maisons et des infrastructures, de compensation des propriétaires, etc.

9.5 Solutions mixtes

En tenant compte des informations concernant chacune des solutions décrites ci-dessus et des contraintes naturelles et anthropiques du milieu, il serait sans doute envisageable de définir des solutions de type mixte qui combindraient les avantages des diverses solutions potentielles.

Il serait ainsi possible de combiner, par exemple :

- Le déménagement de quelques maisons placées en position nettement trop proéminente par rapport au trait de côte actuel;
- un rechargement de plage modulé selon un retrait partiel du trait de côte pour diminuer les quantités de sable et gravier à importer;
- La mise en place d'épis et/ou d'enrochements à la sortie des ruisseaux, pour stabiliser des endroits particulièrement vulnérables.

Cette solution combinée sera complexe à définir et à mettre en œuvre. Elle devrait être adaptée au consensus qu'il faudrait atteindre auprès des différents intervenants (citoyens de Sept-Îles, élus municipaux, citoyens de la réserve de Maliotenan, différents ministères des gouvernements provincial et fédéral finançant ou autorisant les travaux).

Il serait également important de prendre en compte et de tenter de corriger les nombreux problèmes de drainage que compte cette zone côtière et qui ne font qu'empirer les problèmes d'érosion des plages.

Il n'est pas possible de chiffrer le coût d'une telle solution sans procéder à une tentative de définition plus précise de cette solution, suite à un examen technique plus approfondi et à des consultations auprès des intéressés.

10 Conclusion et recommandations

Les relevés entrepris en 2006 et les études faites en 2006 et 2007 à propos des phénomènes d'érosion des plages de Sept-Îles ont permis de brosser un portrait relativement cohérent des phénomènes et des processus en cause.

Cette connaissance du milieu a permis ensuite de définir le potentiel de réussite et les impacts des diverses solutions pouvant être apportées à cette érosion des plages.

L'un des paramètres naturels qui risque d'influencer les décisions concernant les travaux à réaliser pour stabiliser les plages de Sept-Îles est le **taux d'apport de sédiments en provenance de la rivière Moisie** au cours des prochaines années. Il est possible que le manque de sédiments actuellement constaté sur les plages de Sept-Îles soit un phénomène temporaire lié à une hydraulicité moindre de la rivière ces dernières années. Cette faible hydraulicité aurait limité la quantité de sédiments que la rivière a été en mesure d'évacuer de son delta lors des crues, d'où un déficit de sédiments le long des plages de Sept-Îles. Ces sédiments s'accumulent actuellement dans l'embouchure de la rivière en amont des barres littorales.

Il est probable qu'un retour à un cycle d'hydraulicité « normale » de la rivière Moisie en période de crue printanière provoquerait l'évacuation de quantités importantes de sédiments de l'embouchure, sédiments qui deviendraient disponibles pour le transport littoral et la protection du rivage le long des plages de Sept-Îles. Il est cependant difficile de prédire l'impact qu'auront les changements climatiques en cours sur l'hydraulicité future de la rivière Moisie, les redoux hivernaux pouvant diminuer la quantité de neige qui, en fondant, provoque la crue printanière.

Selon cette hypothèse, il serait préférable de considérer l'érosion constatée ces dernières années comme un phénomène passager auquel il faudrait apporter des solutions à court et moyen termes.

Par contre, le nombre de **tempêtes hivernales** (qui ne participaient pas auparavant à l'érosion des berges de Sept-Îles mais qui le font maintenant, suite à la disparition progressive du couvert de glace en hiver) risque de provoquer un équilibre de rivage différent de celui qui prévalait il y a une vingtaine d'années. Cette possibilité que vont avoir les tempêtes hivernales de frapper la rive non protégée par la glace devrait provoquer une érosion plus importante des plages que par le passé et un besoin supplémentaire en sédiments à l'amont du système.

Il y a donc lieu d'être prudent et de conserver une perspective à long terme dans le choix de solutions au problème d'érosion des plages de Sept-Îles.

Une solution de type mixte combinant un retrait partiel, le déménagement de quelques maisons, le recul du trait de côte, du rechargement de sable et gravier et des protections ponctuelles en enrochement semble être une avenue prometteuse selon laquelle on peut espérer :

- Arriver à des coûts de projet et des coûts d'entretien raisonnables;
- Assurer la pérennité des installations situées près de l'eau le long des plages de Sept-Îles.

Cette solution de type mixte demanderait d'importants efforts de concertation et de consultation, en plus d'une maîtrise des concepts de dynamique côtière dans une zone assez complexe et d'une vision ouverte sur les nombreuses possibilités techniques qui s'offrent.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Y. Ropars', written in a cursive style.

Yann Ropars, ing. M. Sc.

ANNEXE 1

Tempêtes de 2005
analysées par Ouranos

